

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка торцевой фрезы с переменными углами наклона зуба для снижения вибрации при фрезеровании</b>

УДК 621.914.22-047.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Колесников И. С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Лысак И.А.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Мартюшев Н.В.	к.т.н.		

## Результаты обучения по ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
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
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном

	решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

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

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Мартюшев Н.В.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

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

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM01	Колесникову И.С.

Тема работы:

<b>Разработка торцевой фрезы с переменными углами наклона зуба для снижения вибрации при фрезеровании</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№55-45/с от 24.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2022

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>  (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Объект исследования: Фрезерование высокопрочных титановых сплавов. Предмет исследования: Геометрические и прочностные характеристики торцевой фрезы Материал изделия: Сталь марки 40Х; Целью данной работы является разработать торцевую фрезу для обработки высокопрочных титановых сплавов, обеспечивающую уменьшение виброактивности системы СПИД.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Разработать конструкцию и технологию изготовления сборной торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками. 2. Исследовать напряженно-деформированное

	состояние элементов фрезы методом конечных элементов
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Лысак И.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич О. А.
Обязательное приложение на английском языке	Сыскина А.А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Causes of perturbation of vibrations of the technological system when cutting metals</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	25.12.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лысак И.А.	К.Т.Н		25.12.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Колесников И.С.		25.15.2020

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 130 страниц, 52 рисунков, 34 таблиц, 22 источников, 2 прил.

Ключевые слова: Технологическое оборудование, торцевая фреза, снижение ударно-вибрационных воздействий на инструмент, механообработка, 3D-модель.

Объектом исследования является торцевая фреза диаметром 80 мм с переменным углом наклона зуба.

Цель работы – разработка торцевой фрезы с переменными углами наклона зуба обеспечивающую снижение виброактивности системы СПИД при обработки высокопрочных титановых сплавов.

В процессе исследования проводились расчеты напряженно-деформированного состояния фрезы, а также рассчитывались геометрические характеристики торцевой фрезы.

В результате исследования разработана конструкция торцевой фрезы с улучшенными вибрационными характеристиками за счет организации периодически изменяющихся в осевом направлении углов наклона зубьев.

Основные конструкционные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: торцевая фреза диаметром 80 с торцевыми зубьями в количестве 6 штук разделенными стружечными канавками, участок главной режущей кромки расположен под углом в плане  $45^\circ$ , при этом верхняя плоскость пластины расположена под радиальным углом при вершине  $0^\circ$ , а торцевые зубья смещены друг относительно друга в осевом направлении в шахматном порядке, при этом осевой угол при вершине первого из пары торцевых зубьев равен  $8^\circ$ , осевой угол при вершине второго торцевого зуба из пары торцевых зубьев равен  $-8^\circ$ . Материал корпуса фрезы Сталь 40Х, пластины твердосплавные - сплав ВК8.

Степень внедрения: Создана трехмерная модель торцевой фрезы, также выполнено исследование напряженно-деформированного состояния пластин и корпуса фрезы.

Область применения: Машиностроение

Экономическая эффективность: результаты исследования развивают научную базу для назначения эффективных геометрических характеристик торцевых фрез, а также технологических режимов фрезерования.

В будущем планируется внедрение результатов исследования в развитие методов обработки титановых сплавов и труднообрабатываемых сталей в отрасли машиностроительного производства.



## Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы и задачи исследования	12
1.1 Причины возникновения импульсно-вибрационных воздействий на элементы технологической системы.	12
1.2 Влияние автоколебаний на качество обрабатываемой поверхности	14
1.3 Классификация способов виброзащиты элементов технологической системы (ТС)	15
1.4 Обзор известных конструкций	20
1.4.1 Торцевые фрезы с демпфирующими элементами (пружинные втулки, проволочные спирали, тонкостенные втулки и др.)	20
1.4.2 Торцевые фрезы с переменным шагом зубьев	22
2 Разработка конструкции и технологии изготовления сборной торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками	25
2.1 Постановка задачи проектирования торцевой фрезы	25
2.2 Оборудование и методы	26
2.3 Расчеты и аналитика	27
2.3.1 Зуб 1	27
2.3.2 Зуб 2	37
2.4 Расчет общего угла наклона передней поверхности	48
2.5 Определение оптимального контакта установки изделия относительно торцевой фрезы	50
2.6 Маршрут изготовления детали	55
3 Исследование напряженно-деформированного состояния фрезы	59
3.1 Постановка задачи	59
3.2 Модели материалов	60
3.3 Граничные условия	62

3.4 Расчет силы резания	65
3.5 Результаты расчета	67
Вывод	71
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	72
4.1 Анализ конкурентных технических решений	73
4.2 SWOT-анализ	75
4.3 Планирование научно-исследовательских работ	77
4.4 Определение трудоемкости выполнения работ	78
4.5 Разработка графика проведения проектирования	79
4.6 Цели и результат исследования	82
4.7 Организационная структура проекта	83
4.8 Бюджет исследовательской работы	84
4.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	89
4.10 Оценка сравнительной эффективности исследования	94
«Социальная ответственность»	98
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
5.2 Производственная безопасность.	104
5.3 Анализ вредных и опасных факторов	105
5.4 Экологическая безопасность.	111
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	112
Список использованных источников	114
ПРИЛОЖЕНИЕ I	116
ПРИЛОЖЕНИЕ II	117

## Введение

При эксплуатации механизмов, машин или различного оборудования возникает вибрационное воздействие. Вибрационное воздействие искажает кинематические параметры, описывающие движение машин, различных механизмов. Также вибрационное воздействие влияет на устойчивость процессов изготовления деталей и эксплуатацию станков, из-за чего возникают поломки, отказы оборудования или полная расстройка системы.

В развитии машиностроения наблюдается общая тенденция - увеличение рабочих параметров машин, повышение удельной мощности агрегатов машин. Улучшение рабочих параметров оборудования, уменьшение его удельной металлоемкости приводит к повышению его вибрационной активности. Надежность работы машины неразрывно связана с их виброактивным состоянием. Высокая вибрация повышает динамические нагрузки элементов конструкций, укрепляет износ и разрушает машины, а также несущие конструкции и часто негативно влияет на качество продукции.

На сегодняшний день известны многочисленные способы уменьшения ударно-вибрационного воздействия на инструмент, для увеличения надежности и качества механообработки технологической системы. В технологической системе последним звеном технологической цепочки является участок резания, а одним из главных источников вибрации при резании является сам инструмент. Таким образом, существует потребность снижения уровня вибрации для оптимизации геометрических параметров торцевой фрезы и режимов обработки, что даст возможность улучшить обрабатываемость конструкционных материалов, увеличить срок службы инструментов, а также повысить качество и точность обработки.

## 1 Обзор литературы и задачи исследования

### 1.1 Причины возникновения импульсно-вибрационных воздействий на элементы технологической системы.

Повышения уровня вибрации снижает не только ресурс работы и надежность работы элементов ТС (технологической системы), но и приводит к ухудшению качества обработки и ухудшению производительности, получается и снижается эффективности механообработки

На рисунке 1.1 показано последствия повышенной вибрации на фрезе при обработке деталей.



Рисунок. 1.1 Последствия повышенной вибрации на рабочей части фрезы

Главные причины возникновения вибраций при фрезеровании, следующие:

- 1) Чрезмерно большие площади среза, т.е. ширина фрезерования  $B$ , а также подача на зуб  $S_z$ , и, в частности, глубина резания  $t$ ;
- 2) В процессе работы изменения размера стружки;

3) Влияние первоначального контакта и выхода из контакта отдельных зубьев фрезы;

4) Биение фрезы вследствие неравномерной заточки ее и прогиба оправки;

5) Недостаточная жесткость системы СПИД.

Вибрации значительно повышается, когда, одинаковое направление результирующей силы резания  $R_{хуz}$ , создает наклепанный слой, что приводит к колебаниям системы. Поэтому желательно работать при таких условиях, чтобы сила резания была направлена в разные стороны и осуществлялась по менее наклепанному слою.

Правильным выбором глубины резания  $t$  и  $S_m$  можно достигнуть выгодного направления силы  $R_{хуz}$ , и тем самым повысить качество условий работы. Особенно заметно возрастает сила  $R_{хуz}$ , с увеличением ширины фрезерования. Тогда вибрации усиливаются наиболее резко на недостаточно жестких станках. Переход к более высоким скоростям резания и, следовательно, меньшим подачам  $S$ , улучшает условия работы, лишь бы при этом не совпали частоты собственных колебаний станка и вынужденных колебаний вследствие биения инструмента.

В литературе описывается заметное повышение стойкости концевых фрез с переменным углом наклона винтовой режущей кромки, что объясняют более спокойной работой инструмента.

Для повышения производительности процесса фрезерования все больше и больше начинают использовать попутное фрезерование. Чаще всего стол с заготовкой направляют навстречу вращающейся фрезе при этом зуб фрезы, перемещается снизу вверх и пытается приподнять заготовку, а вместе с ним и стол с салазками станка. При выходе зуба из контакта с заготовкой резко снижается сила  $R_{хуz}$ , и вся приподнятая система опускается, вызывая вибрации. К тому же притупившиеся зубья фрезы при врезании в обрабатываемый материал скользят, так как им трудно взять тонкую стружку, и

это скольжение является дополнительным источником вибраций. Последнее обстоятельство вызывает на поверхности резания наклеп, способствующий затуплению инструмента.

Другое дело при попутной подаче. Тут фреза давит на заготовку сверху вниз и сразу, без скольжения, срезает стружку при наибольшей первоначальной толщине. Так как сила резания  $P_{хуз}$  направлена вниз и постоянно прижимает заготовку к столу, и, таким образом, уплотняет стыки между частями обрабатывающего станка. К тому же, в этом случае направление вращения фрезы совпадает с подачей, что сокращает расход энергии. Последнее получается еще и потому, что при попутном фрезеровании зуб фрезы снимает более толстую и короткую стружку, это уменьшает удельную силу резания.

Исходя из опыта можно сказать, что подобный метод работы обеспечивает 3-5 кратную и больше стойкость инструмента сравнительно со встречным фрезерованием. Но он допустим только для достаточно жестких станков и при отсутствии на обрабатываемой поверхности твердой корки.

## **1.2 Влияние автоколебаний на качество обрабатываемой поверхности**

В литературе говорится, что автоколебания могут влиять не только на стойкость инструмента и производительную обработку, но также автоколебания влияют на качество обработанной поверхности. При повышении амплитуды автоколебаний пропорционально, то есть на сколько повысилась амплитуда автоколебаний на столько ухудшится параметр шероховатости, и следствием растет высота волнистости обработанной поверхности. При различных видах фрезерования волнистость обработанной поверхности полностью определяется величиной амплитуды и биением инструмента. Для того, чтобы определить зависимость волнистости и шероховатости обработанной поверхности от интенсивности автоколебаний, проводились специальные исследования применительно к процессам фрезерования

дисковыми, пазовыми, цилиндрическими, концевыми и торцовыми фрезами, нарезания резьбы метчиками, резцовыми головками и резьбовыми фрезами. [1]

В результате многочисленных экспериментальных исследований параметров волнистости и шероховатости поверхности получены эмпирические зависимости высоты волнистости и амплитуды автоколебаний и среднеарифметического отклонения профиля от элементов режима резания, геометрии инструмента и амплитуды колебаний.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод о том, что воздействие вибраций оказывает существенное влияние на шероховатость и точность обрабатываемых отверстий.

Самой главной причиной снижения периода стойкости инструмента при колебаниях является изменение сил, действующих на режущую кромку. Процесс резания металлов при любых условиях обработки сопровождается наличием колебаний, и периодически повторяющиеся силовые нагрузки существенно снижают период стойкости режущих инструментов [12]. Изменение условий обработки меняет лишь характер спектра колебаний технологической системы и уровень ее отдельных частотных составляющих.

### **1.3 Классификация способов виброзащиты элементов технологической системы (ТС)**

Разберём сначала более известные способы защиты технологической системы известные нам из рекомендаций производителя режущих инструментов Pramet.

Первое, о чем можно сказать это геометрические характеристики инструмента, а именно использование инструмента с большим главным углом в плане и положительным передним углом;

Применение режущих пластин, у которых имеется большой радиус и угол при вершине:

- Выбирать фрезу с минимально возможного диаметра;
- Диаметр фрезы не должен превышать 20-50% больше значения  $a_e$ ;

- Контролировать износ и округления режущей кромки.

Так же для снижения вибрации технологической системы можно выделить следующие способы:

- Правильный выбор смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)

- Модификация поверхности инструмента, достигаемого напылением или др.

Теперь перейдем к более углублённому рассмотрению виброзащиты системы ТС.

Способы виброзащиты можно разделить на три основные группы технических решений к ним относят: технологические, конструкционным и комбинированным (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – способы снижения уровня вибрации в системе ТС

Под технологическими способами понимаются технические решения виброзащиты ТС, заключающиеся в изменении динамических параметров сил, обусловленных, процессом механообработки для существенного снижения их уровня.

Под конструкционными способами понимаются технические решения, заключающиеся в применении виброгасителей, снижающих виброактивность элементов ТС, введением дополнительных элементов в ее структуру.

Возможно применение комбинированных способов – технических решений, заключающихся в сочетании технологических и конструкционных способов виброзащиты.

Способы виброзащиты элементов технологической системы (ТС) от «внутренних» источников вибрационных воздействий



Для снижения уровня вибраций от «внутренних» источников необходимо применение виброгасителей, снижающих виброактивность конкретного элемента ТС на определенном частотном диапазоне за счет поглощения энергии колебаний.

Основными причинами и источниками импульсно - вибрационных воздействий на элементы ТС в этом случае могут быть: малая жесткость обрабатываемой детали, инструмента, узла станка; совпадение оборотной частоты или зубцовой частоты с собственными частотами элементов ТС; локальные дефекты ШВП (шарико-винтовой пары) или люфты подвижных элементов ТС; дисбаланс вращающихся частей привода станка.

Применяемые технические решения виброзащиты должны соответствовать условиям при которых эффект от их применения не будет снижать эффективность механообработки, т.е. качество, производительность, стойкость инструмента и т.д.

В качестве примеров такого применения для случая малой жесткости детали можно рассмотреть конструкции, приведенные на рисунке 1.3. В данном случае нежесткая деталь при токарной или шлифовальной операциях вращается вокруг оси и контактирует через ролики с поршнями. Демпфирование вибрации осуществляется перетоком жидкости по дросселирующим каналам.

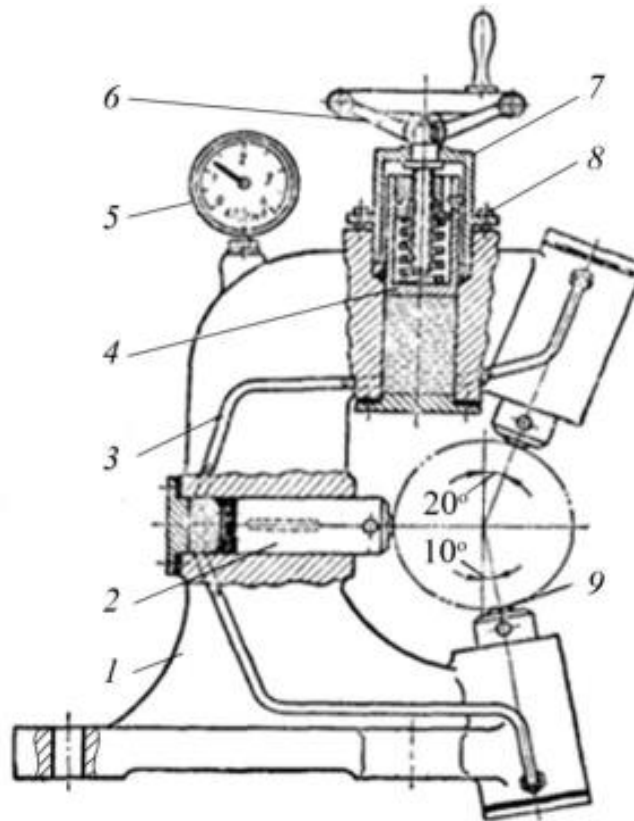


Рисунок 1.3-Люнет-вибrogасителя: 1-корпус, 2-поршеи, 3-трубы, 4-загрузочный поршень, 5- манометр, 6-рукоятки, 7-крышки, 8-болты, 9-ролики

Для фрезерной обработки возможен вариант реализации путем установки дополнительных опор, которые повышают жёсткость обрабатываемого участка детали см. рисунок 1.4.

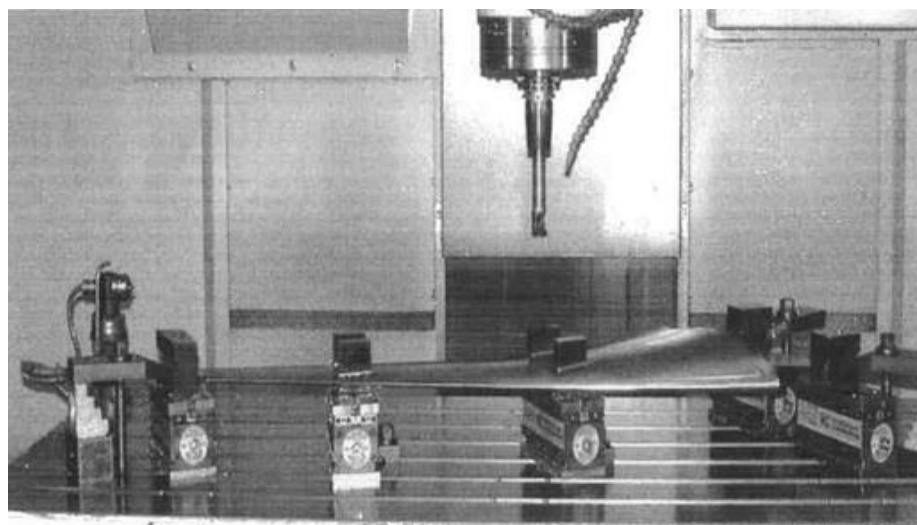


Рисунок 1.4 – Снижение уровня вибрации применением дополнительных опор

В случаях совпадения оборотной частоты или зубцовой частоты с собственными частотами элементов детали возможно применение динамических виброгасителей, устанавливаемых соответственно на участок детали, приведенных на рисунке 1.5.

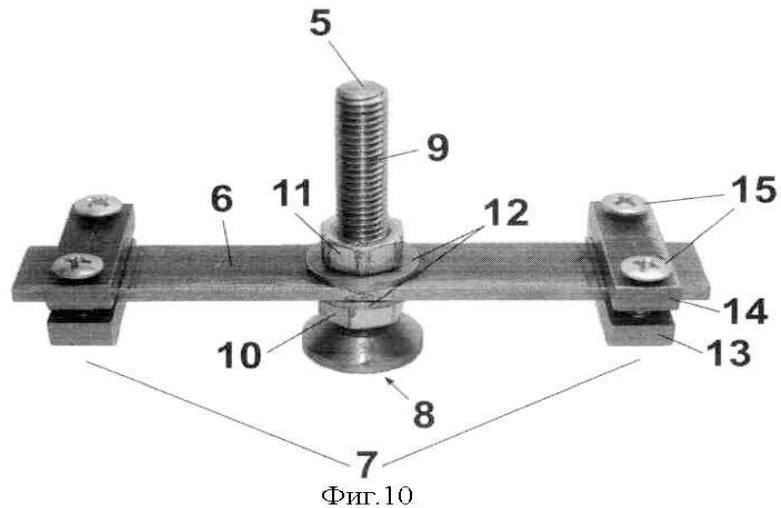


Рисунок 1.5 – Динамический виброгаситель

В случаях совпадения оборотной частоты или зубцовой частоты с собственными частотами элементов станка также возможно применение динамических виброгасителей, устанавливаемых соответственно на консоль станка см. рисунок 1.6.

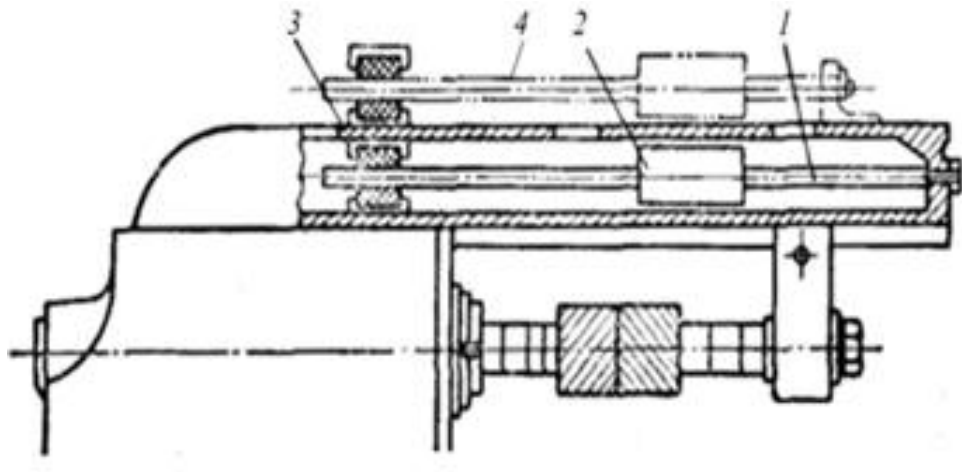


Рисунок 1.6 – Динамический виброгаситель для снижения уровня вибрации нежесткого элементов станка

При совпадении высоких частот, в том числе автоколебаний возможно применение ударного виброгасителя на инструмент см. рисунок 1.7 путем настройки ударов сердечника в противофазе вибрации инструмента на возбуждения частоте

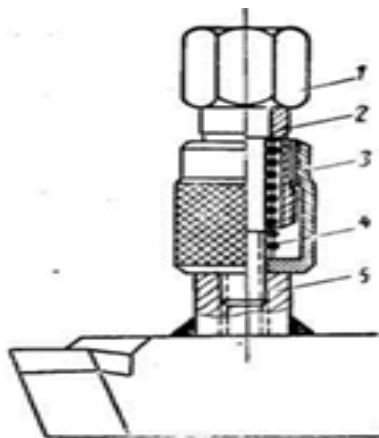


Рисунок 1.7 – Гаситель ударного действия 1 – сердечник; 2 – втулка; 3 – крышка; 4 – разжимающая пружина; 5 – переходная гайка

Далее мы перейдем от общих подходов снижения вибраций технологической системы к более детальному рассмотрению фрезерования торцевой фрезы.

Можно выделить следующие направления для улучшения виброустойчивости.

## **1.4 Обзор известных конструкций**

### **1.4.1 Торцевые фрезы с демпфирующими элементами (пружинные втулки, проволочные спирали, тонкостенные втулки и др.)**

Сопротивление технологической системы повышается путем применения специальных средств, увеличивающих рассеивание энергии и тем самым снижающих уровень вибраций.

Основным преимуществом рассматриваемой конструкции является возможность регулировать демпфирующие способности инструмента за счет изменения усилия затяжки винта 9. При этом регулируется сила трения между

верхним и нижним кольцом узла демпфирования, которая, наряду упругим элементом 7, определяет демпфирующие свойства фрезы. При повышении демпфирующих свойств уменьшается амплитуда колебаний независимо от массы и жесткости колебательной системы. Жесткость инструмента определяется упругими свойствами демпфирующего элемента, который может быть изготовлен из различных упругих материалов. Кроме того, сборная фреза представляет собой не единую жесткую конструкцию, а соединённые через упругую муфту верхнее и нижние кольца узла демпфирования. Это уменьшает массу колеблющиеся части фрезы, что, в свою очередь, уменьшает частоту колебаний инструмента. На определенных частотах вращения данная конструкция изменяет соотношения собственной частоты и частоты возмущающей силы и выводит инструмент из резонансной области. (Рисунок 1.8).

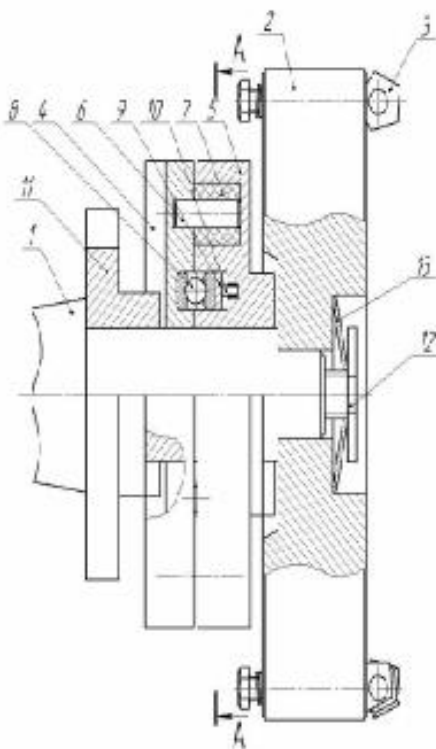


Рисунок 1.8 - Сборная торцевая фреза с демпфирующими элементами:  
 1-оправка, 2-фреза торцевая, 3-режущие пластины, 4-верхнее кольцо узла демпфирования, 5-нижнее кольцо узла демпфирования, 6-стальные шарики, 7-демпфирующий элемент, 8-поводок, 9-винт, 10-пружинная шайба



Рисунок 1.9 Сборная фреза

Недостатками демпфирующих фрез являются ограниченность технологических возможностей, так как они не позволяют фрезерование винтов с полукрытой поверхностью, при этом процесс обработки отличается большой трудоемкостью и невысокой точностью, а инструмент не реагирует на изменение величины припуска и термомеханические повреждения обрабатываемой поверхности, кроме того, инструмент не позволяет обеспечивать плавность и виброустойчивость процесса врезания и последующей обработки - все это делает фрезерование дорогим и малопродуктивным.

#### **1.4.2 Торцевые фрезы с переменным шагом зубьев**

В таких фрезах виброустойчивость может повышаться путем подавления нежелательных вибрационных гармоник. В конструкции фрезы виброустойчивость повышается путем оптимизации величины и характера неравномерности шага зубьев, на режущей части фрезы.

Подавление гармоники технологической системы, включает в себя станок, вспомогательный и режущий инструмент, а также заготовку и приспособление.

Следует отметить, что конструкция фрез с зубьями, имеющими переменный шаг, реализуется в процессе сравнительно небольшой доработки стандартных торцевых фрез. При этом дополнительные затраты, связанные с

получением такой фрезы, намного меньше величины экономии, образующейся в процессе эксплуатации торцевых фрез с переменной жесткостью зубьев или фрез с демпфирующими элементами. Таким образом торцевые фрезы с переменным шагом проще в изготовлении, дешевле, кроме того, при их использовании достигается более низкий уровень вибраций. Однако отсутствие теоретического обоснования механизма повышения виброустойчивости процесса фрезерования при использовании торцевых фрез с переменным шагом режущих зубьев препятствует их распространению в отечественной промышленности. Можно утверждать, что ниша таких фрез в настоящее время все еще слабо разработана.

В общем случае сила резания при фрезеровании направлена в пространстве под некоторым углом, положение которого неизвестно. Поэтому при проведении испытаний силу резания определяют ее составляющие в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Методика проведения экспериментальных исследований предусматривала измерение уровня вибраций в направлении соответствующих сил резания. На рисунке 1.10 схема фрезерования.

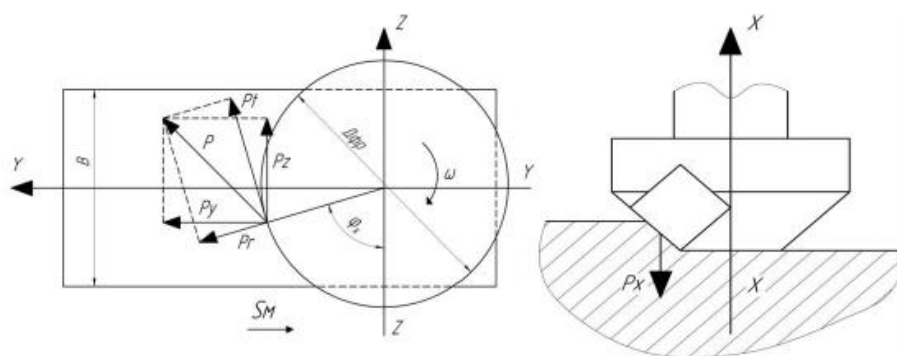


Рисунок 1.10 - Схема торцевого фрезерования.

Недостатки:

1. Большое биение режущих кромок, его величина зависит от класса точности пластин, точности изготовления опорных поверхностей под пластинки и базовых поверхностей самих корпусов

2. Плохой отвод тепла из зоны резания из-за большого количества стыков при установке пластин в корпусах.

3. Погрешность формы обработанной поверхности, возникающая из-за установки пластин с прямолинейной режущей кромкой в корпусах под углом к оси фрезы, или если пластина имеет винтовую режущую кромку, то угол винтовой поверхности рассчитан только для одного базового диаметра, для других будет иметь место погрешность формы обработанной поверхности.

Достоинства:

1. Более высокие скорости резания и подачи увеличивают продуктивность.

2. Маленькая вибрация обеспечивает превосходную поверхность.

Однако эти методы не решают проблему вибрации системы ДИПС.

Все перечисленное имеет высокую практическую значимость в машиностроении. Многие исследователи сходятся во мнении, что вибрационные характеристики торцевых фрез могут быть улучшены за счет усовершенствования геометрии режущих частей [1-3]. Например, в литературе [3-5] отмечается заметное увеличение стойкости цилиндрических фрез с переменным углом наклона винтовой режущей кромки, что объясняют более спокойной работой инструмента. Однако, проводимые работы далеки от завершения и преимущественно носят узконаправленный прикладной характер. Таким образом, целью настоящей работы являлась разработка торцевой фрезы для обработки высокопрочных титановых сплавов, обеспечивающую уменьшение виброактивности системы СПИД.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

Разработать конструкцию и технологию изготовления сборной торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками.

Исследовать напряженно-деформированное состояние элементов фрезы методом конечных элементов.



## 2 Разработка конструкции и технологии изготовления сборной торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками

### 2.1 Постановка задачи проектирования торцевой фрезы

Разработано техническое задание на проектирование торцевой фрезы диаметром 80 с переменными углами наклона зуба. (Таблица 2.1) Применение торцевых фрез с переменным углом наклона зуба является наиболее перспективным направлением снижения вибраций. Использование этого метода в современном производстве позволит: снизить время обработки; увеличить срок службы инструмента; увеличить производительность станка; увеличить качество и точность выпускаемой продукции; снизить влияние «человеческого фактора».

Достоинства: при фрезеровании плоскостей можно получать более низкую шероховатость за счет большого числа вспомогательных режущих кромок на торце.

Недостатки таких фрез заключаются, в том, что при работе с твердыми материалами, режущий инструмент работает при низких скоростях подачи, а, следовательно, с низкими скоростями удаления материала.

Таблица 2.1 Техническое задание

Раздел	Содержание раздела
Наименование и область применения	Торцевая фреза предназначена для чернового и получистового фрезерования, высокопроизводительной обработки плоскостей и уступов, а также применяется для обработки тяжело обрабатываемых сплавов таких как титан и жаропрочных, высокопрочных сплавов.
Основание для разработки	Рассчитать и сконструировать торцевую фрезу для обработки плоскости со следующими параметрами: $D = 80$ мм, число зубьев $Z=6$ зуб, угол в плане $\varphi=45^\circ$ ,

	H=50.
Технические (тактико-технические) требования	Материал фрезы сталь 40Х ГОСТ 4543-2016. Шероховатость обрабатываемой поверхности Ra 3,2 мкм. Точность по 10 качеству. Обрабатываемый материал ВТ1-00, ВТ1-0 ГОСТ 19807-91.
Документация, используемая при разработке	Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов [Текст] / Под ред. засл. деят. науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. Н. И. Резникова. - Москва: Машиностроение, 1972. - 200 с. Обработка резанием с вибрациями (1970) В.Н. Подураев
Документация, подлежащая разработке	Раздел пояснительной записки, посвященный расчету и проектированию торцевой фрезы для обработки плоскостей и уступов; рабочие чертежи торцевой фрезы, чертежи КД и ТД.

## 2.2 Оборудование и методы

Аналогом разрабатываемой фрезы является серийно выпускаемая торцевая фреза 2045-080A27R06SD12S (Рисунок 2.1) диаметром  $\varnothing 80$  мм производства ООО «Промышленная компания МИОН» (Россия) с геометрическими параметрами: угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ , передний радиальный угол  $\gamma_{\text{рад}} = 15^\circ$ , передний осевой угол  $\gamma_{\text{ос}} = 10^\circ$ , число зубьев  $z = 6$ ; оснащена твердосплавными пластинами SDMT 120408-E24 [6].



Рисунок 2.1 - Торцевая фреза 2045-080A27R06SD12S производства ООО «Промышленная компания МИОН» (Россия)

После того как мы выбрали аналог фрезы, мы можем начать геометрический расчет будущей торцевой фрезы. Для расчетов нам понадобятся формулы определяющая угол наклона передней поверхности зуба и угол наклона режущей кромки, возьмем мы их из каталога «Металлорежущий инструмент и инструментальная оснастка «Pramet» [6].

$$\tan \lambda = \tan \gamma_p \cdot \cos \varphi \mp \tan \gamma_{oc} \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_{oc} \cdot \cos \varphi \mp \tan \gamma_p \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

## 2.3 Расчеты и аналитика

### 2.3.1 Зуб 1

Для определение рабочей геометрии фрезы с параметрами для первого набора зубьев -  $\gamma_p = 0^\circ$  и  $\gamma_{oc} = 8^\circ$ , а для второго -  $\gamma_p = 0^\circ$  и  $\gamma_{oc} = -8^\circ$ .

Для точки А не имеет значение знак в формуле так как  $\gamma_p = 0^\circ$ , поэтому считаем по формулам 1 и 2.

$$\tan \lambda = \tan 0^\circ \cdot \cos 45^\circ + \tan 8^\circ \cdot \sin 45^\circ = 5,67^\circ$$

$$\tan \gamma_H = \tan 8^\circ \cdot \cos 45^\circ + \tan 0^\circ \cdot \sin 45^\circ = 5,67^\circ$$

Видим, что  $\lambda$  и  $\gamma_H$  одинаковые и равняются  $5,67^\circ$

Далее нам нужно определить знак в формулах так как для точек 1,2,3 радиальный угол  $\gamma_p$  будет изменяться и естественно его нужно будет найти. Угол в плане  $\varphi$  тоже будет изменяться в зависимости от точки.

Для определения угла в плане наиболее часто используются два метода: математический и графический. Расчет выполним с использованием графического метода, как наиболее наглядного (Рисунок. 2.2).

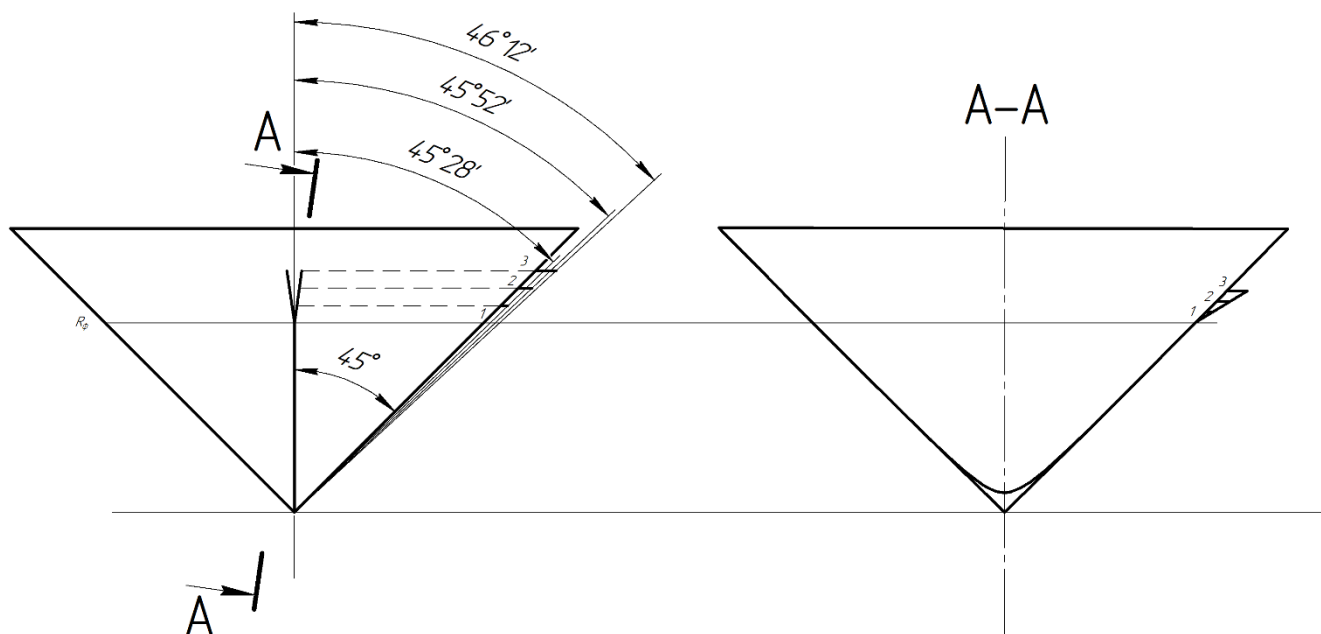


Рисунок 2.2 - Определение угла в плане через конус

Графический метод заключается в следующем. Форма фрезы ограничивается конической поверхностью с углом наклона образующей равной углу в плане  $\varphi = 45^\circ$ . От образующей конуса на радиусе фрезы равном 40 мм строим отрезок под углом  $\gamma_{oc} = 8^\circ$  и длиной равной длине режущей кромки, которая равняется 11,1 мм. Далее, строим сечение конуса плоскостью, содержащей ранее построенную линию. На виде А-А изображаем построенный отрезок под углом  $8^\circ$  и длиной 11,1 мм. Так как мы плоскость резания разделили на 3 равных части точка один на расстоянии 3,7, точка два находится

на расстояние 7,4, и точка три находится на расстоянии 11,1. Измеряем расстояния между соответствующими точками и образующей конуса вдоль горизонтальной оси в плане сечения А-А ( $\Delta_i$ ). Отложив эти расстояния от абриса конуса на главном виде, определяем углы в плане  $\varphi_i$ .

Результаты графического метода демонстрируют, что  $\varphi$  меняется для каждой точки, а именно для точки 1=  $45^\circ 28'$ , для точки 2= $45^\circ 52'$  и для точки 3= $46^\circ 12'$ . Кроме того, значения будут одинаковыми, потому что, если повернуть нашу линию с углом равным  $8^\circ$  вокруг образующей конуса мы увидим, что она совпадает с линией с углом  $-8^\circ$ . (см Рисунок 2.3)

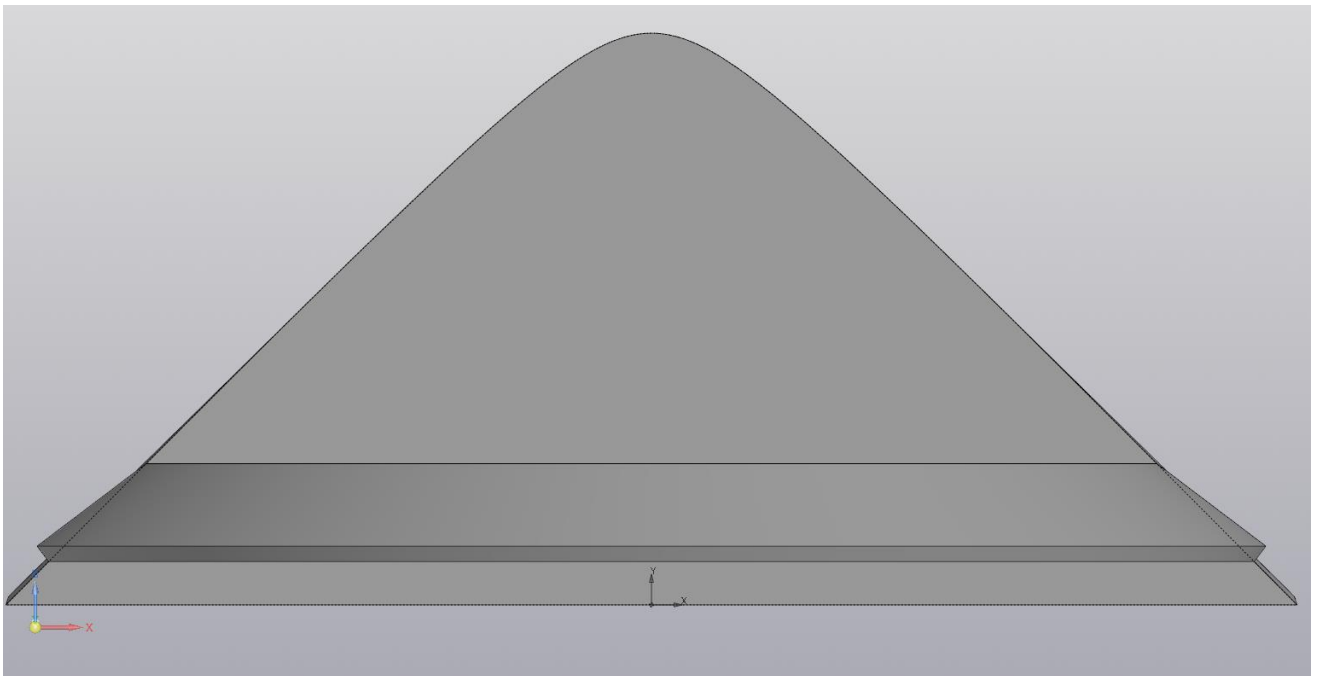


Рисунок 2.3 - Конус в программе компас

Далее мы посмотрим общий вид СМП (сменная многогранная пластина) для угла  $\lambda = 8^\circ$ . (Рис 2.4)

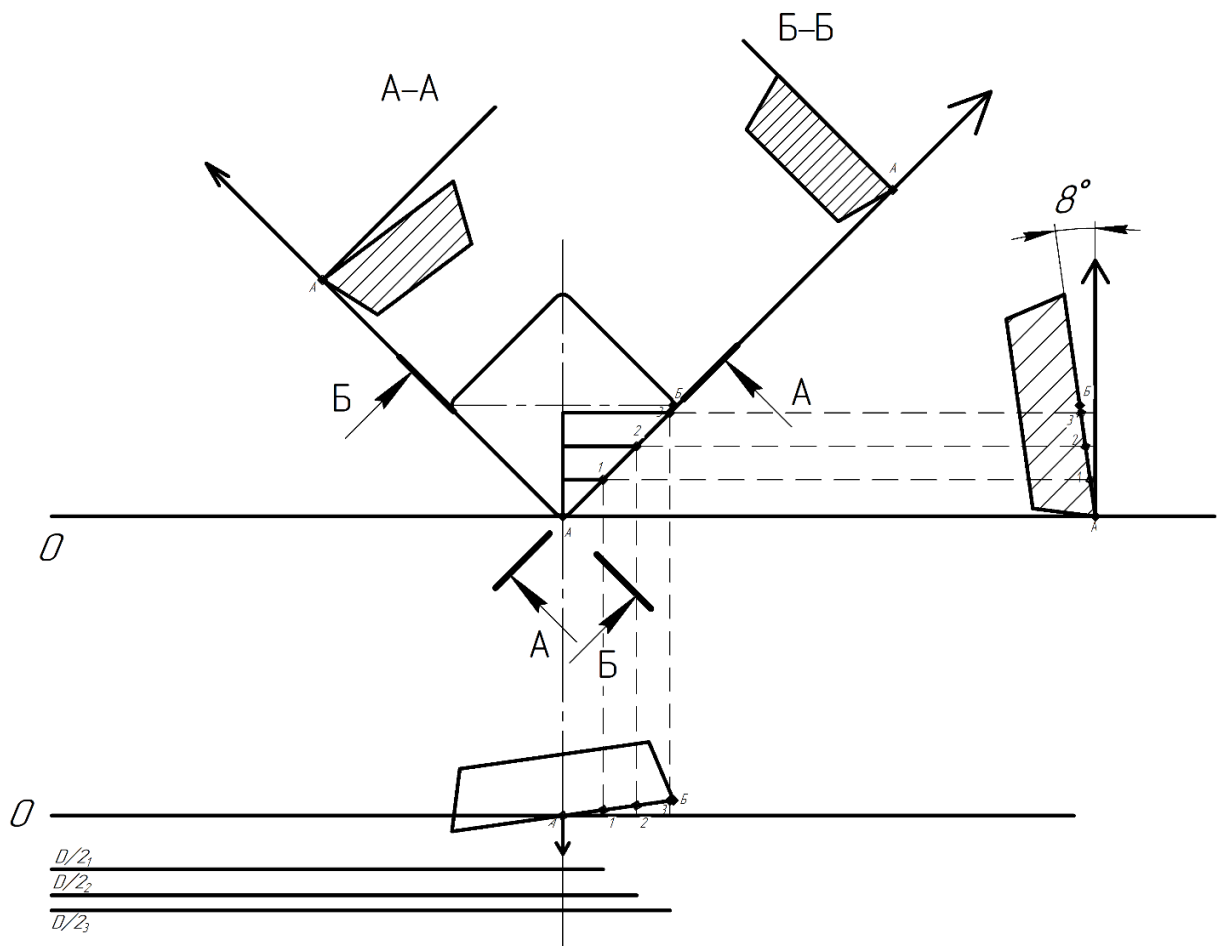


Рисунок 2.4 – Геометрия СМП общий вид для первого зуба

Исходя из данных, представленных на рисунке 2.4 возможно найти расстояние, на котором находятся точки, а также так же дельте и радиальный угол. Плоскость резание мы предварительно разделили на 3 равных участка найдем их.

Так как у нас пластина не просто квадратная, а с радиусом при вершине нам необходимо учесть это при нахождении расстояние до точек 1, 2, 3.

Данная пластина имеет толщину равную 12,7 мм, а радиус при вершине составил 0,8 мм.

$$a = b - r^2 = 12,7 - 0,8^2 = 11,1 \text{ мм,}$$

где:  $b$  - толщина пластины,  $r$  - радиус при вершине на пластине

После того как мы нашли полное расстояние режущей кромки мы можем разделить это расстояние на 3, так как у нас три точки и естественно три промежутка.

$$\frac{11,1}{3} = 3,7 \text{ мм}$$

Что бы найти радиальный угол для точек 1,2,3 для угла  $\lambda = 8^\circ$  нам понадобится найти расстояние и дельты.

Смотрим на главный вид откладываем на плоскости резания длину равную 3,7 мм проецируем на ось прямую и через получившейся треугольник можем найти расстояние, на котором находится точки 1 и последующие.

$$\frac{x}{3,7} = \cos 45,47^\circ$$

$$x = 3,7 \cdot \cos 45,47^\circ = 2,594745 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=2,594745$  мм и угол при вершине равный  $8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{2,594745} = \sin(8^\circ)$$

$$\Delta = 2,594745 \cdot \sin(8^\circ) = 0,361118 \text{ мм}$$

Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 1 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 43,162706$  мм.

Находим радиальный угол через формулы прямоугольного треугольника, а именно через тангенс острого угла, который равен отношению противолежащего катета к прилежащему катету по формуле 3.

$$tg a = \frac{a}{b}, (3)$$

$$tg \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{0,361118}{43,162706} = 0,008366$$

$$arctg(0,008366) = 0,479350^\circ$$

Для точки 2 проводим такие же действия и находим радиальный угол.

$$\frac{x}{7,4} = \cos 45,87^\circ$$

$$x = 7,4 \cdot \cos 45,87^\circ = 5,152536 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=5,152536$  мм и угол при вершине равный  $8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{5,152536} = \sin(8^\circ)$$

$$\Delta = 5,152536 \cdot \sin(8^\circ) = 0,717094 \text{ мм}$$

Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 2 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 45,7790$  мм.

Радиальный угол равняется.

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{0,717094}{45,7790} = 0,015664$$

$$\operatorname{arctg}(0,015664) = 0,897422^\circ$$

Для точки 3 проводим такие же действия и находим радиальный угол.

$$\frac{x}{11,1} = \cos 46,2^\circ$$

$$x = 11,1 \cdot \cos 46,2^\circ = 7,682789 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=7,682789$  мм и угол при вершине равный  $8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{7,682789} = \sin(8^\circ)$$

$$\Delta = 7,682789 \cdot \sin(8^\circ) = 1,069237 \text{ мм}$$



Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 3 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 48,395295$  мм.

Радиальный угол равняется.

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{1,069237}{48,395295} = 0.022093$$

$$\operatorname{arctg}(0.022093) = 1.265676^\circ$$

Далее мы прорисовываем геометрию СМП (см рис. 2.5) для каждой точки, начнем с 1 точки и рассчитываем по формуле 1 и 2.

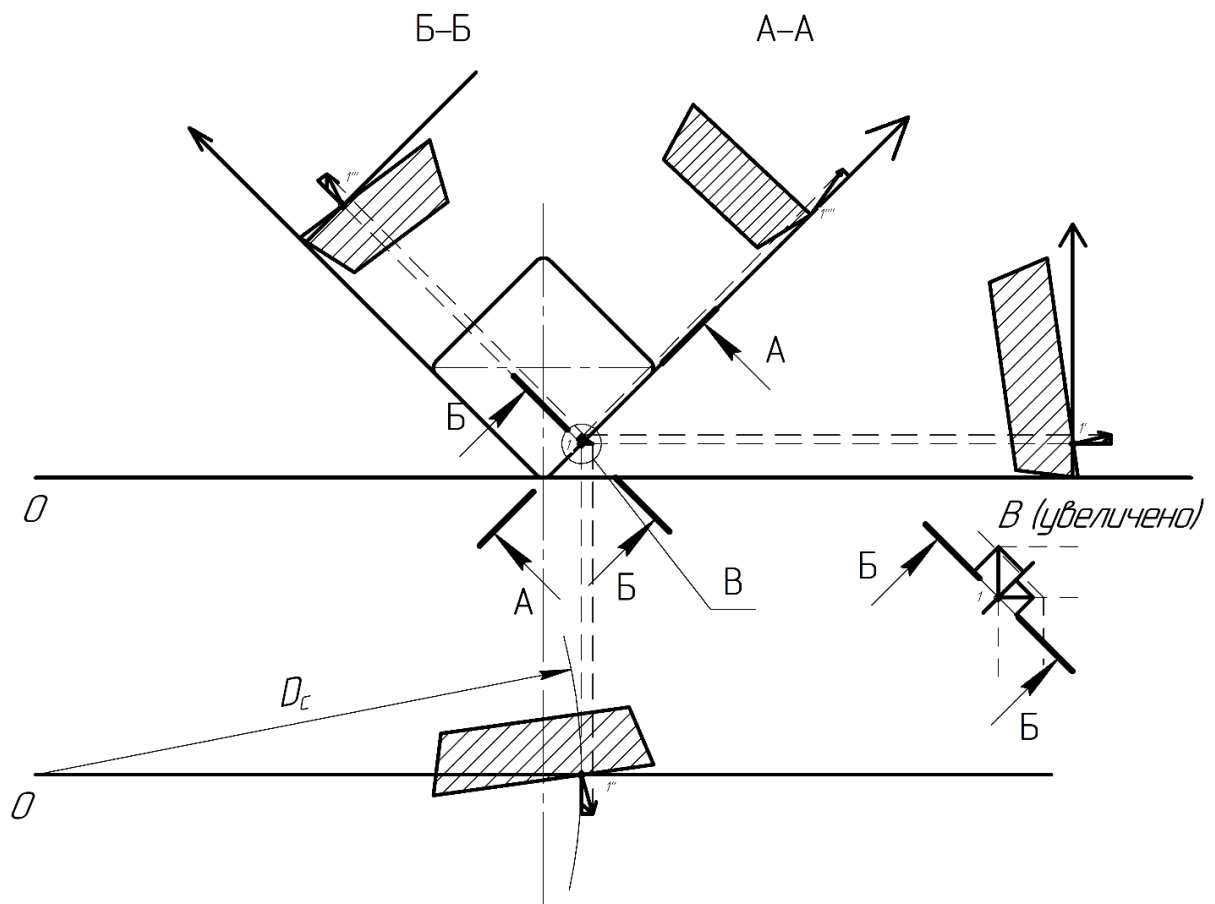


Рисунок 2.5 - Геометрия СМП в точке 1

На рисунки 2.5 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке 1.

$$\begin{aligned}\tan \lambda &= (\tan 0,479350^\circ \cdot \cos 45,47^\circ) + (\tan 8^\circ \cdot \sin 45,47^\circ) \\ &= (0,005867) + (0,100189) = 0,106056\end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = 6.053956^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 1 точки, и она составила  $6.053956^\circ$ .

Из рисунка 2.5 мы видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_n$  будет знак вычитания.

По закону сложения векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

$$\begin{aligned}\tan \gamma_n &= \tan(8^\circ) \cdot \cos 45,47^\circ - \tan(0,479350^\circ) \cdot \sin 45,47^\circ \\ &= (0,098558) - (0,005964) = 0,092594\end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_n = 5,290161^\circ$$

Нашли  $\gamma_n$  в 1 точки, и она составила  $5,290161^\circ$ .

Далее следует геометрия СМП в точке 2 (рис.2.6).

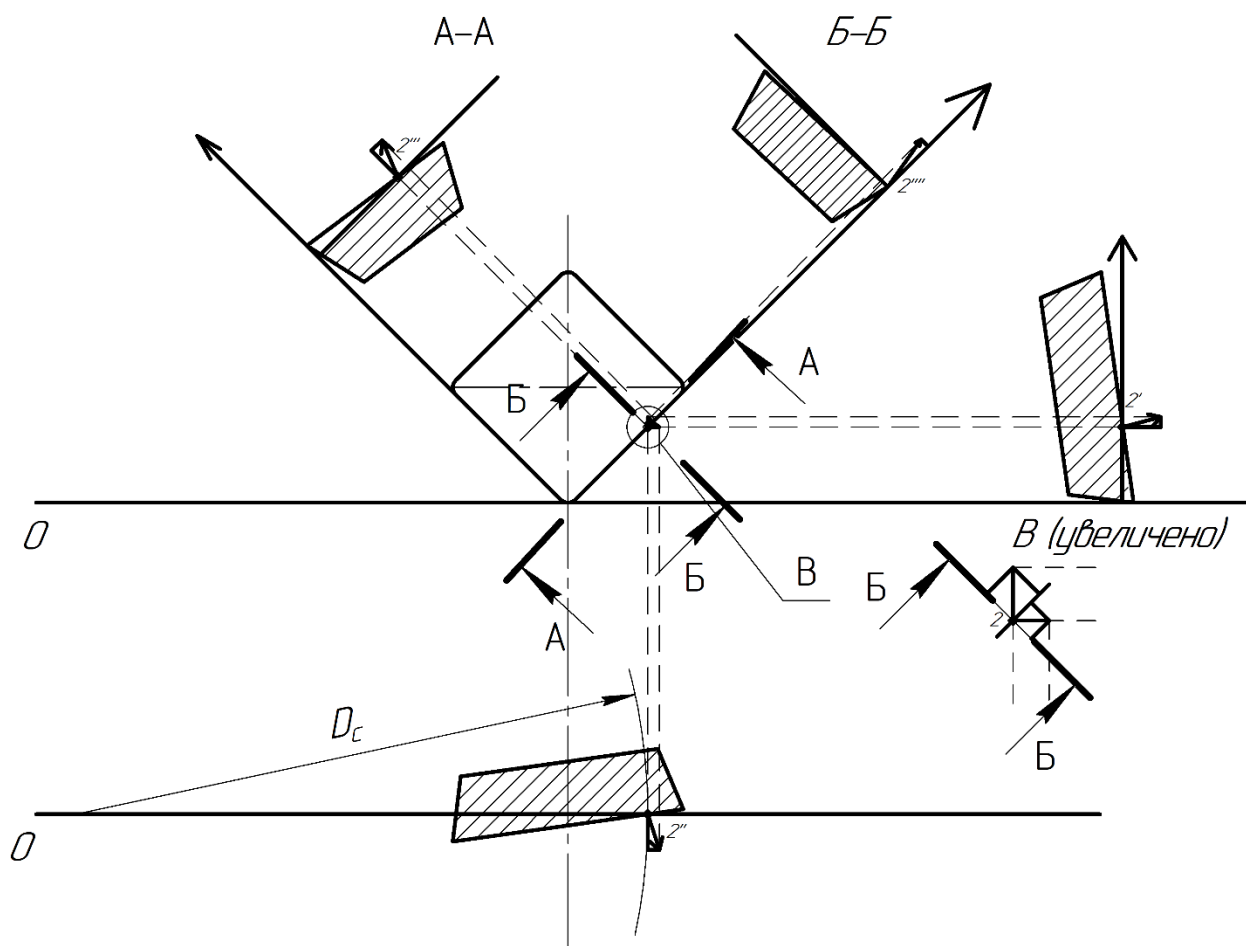


Рисунок 2.6 Геометрия СМП в точке 2

На рисунки 2.6 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке 2.

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= (\tan 0,897422^\circ \cdot \cos 45,87^\circ) + (\tan 8^\circ \cdot \sin 45,87^\circ) \\ &= (0,010906) + (0,100874) = 0,11178 \end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = 6,378141^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 2 точки, и она составила  $6,378141^\circ$ .

Из рисунка 2.6 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_n$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке 2.

$$\begin{aligned}\tan \gamma_H &= \tan(8^\circ) \cdot \cos 45,87^\circ - \tan(0,897422^\circ) \cdot \sin 45,87^\circ \\ &= (0,097856) - (0,011243) = 0,086613\end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_H = 4,950250^\circ$$

Нашли  $\gamma_H$  в 2 точки, и она составила  $4,950250^\circ$ .

Ну и остается геометрия СМП в точке 3 (см рис. 2.7)

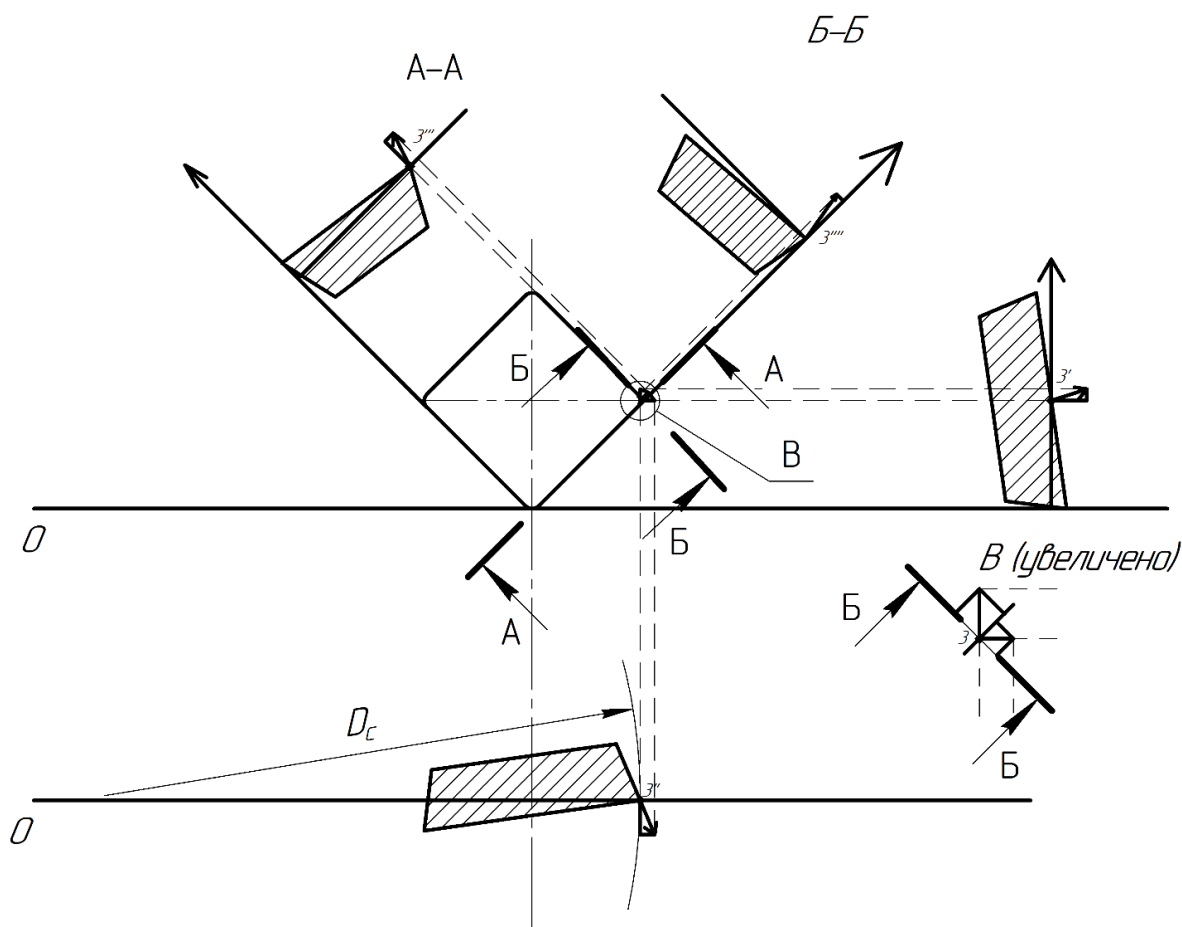


Рисунок 2.7 Геометрия СМП в точке 3

На рисунки 2.7 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке 3.

$$\begin{aligned}\tan \lambda &= (\tan 1,265676^\circ \cdot \cos 46,2^\circ) + (\tan 8^\circ \cdot \sin 46,2^\circ) \\ &= (0,015292) + (0,101436) = 0,116728\end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = 6,657940^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 3 точки, и она составила  $6.657940^\circ$ .

Из рисунка 2.7 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_n$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке 3.

$$\begin{aligned}\tan \gamma_n &= \tan(8^\circ) \cdot \cos 46,2^\circ - \tan(1,265676^\circ) \cdot \sin 46,2^\circ \\ &= (0.097274) - (0,015946) = 0.081328\end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_n = 4.649515^\circ$$

Нашли  $\gamma_n$  в 3 точки, и она составила  $4.649515^\circ$ .

### 2.3.2 Зуб 2

Далее мы меняем осевой угол  $\gamma_{oc} = -8^\circ$ , но при этом оставляем угол в плане неизменным  $\varphi=45^\circ$

Но должно соблюдаться условия нахождения каждой режущей точки на соответствующем предыдущему зубу диаметре.

Исходя из графического метода мы узнали, что численное значение будет одинаковые, а вот знак поменяется, потому что, повернули нашу линию с осевым углом равным  $\gamma_{oc} = 8^\circ$  на осевой угл равный  $\gamma_{oc} = -8^\circ$ .

Но это лишь предположение, которое стоит проверить численным методом.

Так же начертим геометрию СМП сначала общий вид и рассчитаем радиальные углы в точках 1,2,3. (см рис. 2.8)

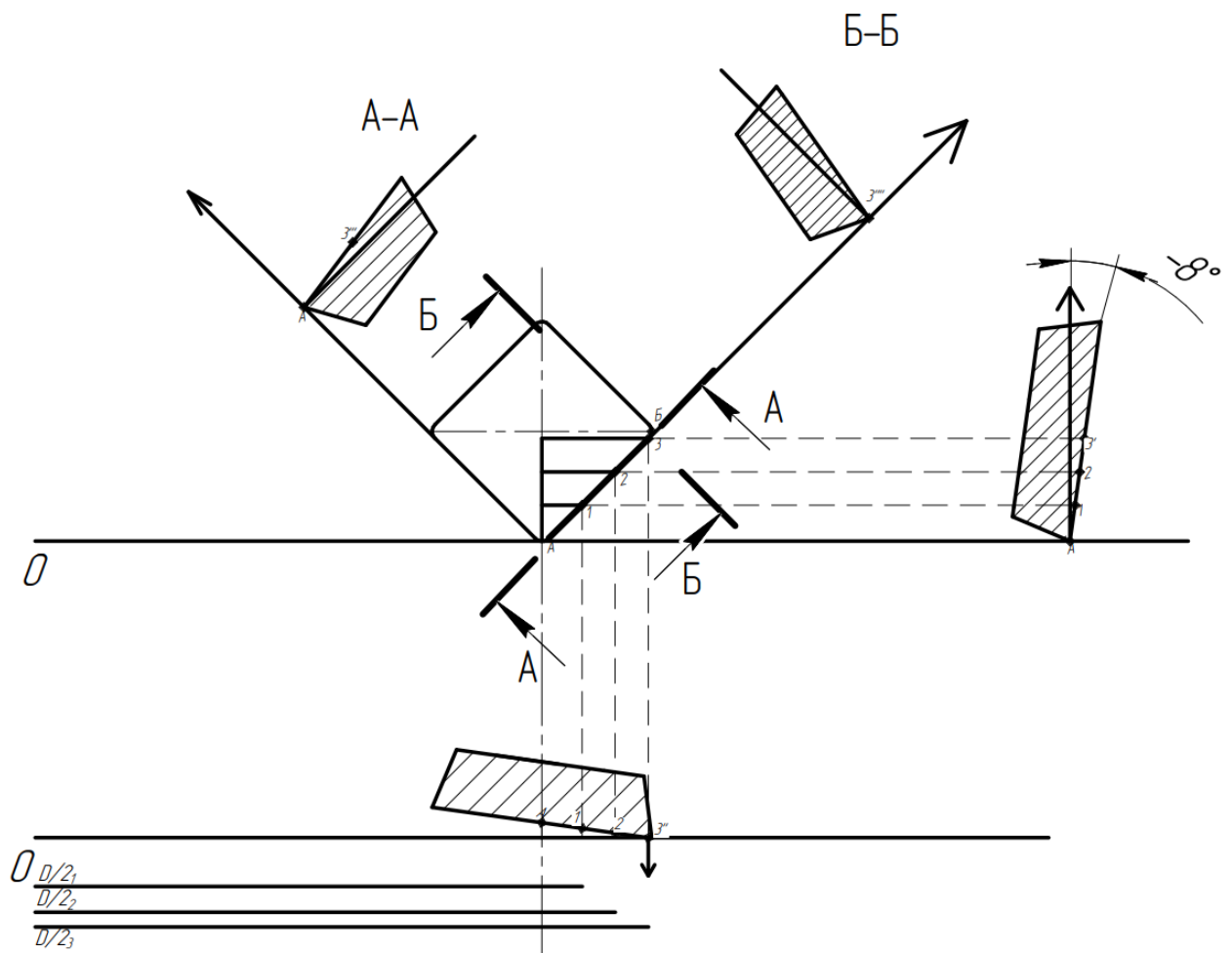


Рисунок 2.8 - СМП общий вид для 2 зуба

Исходя из рисунка 2.8 мы можем найти расстояние, на котором находятся точки, а также так же дельте и радиальный угол. Плоскость резания мы предварительно разделили на 3 равных участка найдем их.

Смотрим на главный вид откладываем на плоскости резания длину равную 3,7 мм проецируем на ось прямую и через получившейся треугольник можем найти расстояние, на котором находится точки 1 и последующие.

$$\frac{x}{3,7} = \cos 45,47^\circ$$

$$x = 3.7 \cdot \cos 45,47^\circ = 2.594745 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=2,594745$  мм и угол при вершине равный  $-8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{2.594745} = \sin(-8^\circ)$$

$$\Delta = 2,594745 \cdot \sin(-8^\circ) = -0.361118 \text{ мм}$$

Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 1 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 43.162706$  мм.

Находим радиальный угол через формулы прямоугольного треугольника, а именно через тангенс острого угла, который равен отношению противолежащего катета к прилежащему катету

$$\operatorname{tg} a = \frac{a}{b}, (3)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{-0,361118}{43,162706} = -0,008366$$

$$\operatorname{arctg}(-0,008366) = -0,479350^\circ$$

Для точки 2 проводим такие же действия и находим радиальный угол.

$$\frac{x}{7,4} = \cos 45,87^\circ$$

$$x = 7,4 \cdot \cos 45,87^\circ = 5,152536 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=5,152536$  мм и угол при вершине равный  $-8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{5,152536} = \sin(-8^\circ)$$

$$\Delta = 5,152536 \cdot \sin(-8^\circ) = -0.717094 \text{ мм}$$

Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 2 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 45,7790$  мм.

Радиальный угол равняется.

$$tg \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{-0,717094}{45,7790} = -0,015664$$

$$arctg(-0,015664) = -0,897422^\circ$$

Для точки 3 проводим такие же действия и находим радиальный угол.

$$\frac{x}{11,1} = \cos 46,2^\circ$$

$$x = 11,1 \cdot \cos 46,2^\circ = 7,682789 \text{ мм}$$

Далее можем найти  $\Delta$ , для этого смотрим вид сбоку.

Мы знаем катет  $x=7.682789$  мм и угол при вершине равный  $-8^\circ$ , найдем через формулу прямоугольного треугольника.

$$\frac{\Delta}{7,682789} = \sin(-8^\circ)$$

$$\Delta = 7,682789 \cdot \sin(-8^\circ) = -1,069237 \text{ мм}$$

Для нахождения радиального угла нам понадобится радиус фрезы в точке 1, мы найдём его графически в программе компас, для точки 3 это расстояние составила  $\frac{D}{2} = 48,395295$  мм.

Радиальный угол равняется.

$$tg \gamma_p = \frac{\Delta}{D_c} = \frac{-1,069237}{48,395295} = -0.022093$$

$$arctg(-0.022093) = -1.265676^\circ$$



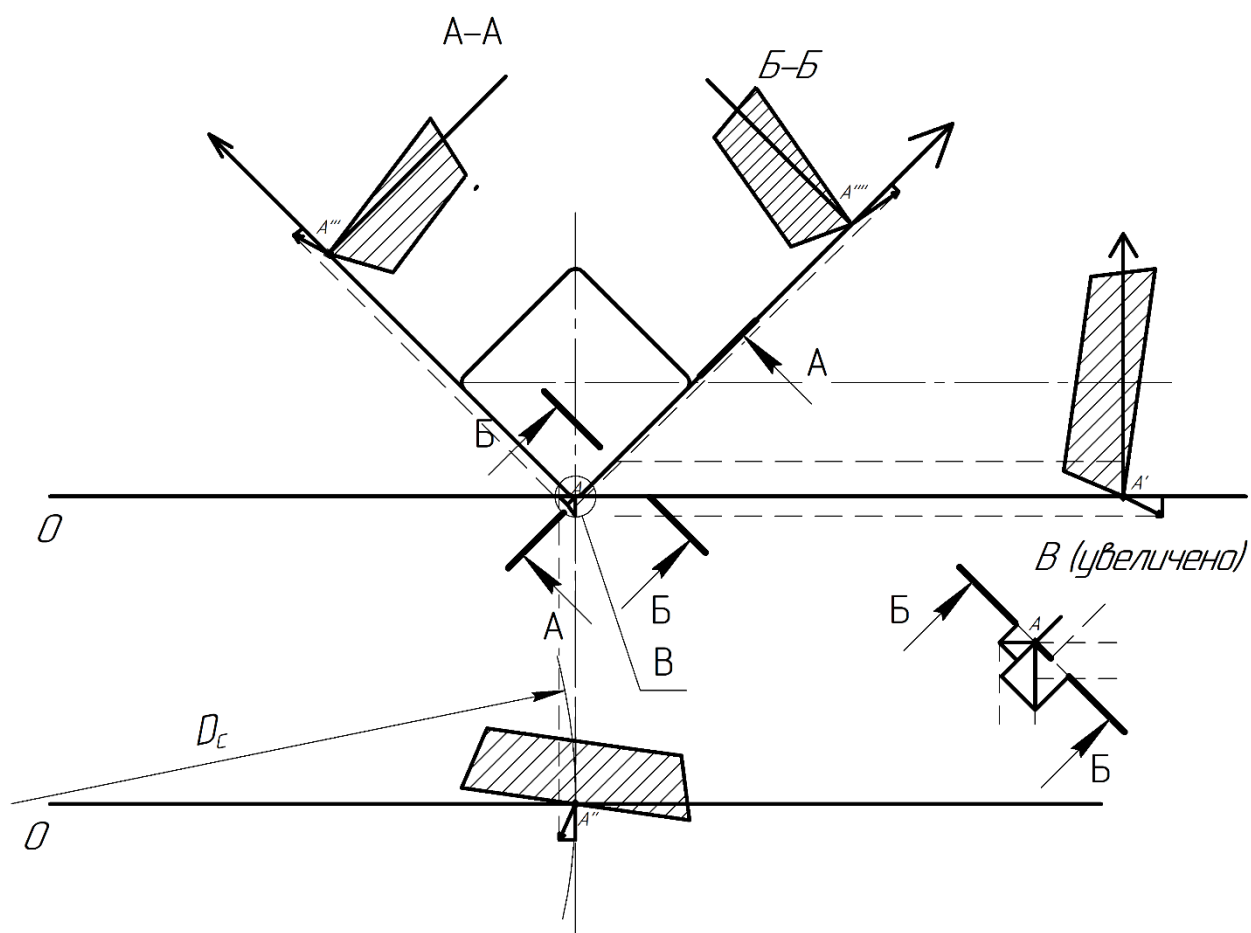


Рисунок 2.9 - Геометрия СМП второго зуба в точке А

На рисунки 2.9 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке А.

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= (\tan 0^\circ \cdot \cos 45^\circ) + (\tan -8^\circ \cdot \sin 45^\circ) = (0) + (-0.099377) \\ &= -0.099377 \end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = -5,67^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 2 точки, и она составила  $-5,67^\circ$ .

Из рисунка 2.9 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_n$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке А.

$$\begin{aligned}\tan \gamma_H &= \tan(-8^\circ) \cdot \cos 45^\circ - \tan(0^\circ) \cdot \sin 45^\circ = (-0.099377) - (0) \\ &= -0.099377\end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_H = -5,67^\circ$$

Нашли  $\gamma_H$  в А точки, и она составила  $-5,67^\circ$ .

Следующая точка на втором зубе точка 1.

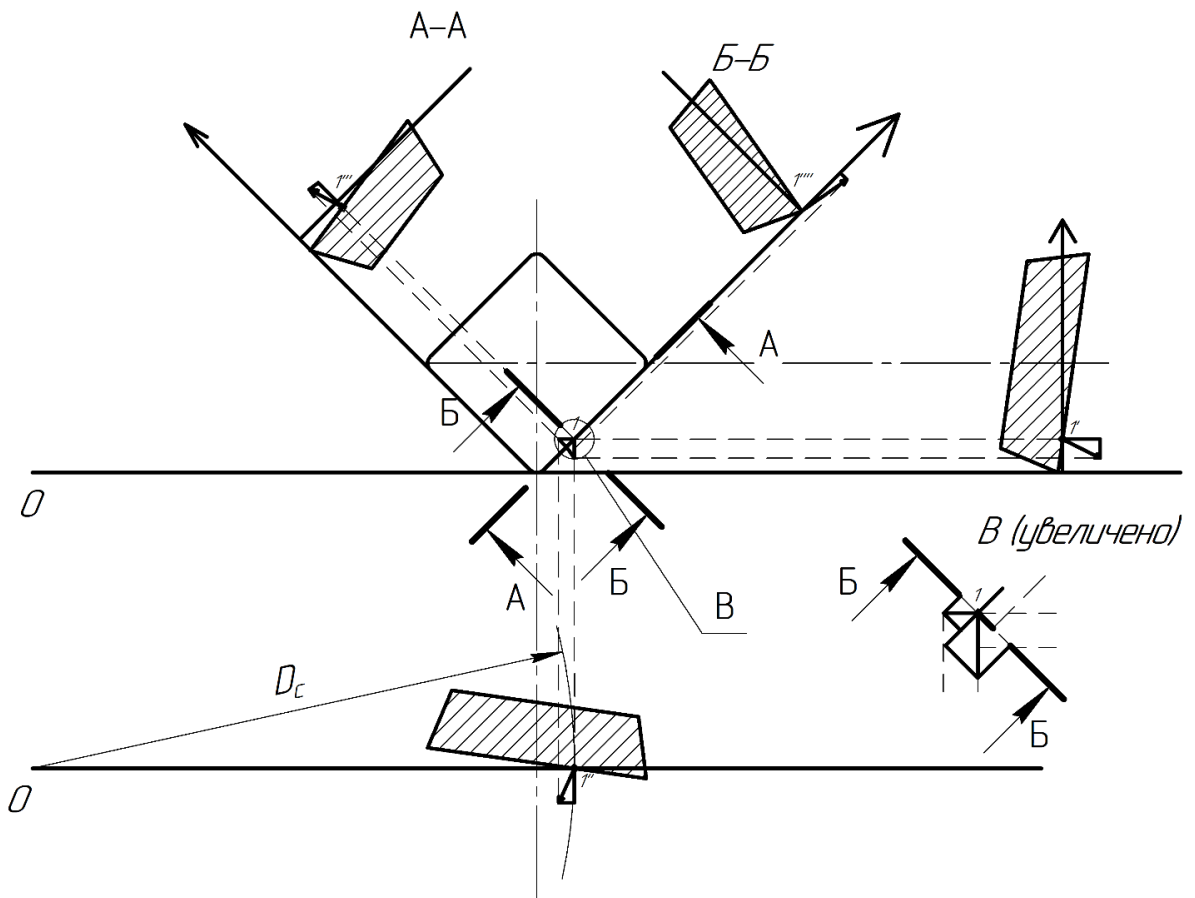


Рисунок 2.10 - Геометрия СМП второго зуба в точке 1

На рисунки 2.10 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке А.

$$\begin{aligned}\tan \lambda &= \tan (-0,479350^\circ) \cdot \cos 45,47^\circ + \tan(-8^\circ) \cdot \sin 45,47^\circ \\ &= (-0,005867) + (-0.100189) = -0.106056\end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = - 6,053956^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 2 точки, и она составила  $-6,053956^\circ$ .

Из рисунка 2.10 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_H$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке А.

$$\begin{aligned} \tan \gamma_H &= \tan(-8^\circ) \cdot \cos 45,47^\circ - \tan(-0,479350^\circ) \cdot \sin 45,47^\circ \\ &= (-0.098558) - (-0,005964) = -0.092594 \end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_H = - 5,290161^\circ$$

Нашли  $\gamma_H$  в А точки, и она составила  $-5,290161^\circ$ .

Следующая рассчитываемая точка на втором зубе будет точка 2.

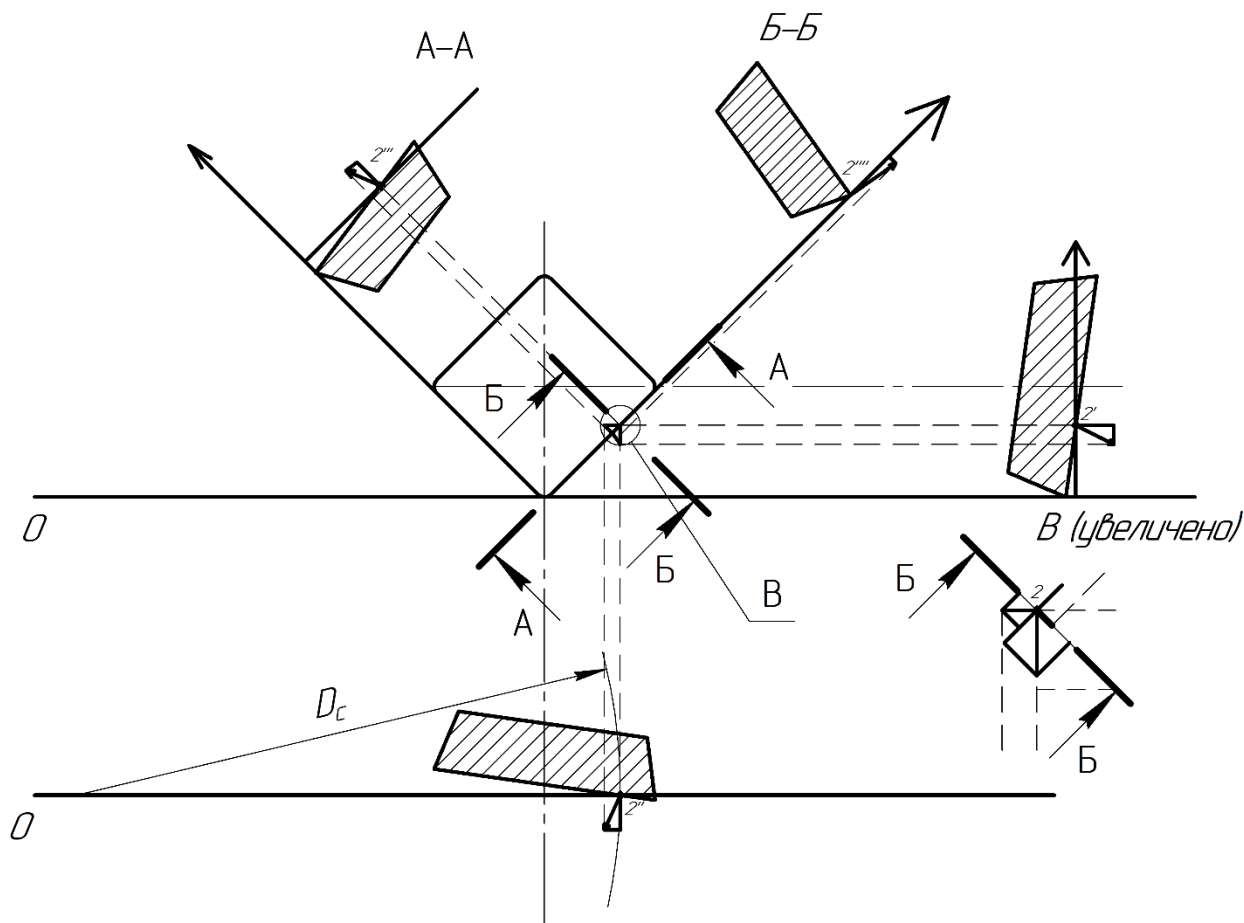


Рисунок 2.11 - Геометрия СМП второго зуба в точке 2

На рисунке 2.11 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке 2.

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= \tan(-0,897422)^\circ \cdot \cos 45,87^\circ + \tan(-8^\circ) \cdot \sin 45,87^\circ \\ &= (-0,010906) + (-0.100874) = -0.11178 \end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = -6,378141^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 2 точки, и она составила  $-6.378141^\circ$ .

Из рисунка 2.11 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_n$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке 2.

$$\begin{aligned} \tan \gamma_H &= \tan(-8^\circ) \cdot \cos 45,87^\circ - \tan(-0,897422^\circ) \cdot \sin 45,87^\circ \\ &= (-0.097856) - (-0,011243) = 0.086613 \end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_H = -4.950250^\circ$$

Нашли  $\gamma_H$  в 2 точки, и она составила  $-4.950250^\circ$ .

Остается только рассчитать точку 3.

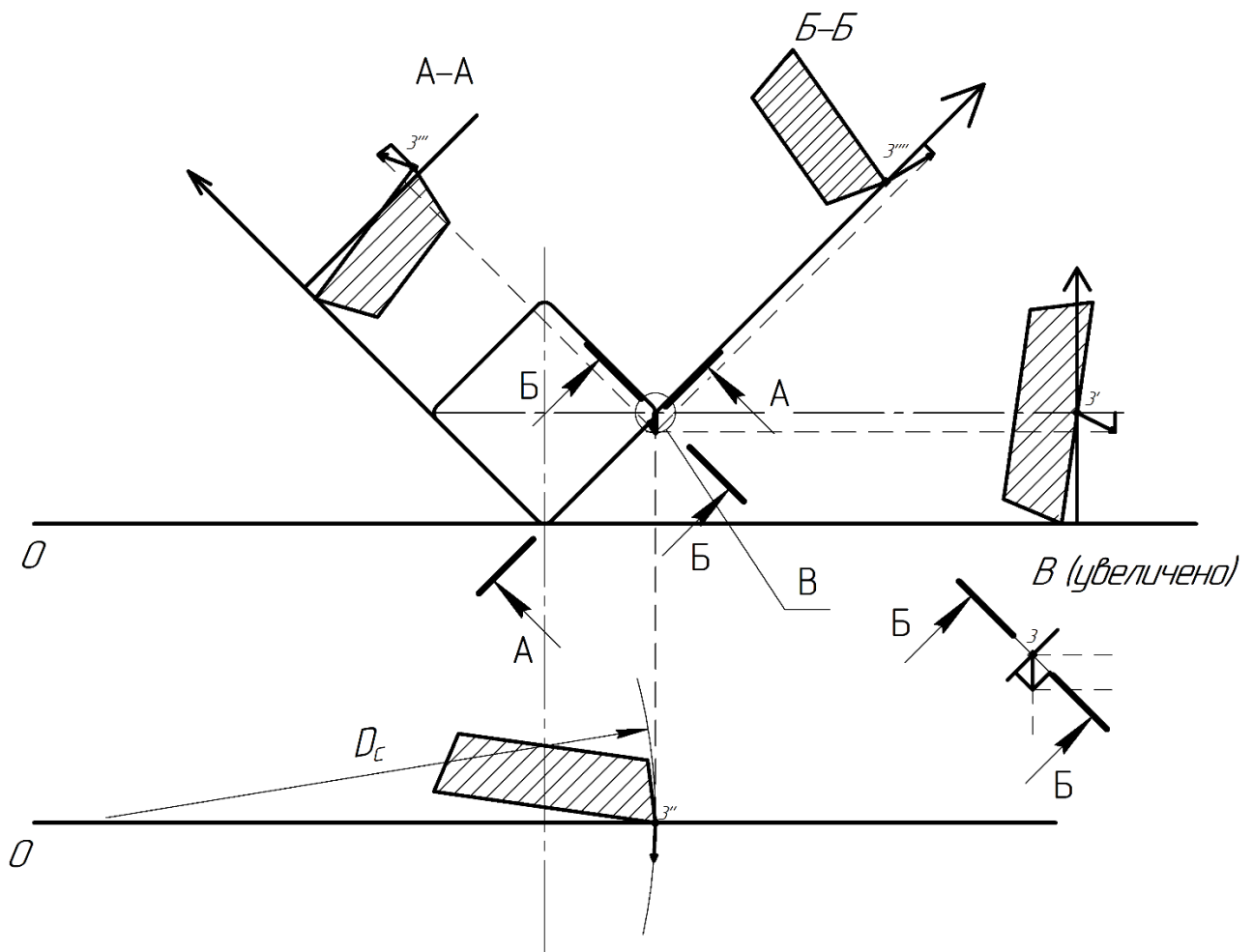


Рисунок 2.12 - Геометрия СМП второго зуба в точке 3

На рисунке 2.12 мы увидели, что вектора проецируются на одну сторону отсюда вывод, что в формуле расчета  $\lambda$  будет знак сложения.

По формуле 1 считаем угол наклона режущей кромки в точке 3.

$$\begin{aligned}\tan \lambda &= (\tan -1,265676^\circ \cdot \cos 46,2^\circ) + (\tan -8^\circ \cdot \sin 46,2^\circ) \\ &= (-0,015292) + (-0.101436) = -0.116728\end{aligned}$$

$$\arctan \lambda = -6,657940^\circ$$

Нашли  $\lambda$  в 3 точки, и она составила  $-6.657940^\circ$ .

Из рисунка 2.12 мы также видим, что вектора раскладываются в разные стороны отсюда вывод, что в формуле расчета  $\gamma_H$  будет знак вычитания.

По закону сложение векторов мы будем от большего отнимать меньшее, то есть от осевого угла будем вычитать радиальный.

Далее посчитаем по формуле 2 угол наклона передней поверхности в точке 3.

$$\begin{aligned}\tan \lambda &= (\tan -8^\circ \cdot \cos 46,2^\circ) - (\tan -1,265676^\circ \cdot \sin 46,2^\circ) \\ &= (-0.101436, 015292) - (-0,015292) = -0.116728\end{aligned}$$

$$\arctan \gamma_H = -4.649515^\circ$$

Нашли  $\gamma_H$  в 3 точки, и она составила  $-4.649515^\circ$ .

В ходе расчетов мы нашли и рассчитали все точки на двух интересующих нас зубьев. После этого мы заносим все значения в таблицу и посмотрим, как изменяется  $\lambda$  и  $\gamma_H$ . (Таблица 2.2)

А также с помощью таблицы значений мы рассчитаем значения  $\Delta\lambda_{max}$ , а именно вычитанием значений  $\lambda$  (см формулу 4)

$$\Delta\lambda_{max} = \gamma_{oc}(8^\circ) - \gamma_{oc}(-8^\circ); \quad (4)$$

$$\Delta\lambda_{max}^A = 5.67^\circ - (-5.67^\circ) = 11.34^\circ$$

$$\Delta\lambda_{max}^1 = 6.053956^\circ - (-6.053956^\circ) = 12.107912^\circ$$

$$\Delta\lambda_{max}^2 = 6.378141^\circ - (-6.378141^\circ) = 12.7262^\circ$$

$$\Delta\lambda_{max}^3 = 6.657940^\circ - (-6.657940^\circ) = 13.31588^\circ$$

Таблица 2.2 - Значения  $\lambda$  и  $\gamma_H$

(•)	$\gamma_{oc}=8^\circ$		$\gamma_{oc}=-8^\circ$		$\Delta\lambda_{max}$
	$\lambda$	$\gamma_H$	$\lambda$	$\gamma_H$	
A	$5,67^\circ$	$5,67^\circ$	$-5,67^\circ$	$-5,67^\circ$	$11,34^\circ$
1	$6,053956^\circ$	$5,290161^\circ$	$-6,053956^\circ$	$-5,290161^\circ$	$12,107912^\circ$
2	$6,378141^\circ$	$4,950250^\circ$	$-6,378141^\circ$	$-4,950250^\circ$	$12,7562^\circ$
3	$6,657940^\circ$	$4,649515^\circ$	$-6,657940^\circ$	$-4,649515^\circ$	$13,31588^\circ$

При разно угловом резании  $\Delta\lambda_{max}$  должна принимать самое большое значение для улучшения режущих способностей фрезы. Осевой угол в сумме в некоторых точках с радиальным дают большое влияние на  $\Delta\lambda_{max}$ . А вот в отдельности радиальный угол будет оказывать на  $\lambda$  не значительные изменение.

Влияет на  $\Delta\lambda_{max}$  радиального угла. Проверим будет ли радиальный угол сильно влиять на изменение  $\Delta\lambda_{max}$ .

Так же будем использовать формулу 1 для нахождения  $\lambda$ .

$$\tan \lambda = \tan \gamma_p \cdot \cos \varphi \mp \tan \gamma_{oc} \cdot \sin \varphi,$$

Для нахождения  $\lambda$  с изменением радиального угла будут производиться в первом приближение без изменение главного угла в плане  $\varphi=45^\circ$ , для чистоты эксперимента угол в осевом направлении возьмем наименьший, то есть приближенный к нулю.

А еще тут должно соблюдаться условие, при котором изменение радиального угла не должно привести к выходу режущих пластин за рабочий диаметр фрезы.

Значение радиального угла примем равное  $5^\circ$ , а значение осевого угла примем  $0,1^\circ$

$$\tan \lambda = \tan(5^\circ) \cdot \cos 45^\circ + \tan(0,1) \cdot \sin 45^\circ,$$

$$\tan \lambda = 0,06186 + 0,001234 = 0,100611$$

$$\arctan \lambda = 3,610460^\circ$$

А для радиального угла второго зуба мы примем значение равное  $-8^\circ$  и так же посчитаем

$$\tan \lambda = \tan(-5^\circ) \cdot \cos 45^\circ + \tan(0,1) \cdot \sin 45^\circ,$$

$$\tan \lambda = -0,06186 + 0,001234 = -0,098143$$

$$\arctan \lambda = -3,46957^\circ$$

Исходя из расчетов влияние, оказываемое радиальным углом меньше, чем влияние, оказываемое за счет изменение осевого угла. Отсюда следует что дальнейшие расчеты по определению  $\lambda$  в зависимости от радиального угла не целесообразны.

Далее мы рассчитали  $\gamma_n$  которое нам понадобится для выбора обрабатываемого материала.

## 2.4 Расчет общего угла наклона передней поверхности

Но для расчета действительного угла наклона передней поверхности  $\gamma_n$  нам нужно прибавить угол на пластине, а именно задний угол.

$$\gamma_n^{\text{общ}} = \text{tg } \gamma_n + \text{tg } \gamma_n \quad (5)$$

Начнем с положительного наклона в осевом направлении, возьмем значение из таблицы 2.

Точка А.

$$\text{Для } \gamma_{oc} = 8^\circ; \gamma_n^{\text{общ}} = \tan 5,67^\circ + \tan 15^\circ = 0.099284 + 0.267949 = 0.367233$$

$$\arctan(0.367233) = 20.16^\circ$$

$$\text{Для } \gamma_{oc} = -8^\circ; \gamma_n^{\text{общ}} = \tan(-5,67^\circ) + \tan 15^\circ = -0.099284 + 0.267949 = 0,168664$$

$$\arctan(0,168664) = 9,573671^\circ$$

Точка 1.

$$\text{Для } \gamma_{oc} = 8^\circ; \gamma_n^{\text{общ}} = \tan 5,290161^\circ + \tan 15^\circ = 0.092593 + 0.267949 = 0,360543$$



$$\arctan(0.360543) = 19,826423^\circ$$

$$\text{Для } \gamma_{oc} = -8^\circ; \gamma_H^{\text{общ}} = \tan(-5,290161^\circ) + \tan 15^\circ = -0.092593 + 0.267949 = 0,175355$$

$$\arctan(0,175355) = 9,945990^\circ$$

Точка 2

$$\text{Для } \gamma_{oc} = 8^\circ; \gamma_H^{\text{общ}} = \tan 4,950250^\circ + \tan 15^\circ = 0.086613 + 0.267949 = 0,354562$$

$$\arctan(0.354562) = 19,522622^\circ$$

$$\text{Для } \gamma_{oc} = -8^\circ; \gamma_H^{\text{общ}} = \tan(-4,950250^\circ) + \tan 15^\circ = -0.086613 + 0.267949 = 0,181335$$

$$\arctan(0,181335) = 10,278045^\circ$$

Точка 3.

$$\text{Для } \gamma_{oc} = 8^\circ; \gamma_H^{\text{общ}} = \tan 4,649515^\circ + \tan 15^\circ = 0.081327 + 0.267949 = 0,349277$$

$$\arctan(0,349277) = 19,253133^\circ$$

$$\text{Для } \gamma_{oc} = -8^\circ; \gamma_H^{\text{общ}} = \tan(-4,649515^\circ) + \tan 15^\circ = -0.081327 + 0.267949 = 0,186621$$

$$\arctan(0,186621) = 10,571008^\circ$$

Исходя из этих расчетов таблица 2.2 будет иметь следующий вид. (см таблицу 2.3)

Таблица 2.3 Значения  $\lambda$ ,  $\gamma_H$ ,  $\gamma_H^{\text{общ}}$

(●)	$\gamma_{\text{ос}}=8^\circ$		$\gamma_{\text{ос}}=-8^\circ$		$\gamma_{\text{п}}$	$\Delta\lambda_{\text{max}}$	$\gamma_H^{\text{общ}}$	
	$\lambda$	$\gamma_H$	$\lambda$	$\gamma_H$			$\gamma_{\text{ос}}=8^\circ$	$\gamma_{\text{ос}}=-8^\circ$
A	$5,67^\circ$	$5,67^\circ$	$-5,67^\circ$	$-5,67^\circ$	$15^\circ$	$11,34^\circ$	$20,16^\circ$	$9,573671^\circ$
1	$6,053956^\circ$	$5,290161^\circ$	- $6,053956^\circ$	- $5,290161^\circ$	$15^\circ$	$12,107912^\circ$	$19,826423^\circ$	$9,945990^\circ$
2	$6,378141^\circ$	$4,950250^\circ$	- $6,378141^\circ$	- $4,950250^\circ$	$15^\circ$	$12,7562^\circ$	$19,522622^\circ$	$10,278045^\circ$
3	$6,657940^\circ$	$4,649515^\circ$	- $6,657940^\circ$	- $4,649515^\circ$	$15^\circ$	$13,31588^\circ$	$19,253133^\circ$	$10,571008^\circ$

## 2.5 Определение оптимального контакта установки изделия относительно торцевой фрезы

При решениях задачи о рациональных режимах резания при торцевом фрезеровании особое значение, в частности для титановых и жаропрочных материалов, имеет вопрос о расположении заготовки относительно фрезы. От этого расположения зависит место первоначального контакта зуба фрезы с заготовкой. Как мы можем видеть из рисунка 2.13, этот контакт может иметь место в одном из четырех точек параллелограмма STUV. Наиболее благоприятных является начальный контакт в точке U, так как при этом первоначальный удар относится то вершины зуба S в точку, максимально удаленную от нее, что должно оказывать влияние на ее стойкость.

С целью дальнейшего исследования вопроса, нами выяснялось влияние расположения заготовки из металлического сплава марки BT22 относительно торцевой фрезы, оснащенной пластинами из твердого сплава марки BK8.

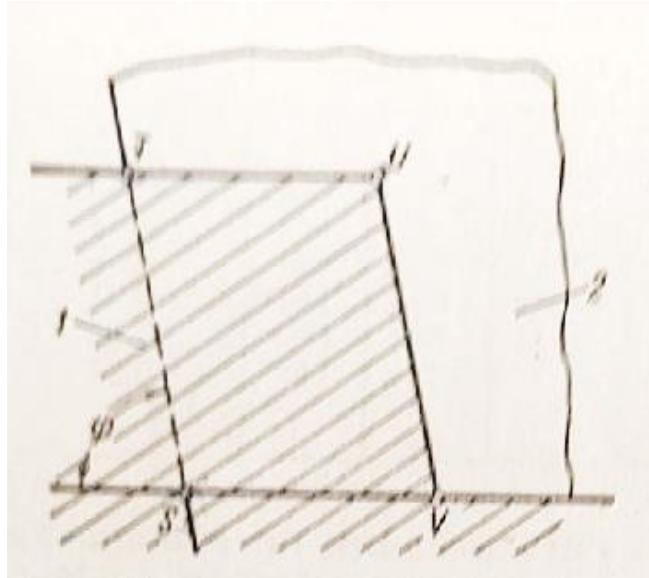


Рисунок 2.13 - Точки первоначального контакта зуба торцевой фрезы с заготовкой: 1-Заготовка; 2- фреза

Работа проводилась торцевой фрезой оптимальной геометрией, а именно  $D_{\phi}=80$  мм,  $\varphi=45^{\circ}$

Расположение заготовки относительно фрезы характеризовалось схемой, представленной на рисунке 2.14. Величина  $u$  изменялась в пределах  $u=0 \div 30$ . При этом величина  $C_0$  равная

$$C_0 = D_{\phi} - t - u = 80 - 40 = 40 - u \quad (6)$$

$$C_0 = 40 \div 10 \text{ мм.}$$

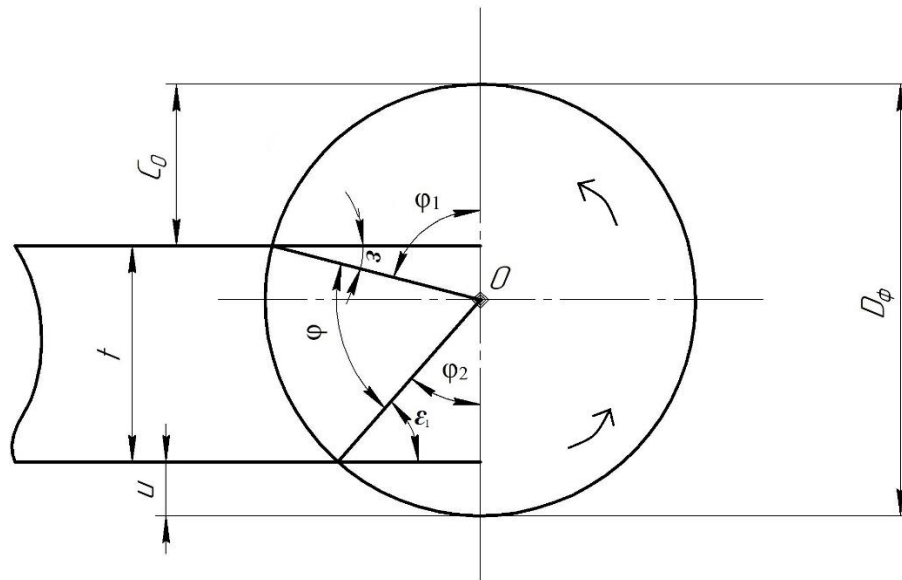


Рисунок 2.14 Схема расположения заготовки относительно торцевой фрезы.

Для всех величин  $u$  определяется угол встречи  $\varepsilon$  из зависимости

$$\sin \varepsilon = 1 - \frac{2C_0}{D_\phi} \quad (7)$$

$$\sin \varepsilon^1 = 1 - \frac{2C_0^1}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 30}{80} = 0.25$$

$$\arcsin(0.25) = 14,5^\circ$$

$$\sin \varepsilon^2 = 1 - \frac{2C_0^2}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 20}{80} = 0.5$$

$$\arcsin(0.5) = 30^\circ$$

$$\sin \varepsilon^3 = 1 - \frac{2C_0^3}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 10}{80} = 0.75$$

$$\arcsin(0.75) = 49^\circ$$

Так как в нашем случае  $\frac{D_\phi}{2} > C_0$  при всех значениях  $u$ .

Угол входа  $\varphi_1$  определяется из зависимости

$$\varphi_1 = 90^\circ - \varepsilon \quad (8)$$

$$\varphi_1^1 = 90^\circ - 14,5^\circ = 75,5^\circ$$

$$\varphi_1^2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

$$\varphi_1^3 = 90^\circ - 49^\circ = 51^\circ$$

Угол выхода  $\varphi_2$  определяется из зависимости

$$\varphi_2 = 90^\circ - \varepsilon_1$$

А угол  $\varepsilon_1$  находится в зависимости

$$\sin \varepsilon_1 = 1 - \frac{2u}{D_\phi} \quad (9)$$

$$\sin \varepsilon_1^1 = 1 - \frac{2u^1}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 10}{80} = 0.75$$

$$\arcsin(0.75) = 49^\circ$$

$$\sin \varepsilon_1^2 = 1 - \frac{2u^2}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 20}{80} = 0.5$$

$$\arcsin(0.5) = 30^\circ$$

$$\sin \varepsilon_1^3 = 1 - \frac{2u^3}{D_\phi} = 1 - \frac{2 \cdot 30}{80} = 0.25$$

$$\arcsin(0.25) = 14,5^\circ$$

Считаем  $\varphi_2$ ,

$$\varphi_2 = 90^\circ - \varepsilon_1$$

$$\varphi_2^1 = 90^\circ - 49^\circ = 51^\circ$$

$$\varphi_2^2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

$$\varphi_2^3 = 90^\circ - 14,5^\circ = 75,5^\circ$$

Так как в нашем случае  $\frac{D_{\phi}}{2} > u$ , то формула 9 остается всегда справедливой.

Угол контакта во всех случаях определяется из зависимости

$$\psi = 180^{\circ} - (\varphi_1 + \varphi_2). \quad (10)$$

$$\psi^1 = 180^{\circ} - (75.5^{\circ} + 51^{\circ}) = 53.5^{\circ}$$

$$\psi^2 = 180^{\circ} - (60^{\circ} + 60^{\circ}) = 60^{\circ}$$

$$\psi^3 = 180^{\circ} - (51^{\circ} + 75.5^{\circ}) = 53.5^{\circ}$$

Для определения места начального контакта использовались следующие условия

$$\gamma_{\text{рад}} > \varepsilon$$

$$90^{\circ} - \varphi > i,$$

где  $i$  - проекция угла между направлением оси фрезы и линией пересечения передней поверхности зуба с плоскостью встречи заготовки на осевую плоскость, проходящую через вершину зуба.

Угол  $i$  определяется из формулы

$$\operatorname{tg} i = \frac{\operatorname{tg} \gamma_{\text{ос}}}{\operatorname{tg} \gamma_{\text{рад}} + \operatorname{tg} \varepsilon} \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} i^1 = \frac{\operatorname{tg}(8^{\circ})}{\operatorname{tg}(0) - \operatorname{tg}(14.5^{\circ})} = -31.136096$$

$$\operatorname{arctg}(-88.160460) = -88^{\circ}9'36''$$

$$\operatorname{tg} i^2 = \frac{\operatorname{tg}(8^{\circ})}{\operatorname{tg}(0) - \operatorname{tg}(30^{\circ})} = -13.94$$

$$\operatorname{arctg}(-4.647637) = -85^{\circ}54'$$

$$\operatorname{tg} i^3 = \frac{\operatorname{tg}(8^{\circ})}{\operatorname{tg}(0) - \operatorname{tg}(49^{\circ})} = -6.9989$$

$$\arctg(-4,647637) = -81^{\circ}52'12''$$

Для сопоставления берутся абсолютные значения.

Величины к определению начального контакта (Таблица 2.4)

$$\gamma_{\text{рад}} = 0^{\circ}; \gamma_{\text{ос}} = 8^{\circ}; \varphi = 45^{\circ}$$

Таблица 2.4 - Результаты расчетов полученные данные.

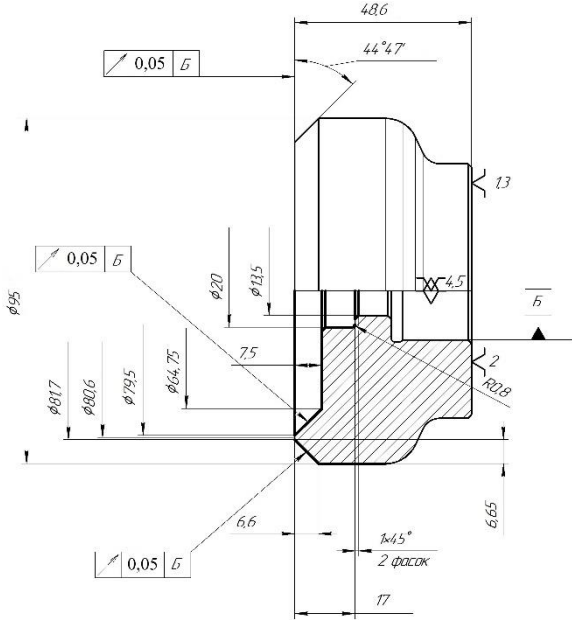
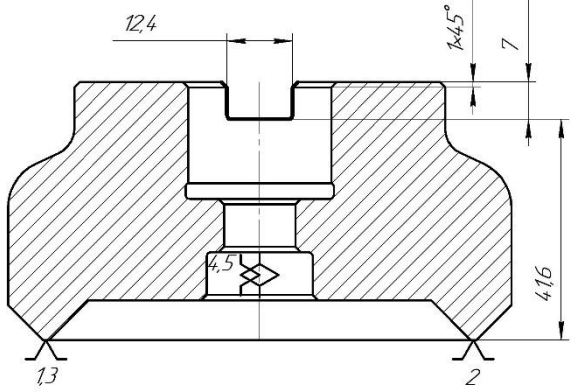
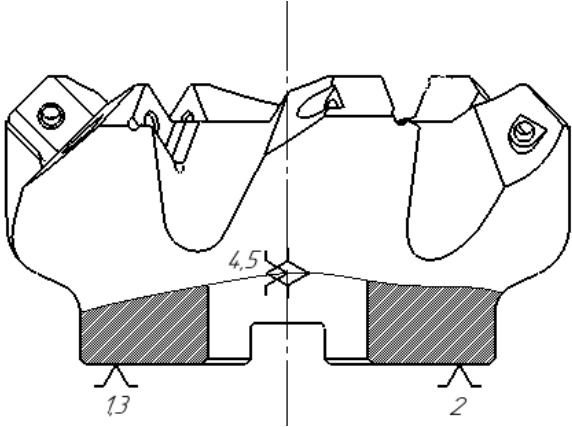
и в мм	$\varepsilon$	$i$	Условие определяющие место начального контакта	Начальный контакт
10	14,5°	-88°9'36''	$\gamma_{\text{рад}} < \varepsilon; 90^{\circ} - \varphi <  i $	U
20	30°	-85°54'	$\gamma_{\text{рад}} < \varepsilon; 90^{\circ} - \varphi <  i $	U
30	49°	-81°52'12''	$\gamma_{\text{рад}} < \varepsilon; 90^{\circ} - \varphi <  i $	U

## 2.6 Маршрут изготовление детали

№ Опер	Наименование операции	Эскиз обработки	станок	Приспособление
0	Отрезная. 1. Отрезать заготовку, Выдерживая размер 55 мм		8А66	Тиски, упор Пила В=6 Ø510мм ГОСТ 4047-82 ШЦ-II-250- 0.05 ГОСТ 166-89





<p>2</p> <p>Токарная с ЧПУ.</p> <p>1. Подрезать торец, выдерживая размер 48,6 мм</p> <p>2. Расточить отверстие до диаметра 20 мм на глубину 21.5мм</p> <p>3. Точить 2 фаски, выдерживая размер 1×45° мм</p> <p>4. Проточить наружный контур по программе.</p>		<p>Патрон 3-кулачковый Ø250 мм. ШЦ- II-250-0,05 ГОСТ 166-89</p> <p>Okuma</p>
<p>3</p> <p>Фрезерная с ЧПУ</p> <p>1. Фрезеровать шпоночный паз шириной 12,4 мм на глубину 7 мм. Фрезеровать фаску 1×45°.</p>		<p>Патрон 3-кулачковый Ø160 мм. Фреза концевая Ø 12мм. ШГ-160 ГОСТ 162-80. Калибр на глубину паза 2643. Калибр на смещение паза 5308.</p> <p>HERMLE</p>
<p>4</p> <p>Фрезерная с ЧПУ.</p> <p>1. Фрезеровать стружечные канавы и гнезда по программе.</p> <p>2. Сверлить шесть отверстий диаметром 3,3 мм на проход.</p> <p>3. Нарезать резьбу М4 в шести отверстиях.</p>		<p>Оправка 6222-0132 ГОСТ 26538-85 Фреза концевая Ø16, 10, 4 мм ГОСТ 17025-71 Сверло спиральное Ø3,3 мм ГОСТ 10902,77, метчик М4 ГОСТ 3266-81 Эталонная пластина 120408 Калибр резьбовой ГОСТ 17758-72 Комплект щупов ГОСТ 882-75</p>

5	Слесарная. Снять заусенцы, острые кромки притупить.	Верстак	Напильник ГОСТ 1465-60
6	Обезжиривание. Проверить качество поверхности корпусов- визуально.		
7	Азотирование. На глубину $0,3 \pm 0,1$ мм Твердость не менее 49 HRC		
8	Хим.Окс.пкм (защитное) Толщина 1-6 мм		
8	Сборка. 1. Протереть режущие пластины 2. Смазать винт, уложить пластину в гнездо корпуса, прикрутить пластину к корпусу.		Салфетки х/б ГОСТ 11680-76 Отвертка TORX 15. Смазка ВНИИНП-232 ГОСТ 14068-79
9	Контроль. 1. Допуск радиального биение вершин кромок – 0,05 мм. 2. Допуск торцевого биения вершин режущих кромок - 0,05 мм. 3. Зазоры между опорными поверхностями пластин и корпусом под режущими кромками не допускается. 4. Контролировать диаметр по вершинам зубьев.		Плита 1-0- 250x250 ГОСТ 10905-86 Индикатор ИЧ10Б кл. 1 ГОСТ 577-68 Щуп №1 кл.2 ГОСТ 882-75 ШГ-160 ГОСТ 152-80

## Вывод

В результате проведения геометрических расчетов торцевой фрезы были получены оптимальные значения угла  $\lambda$  наклона главной режущей кромки торцевого зуба с осевым углом, равным  $8^\circ$ , находится в диапазоне от  $5,67^\circ$  до  $6,66^\circ$ , а зуба с осевым углом, равным  $-8^\circ$ , находится в диапазоне от  $-5,67^\circ$  до  $-6,66^\circ$ . А также было определено  $\Delta\lambda_{\max}$  и  $\gamma_{\text{н}}^{\text{общ}}$ . Также в ходе работы над разделом был рассчитан угол контакта фрезы с заготовкой который составил  $\psi^2=60^\circ$  и является наиболее благоприятным для начала работы.

### 3 Исследование напряженно-деформированного состояния фрезы

#### 3.1 Постановка задачи

С целью контроля напряженного состояния сконструированного инструмента и исключения возможности возникновения недопустимых деформаций выполнен сравнительный прочностной анализ фрез с переменными и постоянными углами наклона зубьев.

Созданная на основе геометрического расчета трехмерная модель торцевой фрезы с переменными углами наклона зубьев, импортировалась в систему инженерного анализа ANSYS посредством формата STEP. Особенности геометрической структуры фрезы, обусловленные наличием циклической симметрии, позволяют упростить 3D модель при проведении прочностных расчетов с целью экономии машинных ресурсов. Таким образом, расчетный домен представлял собой  $120^\circ$  сегмент фрезы (рис. 3.1), включающий пару зубьев с осевыми углами  $+8^\circ$  и  $-8^\circ$ .

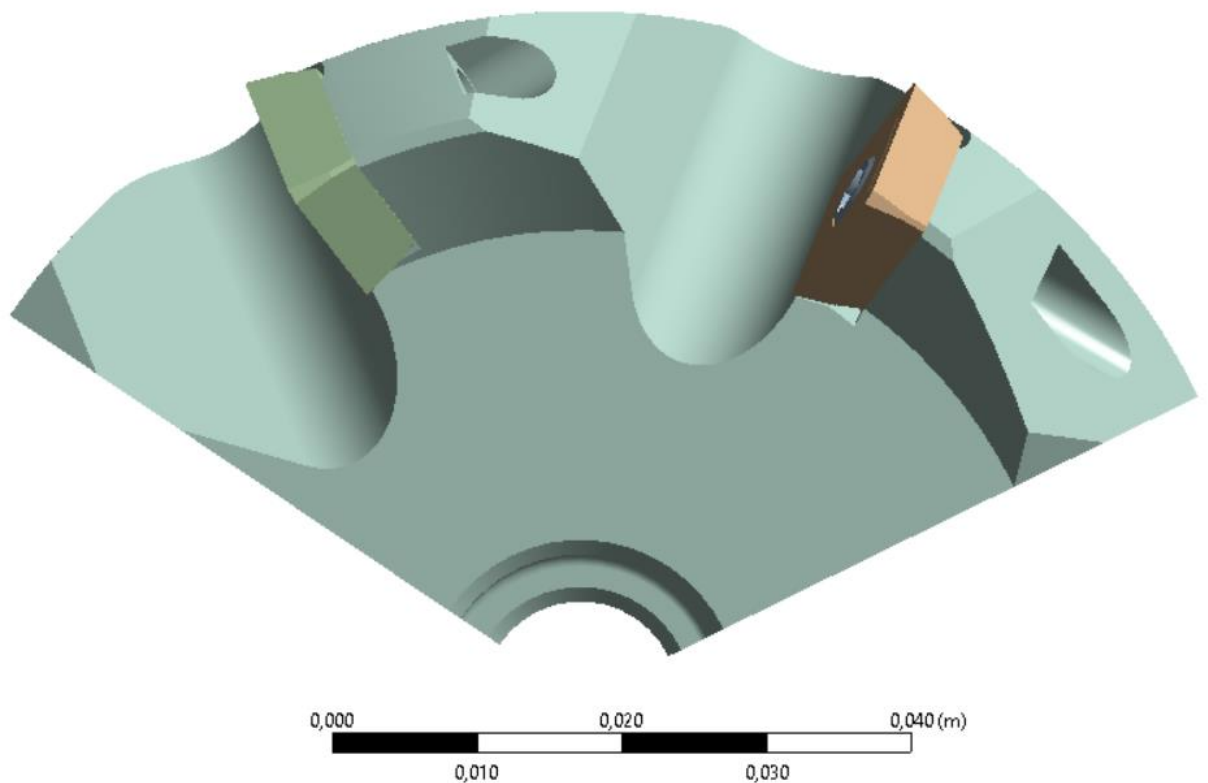


Рисунок 3.1 - Расчетный домен

Анализ напряженно-деформированного состояния сводился к решению краевой задачи методом конечных элементов. Расчет проводился с использованием модуля Static Structural комплекса ANSYS.

### 3.2 Модели материалов

Для изготовления корпуса фрезы выбрана сталь 40Х (табл. 3.1 и 3.2), твердосплавные пластины изготовлены из сплава ВК8 (табл. 3.3 и 3.4), винты их крепления - из углеродистой конструкционной стали (рис. 3.4).

Таблица 3.1 - Химический состав Стали 40Х ГОСТ 4543-2016

Элемент	Содержание, %
C	0,36-0,44
Si	0,17-0,37
Mn	0,5-0,8
S	≤0,035
P	≤0,035
Cr	0,8-1,1
Ni	≤0,30
Cu	≤0,3
Fe	~97%

Таблица 3.2 - Механические свойства Стали 40Х

Параметр	Значение
Модуль упругости E, МПа	$2,07 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона( $\mu$ )	0,276
Предел прочности при сжатии, МПа	785
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7860

Модель материала сталь 40X добавлена в базу данных Engineering Data комплекса ANSYS (рис. 3.2).

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus a...			
8	Young's Modulus	2,07E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,276			
10	Bulk Modulus	1,5402E+11	Pa		
11	Shear Modulus	8,1113E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	7,85E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	7,85E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	9,8E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Рисунок 3.2 – Настройка материала сталь 40X

Таблица 3.3 - Химический состав ВК8

Марка сплава	Химический состав		
	WC%	TiC%	Co%
ВК8	92	-	8

Таблица 3.4 - Физико-механические свойства сплава ВК8

Параметр	Значение
Модуль упругости E, МПа	$6 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона( $\mu$ )	0,2
Твердость HRA	87,5
Предел прочности при изгибе, МПа	1400
Предел прочности при сжатии, МПа	4700
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	14400

Модель материала, учитывающая основные прочностные и упругие свойства сплава ВК8 добавлена в базу данных Engineering Data комплекса ANSYS (рис. 3.3).

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	14400	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's Modulus...			
6	Young's Modulus	6E+11	Pa		
7	Poisson's Ratio	0.2			
8	Bulk Modulus	3.3333E+11	Pa		
9	Shear Modulus	2.5E+11	Pa		
10	Tensile Yield Strength	1.4E+09	Pa		
11	Compressive Yield Strength	4.7E+09	Pa		

Рисунок 3.3 – Скриншот окна базы данных Engineering Data ANSYS со свойствами материала ВК8

Properties of Outline Row 5: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Po...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
29	Specific Heat, C <sub>p</sub>	434	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>		
30	Isotropic Relative Permeability	10000			
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m		

Рисунок 3.4 – Скриншот окна базы данных Engineering Data ANSYS со свойствами материала винтов «Structural Steel»

### 3.3 Граничные условия

Математическая модель создана с учетом симметрии фрезы. На границах 120° сегмента заданы условия циклической симметрии (рис. 3.5).

Cyclic Region  
26.05.2022 20:46

■ Cyclic Region [Low]  
■ Cyclic Region [High]

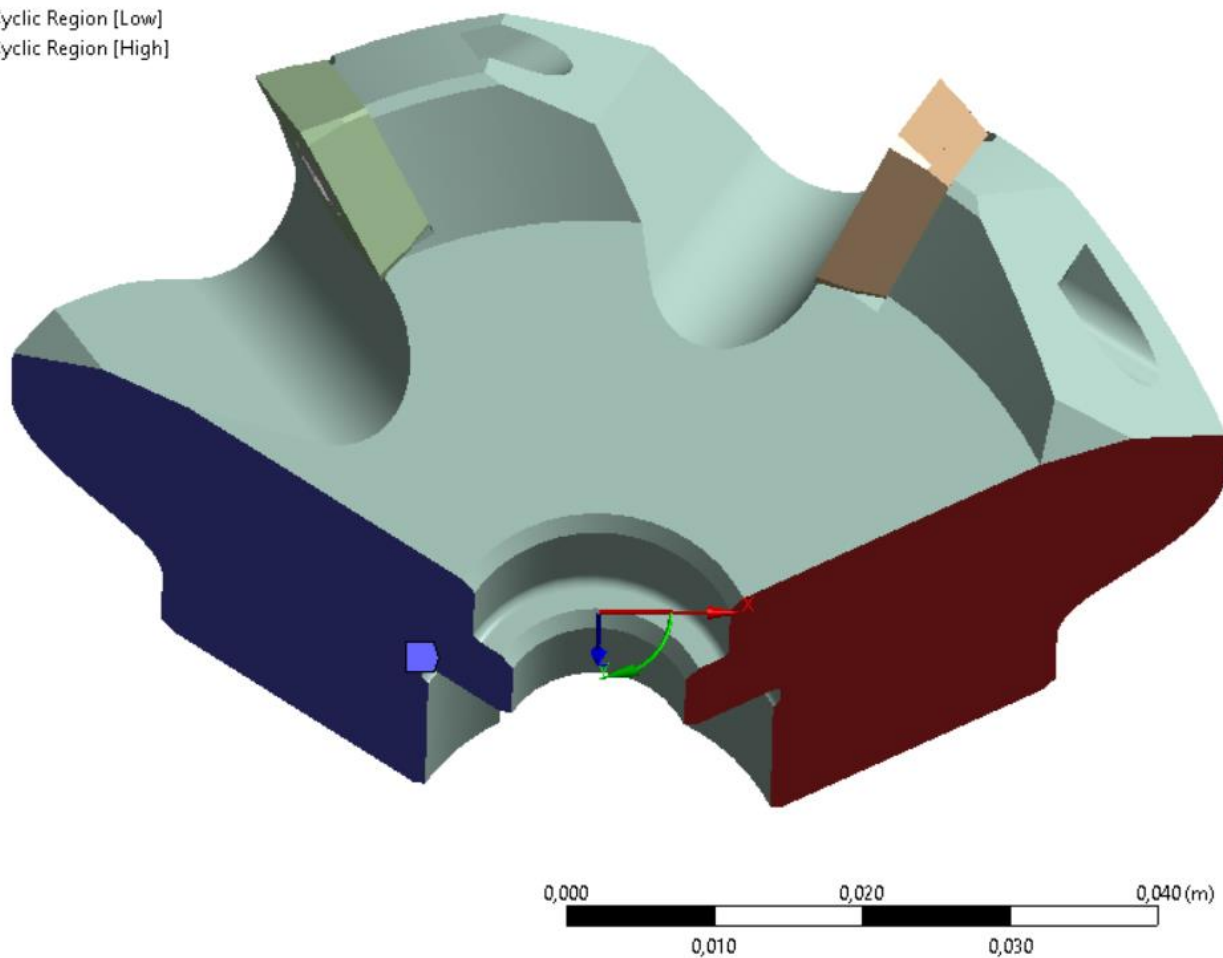


Рисунок 3.5 - Условия симметрии

Поскольку геометрическая модель представляет собой сборку, задавались условия контактного взаимодействия ее элементов. Изображения контактных пар приведены на рис. 3.6-3.8.

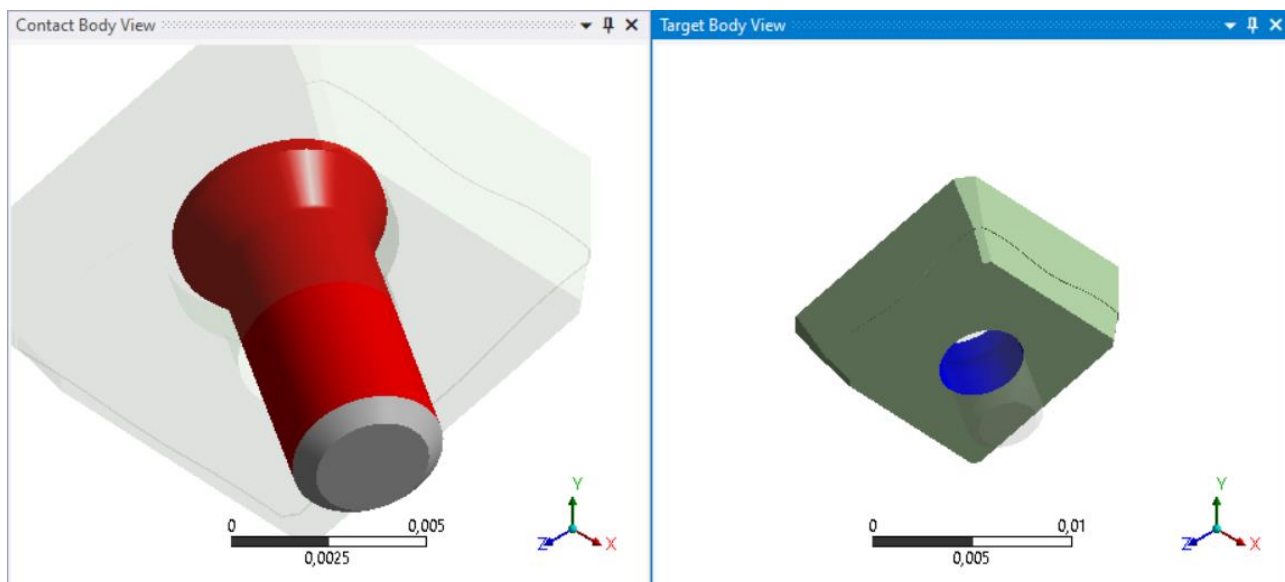


Рисунок 3.6 - Контакт поверхности винта и отверстия пластины

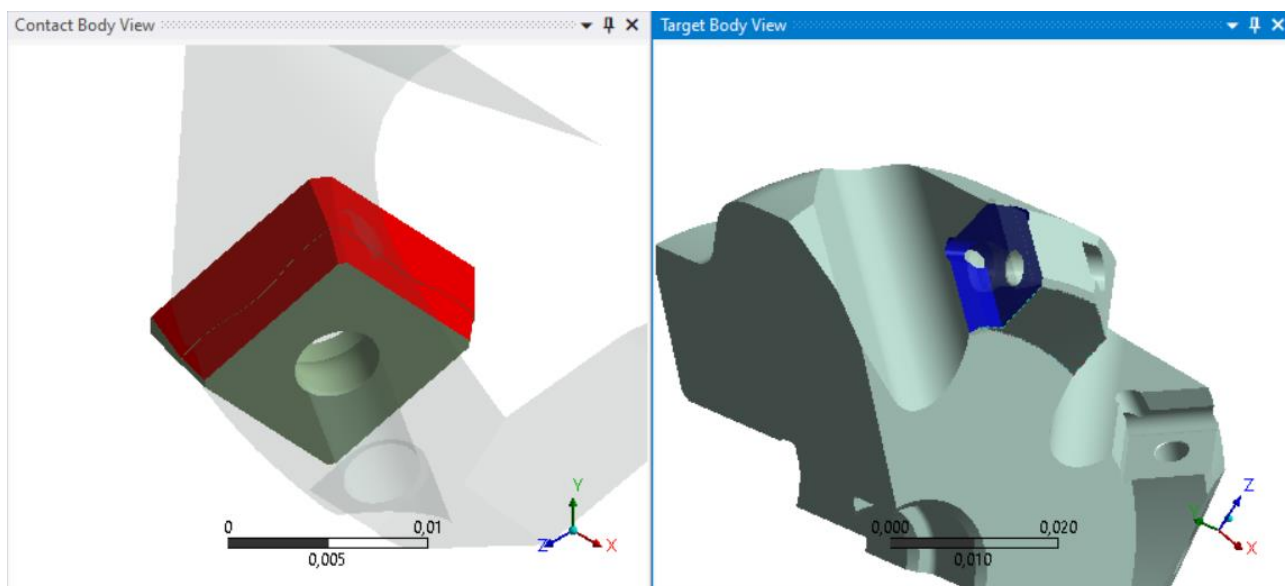


Рисунок 3.7 - Контакт поверхности пластины и гнезда корпуса



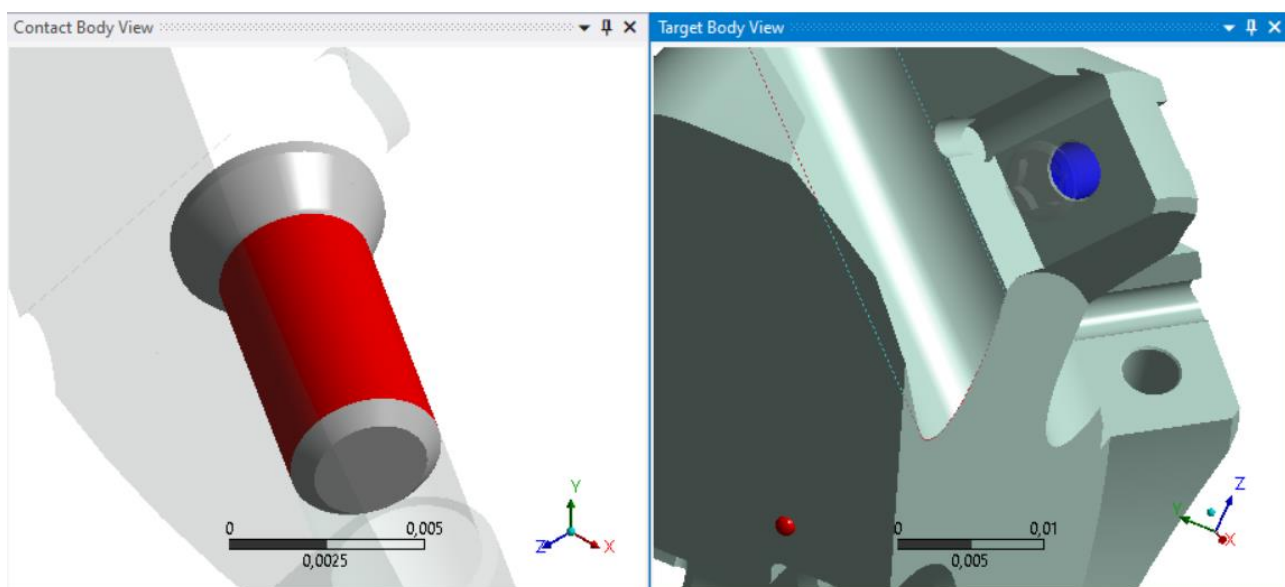


Рисунок 3.8 - Контакт поверхности винта и отверстия корпуса

Во всех случаях использовались модели контактов типа «Bonded».

### 3.4 Расчет силы резания

При типовых режимах эксплуатации торцевой фрезы, даже в условиях обработки титановых сплавов и жаропрочных сталей, сила резания, приходящаяся на зуб фрезы, не превышает 500 Н [9]. Прочностной анализ выполнялся для предельного значения силы  $P$ , которая распределялась по поверхности твердосплавных пластин вдоль режущей кромки (рис. 3.9).

**B: 2angle**  
Static Structural  
Time: 1, s  
31.05.2022 22:43

**C** Remote Displacement  
**D** Pressure: 2: 3,65e+007 Pa  
**E** Pressure: 3,65e+007 Pa

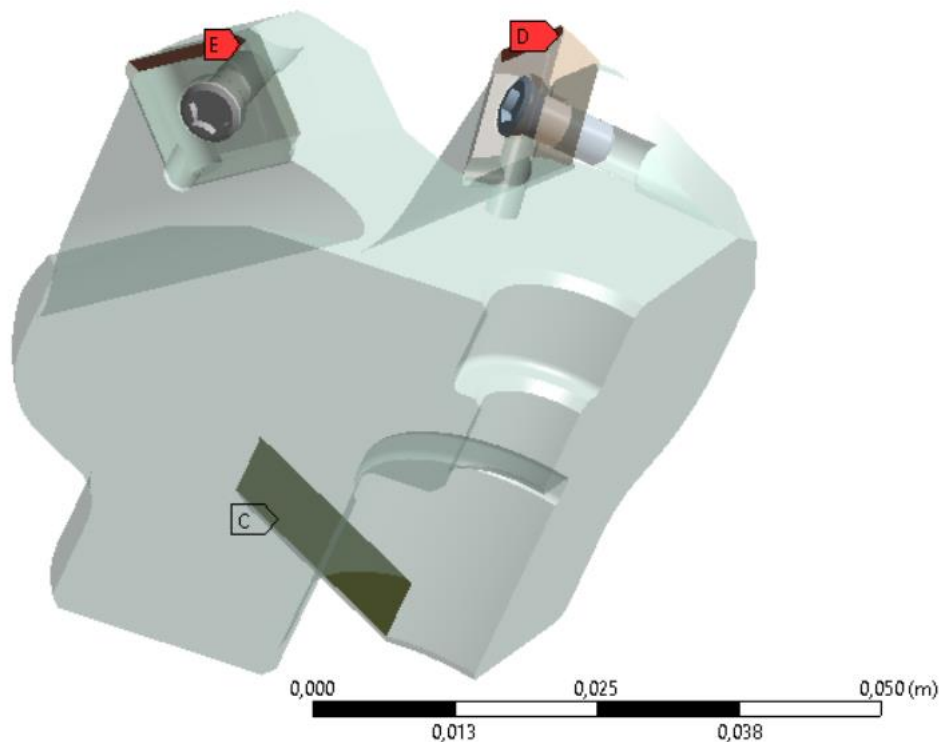


Рисунок 3.9 - Приложение внешних нагрузок и закреплений

Закрепление осуществлялось по поверхности паза на заднем торце фрезы и описывалось моделью «Remote Displacement».

Для проведения конечно-элементного анализа в расчетной области построена тетраэдрическая неструктурированная сетка (рис. 3.10).

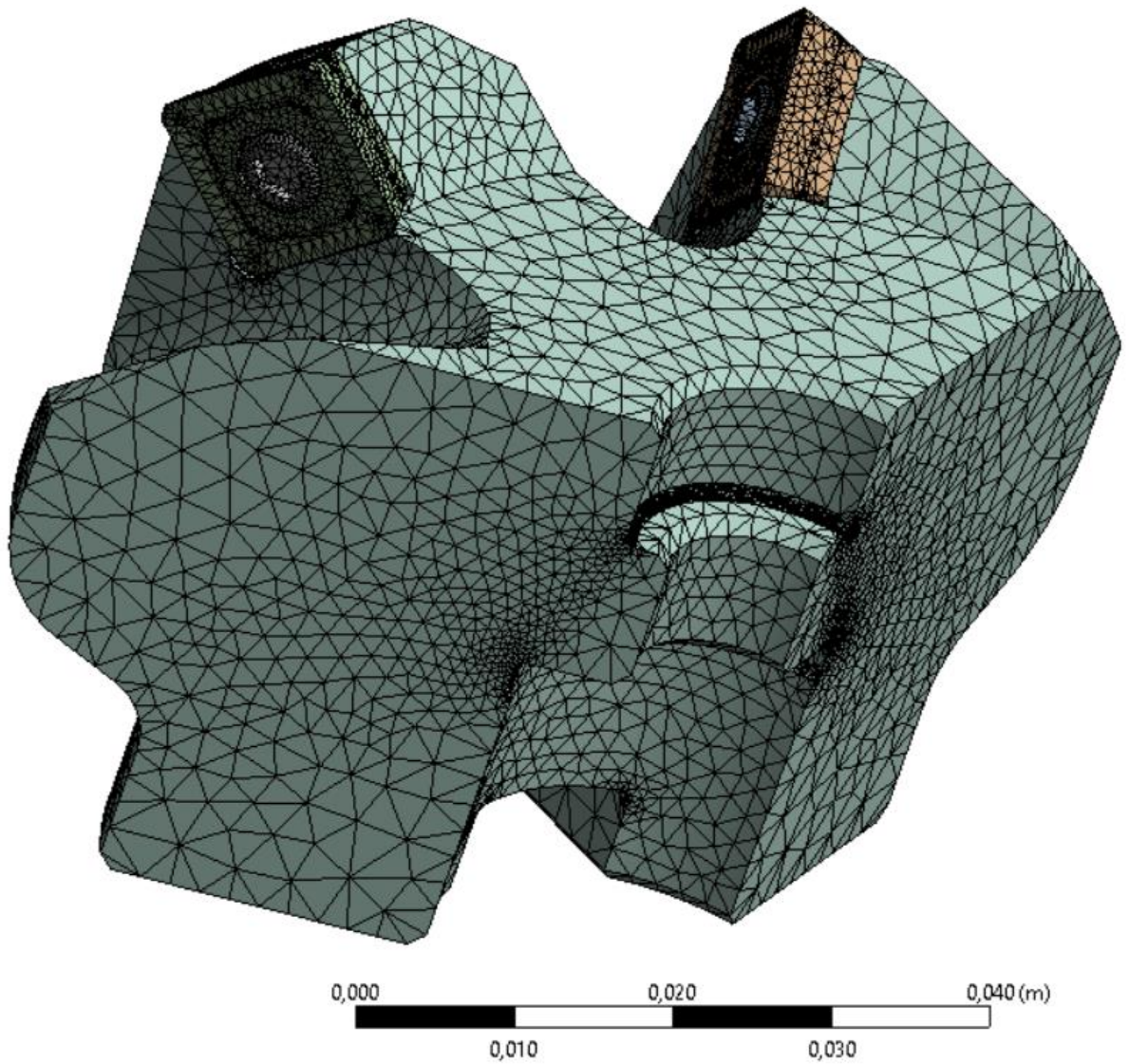


Рисунок 3.10 - Расчетная сетка

Размерность сетки составляет  $N = 71000$  элементов.

### 3.5 Результаты расчета

Задача решалась в статической постановке. Диаграммы распределения перемещений и эквивалентных напряжений представлены на рис. 3.11 и 3.12 соответственно.

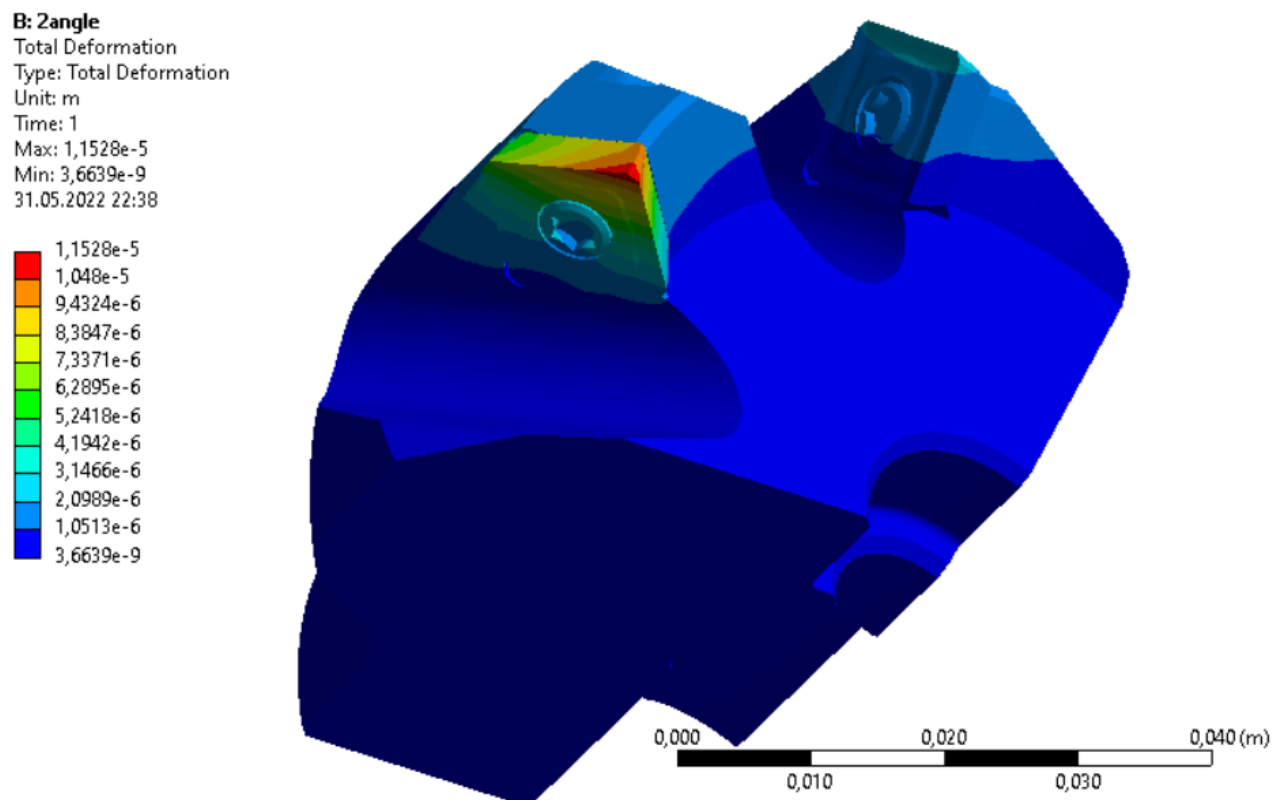


Рисунок 3.11 - Диаграмма перемещений

Наибольшие значения перемещений, вызванных упругой деформацией элементов фрезы, наблюдаются на режущей кромке твердосплавной пластины, установленной с углом  $+8^\circ$ .

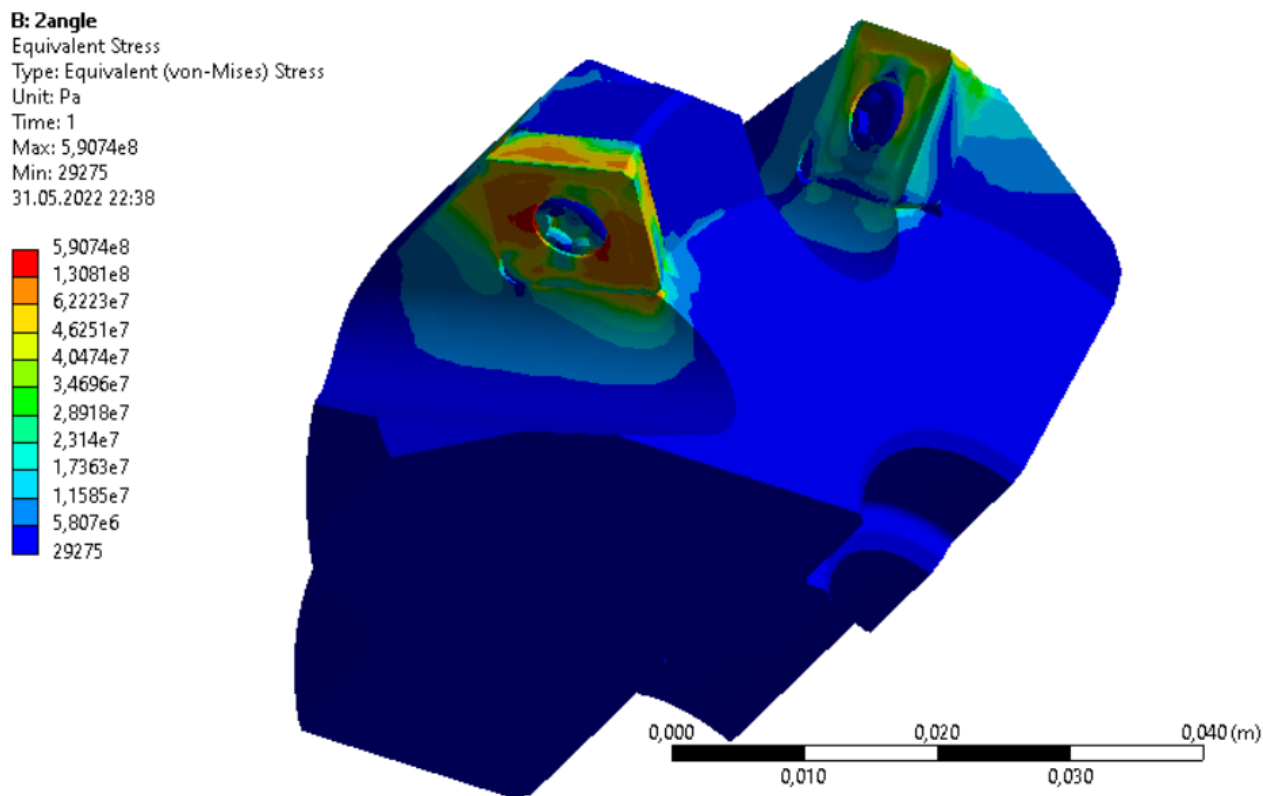


Рисунок 3.12 - Диаграмма эквивалентных напряжений

На рис. 3.12 приведена диаграмма распределения эквивалентных напряжений фон Мизеса, определяемых по формуле

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}},$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - главные напряжения.

Эквивалентные напряжения фон Мизеса используются для приведения сложного напряженного состояния к равносному простому согласно четвертой теории прочности [16].

Из приведенных диаграмм следует, что твердосплавные пластины, установленные с положительным значением осевого угла ( $+8^\circ$ ) испытывают действие значительно больших по величине напряжений, которые рассеиваются массивным корпусом. Наименьшим запасом прочности обладает стержень винта М4 (рис. 3.13).

**B: 2angle**  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
Time: 1  
Max: 15  
Min: 1,1605  
31.05.2022 22:41

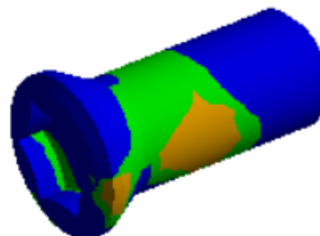
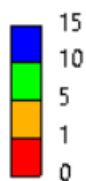


Рисунок 3.13 - Коэффициент запаса прочности винта

Наибольшие значения напряжений не превышают пределов временного сопротивления разрушению и текучести, таким образом прочность элементов конструкции обеспечена.

## Выводы

Разработана конструкция торцевой фрезы с улучшенными вибрационными характеристиками за счет организации периодически изменяющихся в осевом направлении углов наклона зубьев. Выполнен геометрический расчет фрезы из условия согласованности поверхностей резания зубьев. Построена 3D модель и выполнены рабочие чертежи изделий. Проведена технологическая подготовка производства.

Пластины, установленные под углом  $-8^\circ$ , благодаря своему расположению, нагружены значительно меньше пластин с осевым углом  $+8^\circ$ . Таким образом, периодическое чередование осевых углов наклона твердосплавных пластин обеспечивает снижение уровня вибрационных нагрузок за счет изменения условий стружкообразования и не приводит к снижению прочностных характеристик инструмента.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4АМ01		Колесников Иван Сергеевич	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение Материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Бюджет проекта – не более 2000000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 600000 руб.	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов		Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 0,5 баллов из 1.	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования		Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НК РФ)	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ		Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации	
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок		Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.	
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности		Определение финансового и научно-технического эффекта	
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):			
1. «Портрет» потребителя результатов НТИ			
2. Сегментирование рынка			
3. Оценка конкурентоспособности технических решений			
4. Матрица SWOT			
5. График проведения и бюджет НТИ			
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ			
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>			02.03.2022

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д.э.н.		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Колесников И.С.		



## **Введение**

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Цель работы – Разработка торцевой фрезы для обработки титановых сплавов и сложно обрабатываемых сталей. В качестве исследуемого метода, выступает метод изменения геометрических особенностей фрезы. Для повышения эффективности данного метода необходима разработать торцевую фрезу с разнонаправленными зубьями, позволяющие изменить параметры торцевой фрезы с помощью изменения осевого угла, чтобы эффективно ослабить вибрации в системе ДИПС (Деталь-Инструмент-Приспособление-Станок)

### **4.1 Анализ конкурентных технических решений**

В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного инструмента:

Вариант 1 – Торцевая фреза для обработки титанового сплава;

Вариант 2 – Торцевая фреза (Sandvik Coromant);

Вариант 3 – фреза концевая для обработки титанового сплава (ПК МИОН);

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 4.1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 4.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,11	5	3	2	0,55	0,33	0,22
Удобство в эксплуатации	0,06	4	2	1	0,24	0,12	0,06
Стабильность срабатывания	0,09	5	4	2	0,54	0,36	0,18
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
Компактность	0,16	5	3	2	0,8	0,48	0,32
Безопасность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
Затраты на ремонт	0,04	3	4	3	0,12	0,16	0,12
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>46</b>	<b>35</b>	<b>24</b>	<b>4,85</b>	<b>3,44</b>	<b>2,35</b>

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

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

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

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

## 4.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.2.1 – SWOT-анализ

	<b>Strengths (сильные стороны)</b>	<b>Weaknesses (слабые стороны)</b>
	<p>S1. Техническая простота конструкции;</p> <p>S2. Возможность уменьшения вибрации в системе ТС (технологическая система);</p> <p>S3. Возможность регулирования геометрических параметров фрезы;</p> <p>S4. Возможность демпфирования колебаний на резонансном режиме;</p> <p>S5. Широкая применимость инструмента;</p> <p>S6. Низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиям;</p> <p>S7. Возможность внедрения устройства в производство.</p>	<p>W1. Возможные недочеты в расчетной части</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p>
<b>Opportunities (возможности)</b>	<p>В результате развития технологий в данной области и улучшения обработки повышается качество выпускаемой продукции.</p>	<p>Создание лабораторий, оснащенных современным оборудованием, позволит избежать ошибок при проектировке. А также повысится производительность.</p>
<p>O1. Отсутствие большой конкуренции.</p> <p>O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ.</p> <p>O3. Развитие технологии в данной области</p>		
<b>Threats (угрозы)</b>	<p>Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями инструмента.</p>	<p>Недочеты в конструкции изделий и низкая производительность труда приведет к снижению спроса на данную продукцию.</p>
<p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта.</p>		

Т3. Узкоспециализированное направление.		
---	--	--

Таблица 4.2.2 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	-	+	+	-	+
O2	-	-	-	-	+	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 4.2.3 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W3	W4
O1	-	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	-	-	+

Таблица 4.2.4 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	+	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	-	+	+	+	-	-	+

Таблица 4.2.5 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W3	W4
T1	+	-	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

В результате проведенных оценки конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным, выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства по сравнению с вариантами №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность уменьшения вибрации в системе ТС

(технологическая система). Среди слабых сторон - недочеты в конструкции изделий и низкая производительность труда.

### 4.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

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

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

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
	6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Инженер

Контроль и координирование проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

#### 4.4 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

#### 4.5 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где  $k_{кап}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ож i} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел. -дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{\Psi} = \frac{3,8}{1} = 3,8 \text{ раб. дн.},$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,56 = 5,93 \approx 6 \text{ кал. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,28 = 5,93 \text{ кал. дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 4.5.1.

Таблица 4.5.1 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{ож\ i}$ , чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	9	-
Выбор направления исследований	5	3	7	5	5,8	4,2	2,9	2,1	4	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4



Календарное планирование работ по проекту	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	12	-	14	-	12,8	-	12,8	-	20
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
Оценка эффективности полученных результатов	4	1	6	5	4,8	2,6	2,4	1,3	4	2
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Разработка принципиальной схемы	5	3	7	5	5,8	3,8	5,8	3,8	8	6
Технико-экономические расчеты	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	11

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

Таблица 4.5.2. Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	9	■													
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7		■	▨											
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			▨											
4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель	8			■											
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	20				▨										
6	Разработка стенда в	Инженер	8						▨								



Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени магистранта
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 4.6.2

Таблица 4.6.2 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Разработка инструмента
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Готовое изделие и его стабильная работа
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Исполнение устройством поставленных задач
<b>Требования к результату проекта:</b>	Повышение эффективности виброзащиты технологической системы, по сравнению с аналогами

#### 4.7 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 4.7.1

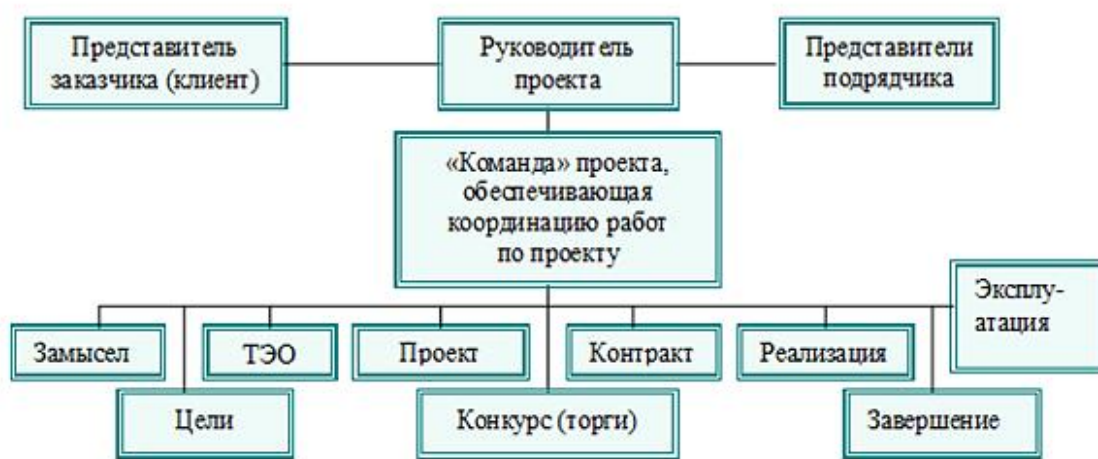


Рисунок 4.7.1 – Проектная структура проекта

#### План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.7.1).

Таблица 4.7.1 – План управления коммуникациями

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

### Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.7.2.

Таблица 4.7.2 – Реестр рисков

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

### 4.8 Бюджет исследовательской работы

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;

2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

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

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.8.1).

Таблица 4.8.1 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт, кг, Мбит/сек	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	40,0	80,0
Ручка шариковая	3	31,0	93,0
Ластик	2	20	40,0
Печать	150	2	300,0
Бумага	38	8	304,0
Материал сталь 40Х	2	50	100
Интернет	1	350	350
Всего за материалы	1267		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			57,68
<b>Итого по статье</b>			<b>1324,68</b>

**Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.**

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.8.2).

Таблица 4.8.2 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц	Цена единицы	Общая стоимость
---	---------------------------	---------------	--------------	-----------------

п/п		оборудования	оборудования, руб.	оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	30000,0	30000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	ПО Matlab	1	20000	20000
<b>Итого, руб.:</b>				55990

### Основная заработная плата

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{39000 \cdot 11,2}{233} = 1875 \text{ руб.}$$

где  $Z_m$  – должностной оклад работника за месяц;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 17);  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{270} = 1294 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

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

Таблица 4.8.3 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	56/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	233	270

Таблица 4.8.4 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	20000	0,3	0,2	1,3	39000	1875	38	71250
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1294	30	38820
Итого:								101100

#### Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 71250 = 10690 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 38820 = 5823 \text{ руб.}$$

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (71250 + 10690) = 24580 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (38820 + 5823) = 13390 \text{ руб.}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \frac{\text{сумма статей}}{5} \right) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= (1212 + 55990 + 101100 + 16510 + 37970) \cdot 0,2 =$$

$$= 52220 \text{ руб}$$

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

Таблица 4.8.5 – Группировка затрат по статьям

Вид исследования	Статьи						
	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
Данное исследование	1324	55990	101100	16510	37970	52220	<b>265314</b>
Аналог	1550	59079	102400	24345	38872	53754	<b>280000</b>

## 4.9 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

### Оценка абсолютной эффективности исследования



В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

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

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

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

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

где: ЧДП<sub>опt</sub> – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0$  – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

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

$n$  – горизонт расчета;

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

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

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.9.1. При расчете рентабельность проекта составляла **25 %**, норма амортизации - 10 %.

Таблица 4.9.1 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование	Шаг расчета
---	--------------	-------------

	показателей	0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	331 252,5	331 252,5	331 252,5	331 252,5
2	Итого приток, руб.	0	331 252,5	331 252,5	331 252,5	331 252,5
3	Инвестиционные издержки, руб.	-265002	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	92 750,7	92 750,7	92 750,7	92 750,7
5	Налогооблагаемая прибыль	0	238 501,8	238 501,8	238 501,8	238 501,8
6	Налоги 20 %, руб.	0	47 700,36	47 700,36	47 700,36	47 700,36
8	Чистая прибыль, руб.	0	190 801,44	190 801,44	190 801,44	190 801,44
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-265002	217 301,64	217 301,64	217 301,64	217 301,64
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток	-265002	181 012,2	150 807,3	125 600,3	104 739,3
12	<b><math>\Sigma</math> ЧД</b>		<b>562 159,19 руб.</b>			
12	Итого NPV, руб.		<b>297 157,19 руб.</b>			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где:  $i$  – ставка дисконтирования, 20 %;

$t$  – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 297 157,19 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

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

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

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

$I_0$  – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{562\,159,19}{265\,002} = 2,12$$

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

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

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования ( $i$ ) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.9.2 и на рисунке 4.9.1.

Таблица 4.9.2 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-265002	217301,64	217301,64	217301,64	217301,64	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-265002	197527,2	179491,2	163193,5	148417	423626,9
	0,2	-265002	181012,3	150807,3	125600,3	104739,4	297157,3
	0,3	-265002	167105	128642,6	98872,25	76055,57	205673,4
	0,4	-265002	155153,4	110823,8	79097,8	56498,43	136571,4

	0,5	-265002	144940,2	96481,93	64103,98	43025,72	83549,83
	0,6	-265002	135813,5	84747,64	53021,6	33247,15	41827,92
	0,7	-265002	127773,4	72796,05	44112,23	24337,78	4017,43
	0,8	-265002	120819,7	67146,21	37158,58	20643,66	-19233,8
	0,9	-265002	114300,7	60192,55	31726,04	16732,23	-42050,5
	1,0	-265002	108650,8	54325,41	27162,71	13472,7	-61390,4

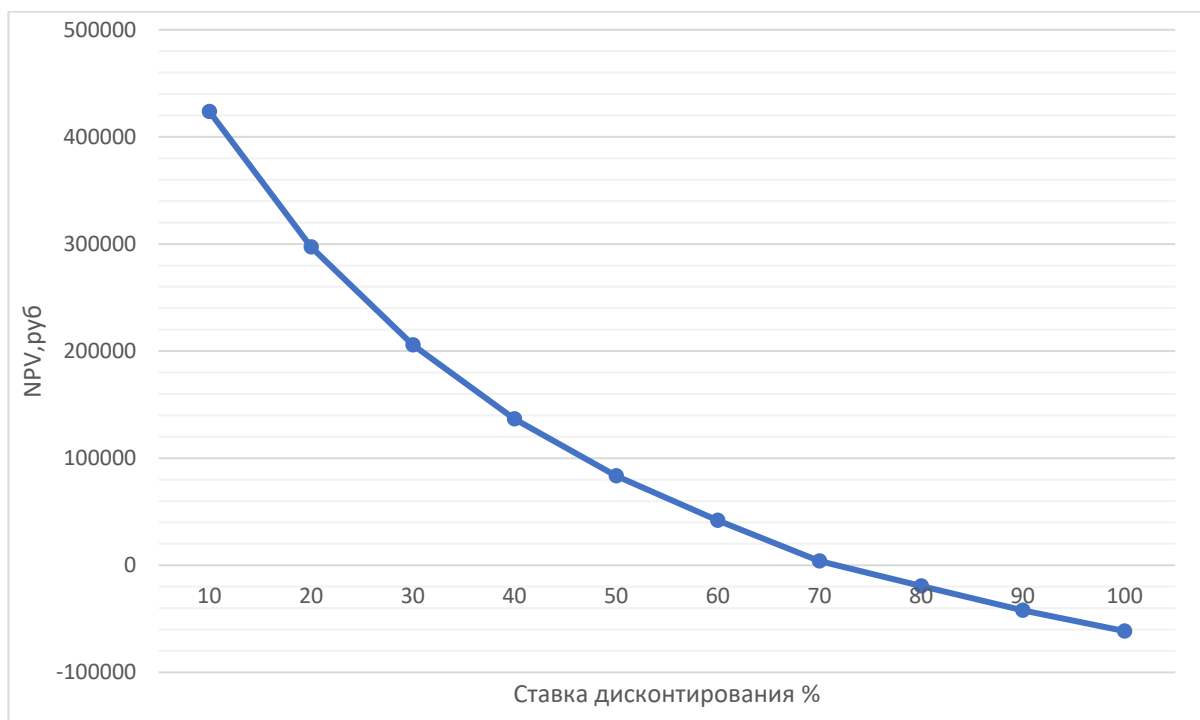


Рисунок 4.9.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

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

Из графика получаем, что IRR составляет 0,72.

$IRR > i$ , проект эффективен.

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

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

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

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.9.3).

Таблица 4.9.3 – Дисконтированный срок окупаемости

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

**Социальная эффективность научного проекта** учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.9.4).

Таблица 4.9.4 – Критерии социальной эффективности

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

#### 4.10 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

- фреза торцевая для обработки титанового сплава;
- фреза концевая для обработки титанового сплава (ПК МИОН);
- Торцевая фреза (Sandvik Coromant);

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{270000}{280000} = 0,96$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное

удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

### Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

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

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 4.10.1.

Таблица 4.10.1 – Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

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

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

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

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,5}{0,95} = 4,7$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 4.10.2). Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,2}{4,7} = 0,89$$

Таблица 4.10.2 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

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

Выводы по главе:

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является



наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 297157,19 руб.; индекс доходности  $PI=2,12$ , внутренняя ставка доходности  $IRR=72\%$ , срок окупаемости  $PP_{дск}=1,13$  года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4АМ01		Колесников Иван Сергеевич	
<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение материаловедение
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

**Разработка торцевой фрезы с переменными углами наклона зуба для снижения вибраций при фрезеровании.**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><b>Объект исследования:</b> торцевая фреза с улучшенными виброхарактеристиками.</p> <p><b>Область применения:</b> Машиностроение, станки.</p> <p><b>Рабочая зона:</b> <u>производственное помещение.</u></p> <p><b>Размеры помещения:</b> 10*16 м.</p> <p><b>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</b> компьютер, фрезерный станок, токарный станок.</p> <p><b>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</b> разработка торцевой фрезы, а также параметров фрезы и расчеты геометрических характеристик фрезы ведутся за компьютером. Изготовление и технический контроль фрезы производится на станках.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».</li> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 27.12.2018).</li> <li>- Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» (с изменениями на 30 декабря 2020 года, редакция, действующая с 1 января 2021 года).</li> <li>- ТК РФ, Статья 100. Режим рабочего времени.</li> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>- Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный общий уровень шума;</li> <li>2. Повышенным уровнем общей вибрации;</li> <li>3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>4. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;</li> <li>5. Содержанием вредных веществ в воздухе.</li> </ol>

	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий;</li> <li>2. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним.</li> <li>3. Подвижные части производственного оборудования.</li> </ol> <p><b>средства коллективной защиты:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оградительные устройства, звукоизолирующие, звукопоглощающие устройства;</li> <li>- оградительные устройства, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие устройства;</li> <li>- выдаются СИЗ: спецодежда, очки, перчатки, респираторы.</li> <li>- установка дополнительного освещения: ламп, светильников и т.д.</li> <li>- установка дополнительного освещения: ламп, светильников и т.д.</li> <li>- использование ионизирующих приборов в помещении.</li> </ul> <p><b>средства индивидуальной защиты:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-противошумные наушники; -противошумные вкладыши;</li> <li>-рукавицы или перчатки с виброгасящими долонями и виброгасящие вкладки – для рук; -специальная обувь с виброгасящей подошвой, виброгасящие наколенники для ног; -виброгасящие нагрудники, пояса, специальные костюмы для тела.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> Возникающие, шум и вибрация при эксплуатации станков.</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> Вибрации оказывают свое влияние на верхний слой почвы.</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> Разлив СОЖ, обусловлено большим водопотреблением и значительным загрязнением стоков.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы из вентиляционных систем, содержащих много пыли, окислов азота, кальция, магния и кремния.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b>          Природные катастрофы (морозы, метель,);          Техногенные, связаны с техническими объектами (пожар, обрушение зданий)</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> Техногенная (пожар, обрушение здания)</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга	К.б.н.		

	Алексеевна			
--	------------	--	--	--

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Колесников Иван Сергеевич		

### **Введение**

Объект исследования: торцевая фреза с улучшенными виброхарактеристиками.

Область применения: Машиностроение, станки.

Рабочая зона: производственное помещение.

Размеры помещения: 10\*16 м.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компьютер, фрезерный станок, токарный станок.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: разработка фрезы, а также параметров фрезы и расчеты геометрических характеристик фрезы ведутся за компьютером. Изготовление и технический контроль фрезы производятся на станках.

В данной работе представлено виброзащитная оснастка – торцевая фреза с улучшенными виброхарактеристиками. Данная виброзащитная оснастка служит для снижения уровня воздействия колебаний на объект виброзащиты. Это позволит обеспечить максимальную неподвижность объекта виброзащиты.

Для повышения эффективности данного метода необходима торцевая фреза с разнонаправленными зубьями, позволяющая эффективно ослабить вибрации в системе ДИПС (Деталь-Инструмент-Приспособление-Станок).

Рабочее место при исследовании определяется наличием таких основных элементов, как: компьютерный стол, кресло, стационарный ПК, элементы управления (компьютерная мышь), а при изготовлении оборудованное помещение, обрабатывающие станки (токарный, фрезерный), а также компрессоры.

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

### **Правовые нормы трудового**

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

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

Так как исследование виброзащитного устройства выполнялось с целью выполнения ВКР, оплата труда не производилась.

В соответствии со статьей «Статья 14 № 426-ФЗ» условия труда при исследовании виброзащитной остнаски по классификации класса условий труда - оптимальные. Воздействие неблагоприятных факторов отсутствует и влияния на организм не происходит.

## **Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

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

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

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

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

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

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

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

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

Таким образом полученные результаты можно считать подходящими для проведения работ оператором в рассматриваемой аудитории с целью исследования виброзащитной оснастки – торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками.

На работе с производственным оборудованием происходит работа стоя. Основная доля работ будет производиться без наклона оператора, за пультом управления станка. Категория работ разнообразная, поэтому высота рабочей поверхности должна быть 920 мм как для тяжелой работы. Также у всех станков должны стоять помосты из дерева шириной 0,6 м. Для обслуживания станков необходим доступ к ним со всех сторон. ГОСТ 12.2.033-78

Должна быть оборудована вентиляция для проветривания помещения и вывода паров СОЖ и мелкой стружки, взвешенной в воздухе.

## 5.2 Производственная безопасность.

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

Таблица 5.2.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	- СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)»
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;	- Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88;
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	- Требования к освещению СП 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95*;
Содержанием вредных веществ в воздухе	- ГОСТ 22269-76. Система «человек машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. - ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества» Классификация и общие требования безопасности.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.	



Подвижные части производственного оборудования	ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное» Общие требования безопасности
--	--

### **6.3 Анализ вредных и опасных факторов**

#### **Повышенный уровень шума**

В процессе проведения исследования, возникает повышенный уровень шума в результате работа приводов станка и вибраций, возникающих при резании.

Допустимый уровень шума ограничен СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)». Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 60 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства Коллективной Защиты:

устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко-и виброизоляции, звуко-и вибропоглощения;

применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства Индивидуальной Защиты: применение защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

### **Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего**

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

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

### **Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Источником фактора является устройство для проектирования – ПК.

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

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;

- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами

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

### **Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Согласно СП 52.13330.2016 освещенность в помещении должна быть не менее 300 Лк. Размеры рабочего цеха составляют 30х40х3,5м. Также на станках предусмотрены лампы освещения. Помещение с малым запылением, коэффициент запаса 1,5.

Для помещения выбрана система общего освещения с люминесцентными светильниками ОД. В светильнике установлено 2 лампы мощностью каждая. Габаритные размеры светильника составляют 933х204х156мм.

При размещении светильников учитывались следующие параметры. Высота помещения(Н), которая составляет 3,5м. Расстояние светильников от перекрытия(свес), hc, принимается 0,2м:

$$h_{п} = H - h_{с} = 3,5\text{м} - 0,2 = 3,3\text{м}.$$

Высота рабочей поверхности над полом,  $h_{рп}$ , принимается 1000 мм.  
Расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{рп} = 3,3\text{м} - 1\text{м} = 2,3\text{м}.$$

$L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине ( $A$ ) и ширине ( $B$ ) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$ ).  $l$  – расстояние от крайних светильников или рядов до стены составляет  $L/3$ . Расстояние между светильниками определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h;$$

Где  $\lambda$  – интегральный критерий расположения светильников, который равен 1,4 для светильников типа ОД. То есть:

$$L = 1,4 \cdot 2,3\text{м} = 3,2\text{ м};$$

Количество рядов:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - \frac{2}{3}L)}{L} + 1 = \frac{(10 - \frac{2}{3} \cdot 3,2)}{3,2} = 3,5 \approx 3$$

Количество светильников:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} + 1 = \frac{(16 - \frac{2}{3} \cdot 3,2)}{0,933 + 0,5} + 1 = 10,447 \approx 10$$

Общее количество светильников:

$$n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 3 \cdot 10 = 30$$

Светильники размещают в 3 ряда. В каждом ряду следует установить 11 светильников типа ОД мощность 30Вт и длиной 933 мм. Расстояние между светильниками 500мм. На Рисунок. 1 изображен план помещения с размещением светильников. Так как в светильнике 2 лампы, то общее число ламп составляет 60.

Индекс помещения:

$$i = S / (h (A + B)) = 160 / (2,3(16 + 10)) = 2,7$$

Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,61;$$

Потребный световой поток:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_S \cdot Z}{N_l \cdot n} = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{60 \cdot 0.61} = 2164$$

Выбираем лампу ЛД 40 Вт 2300 лм.

Проверка выполнения условия освещенности:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расчет}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \leq 20\%$$

$$-10\% \leq \frac{2300 - 2164}{2300} \leq 20\%$$

$$-10\% \leq 0,059\% \leq 20\%$$

Общая мощность освещения:

$$P = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ Вт}$$

По расчетам предлагается следующий план освещения:

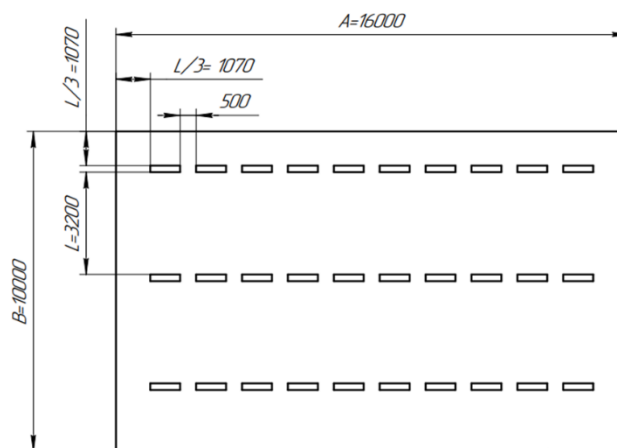


Рис. 6.3.1 – Схема расположения ламп

### Содержанием вредных веществ в воздухе

В процессе работы на станках ведется подача смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), которая относится к третьему классу опасности, предельный уровень концентрации этой жидкости не должен превышать 0,5 мкг/кг по ГОСТ 17.4.1.02-83. В составе современных СОЖ содержатся различные ингибиторы коррозии, присадки, эмульгаторы, индустриальные и минеральные масла, бактерицидные препараты. Безусловно, такое разнообразие химических

веществ, входящих в состав СОЖ, определяет необходимость постоянного контроля их содержания и условий применения.

Вентиляция помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, до концентрации, не превышающей ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>. ГОСТ Р 55175-2012

Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более одного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки, очки, спец. одежда, респираторы. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ

### **Подвижные части производственного оборудования**

При работе на станках возникает угроза получения оператором травмы при обдужке рабочей зоны станка при снятии и закреплении заготовки, и при смене инструмента.

В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки, очки, спец. одежда. А также проводят инструктаж. ГОСТ 12.2.003-91

**неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов**

При проведении экспериментов есть угроза получить порезы от острых кромок, заусенцев, шероховатости деталей и заготовок. В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки и спец. одежда, инструктаж по ТБ. ГОСТ 12.0.003-2015

#### **5.4 Экологическая безопасность.**

При проведении экспериментов с прототипом торцевой фрезы происходит загрязнение гидросферы, атмосферы и литосферы.

Загрязнение атмосферы происходит в результате выбросов в воздух пыли, мелкой крошки металла, и СОЖ. Выбросы отходов производства в воздух регулируются следующими нормативными документом:

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» Предельно допустимая концентрация «аэрозолей конденсации» в воздухе рабочей зоны не должна превышать 0,05 мг/м<sup>3</sup>,

Методы борьбы с данным видом загрязнения, следующие:

Использование тканевых фильтров

Использование электрических фильтров.

Использование циклонов.

Использование абсорбера и адсорбера.

Загрязнение гидросферы происходит путем выброса отработанной СОЖ и масла. Нормирование происходит следующими нормативными документами:

ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

Методы предотвращения выбросов отходов в гидросферу следующие:

Механический метод(фильтрация)

Термический метод(выпаривание/дистилляция)

Отделение воды от СОЖ в центрифуге

Загрязнение литосферы происходит за счет выброса отходов механической обработки деталей, а именно стружки. Нормы выбросов регулируются ПНООЛР. Масса стружки не превышает 0,05 мг, что входит в допустимый диапазон.

Загрязнение литосферы сокращается путем сортировки отходов производства, использования безотходного производства и переработки отходов, которые не подлежат рециркуляции.

### **5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В любом рабочем цеху есть склад ГСМ, следовательно, есть опасность возникновения пожара. В данном случае класс помещения В1-В4 (пожароопасность), а класс пожара в данной помещении соответствует В (Горение жидких веществ)

В следующих документах приведены основные положения по безопасности при ЧС:

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

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

Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

В ГОСТ Р 22.0.07-95 приведена классификация поражающих факторов при ЧС.

При возникновении пожара в рабочем цеху работник имеет инструкции по устранению ЧС. При возгорании работник обязан оповестить своего руководителя о возникновении ЧС и, по возможности, локализовать или ликвидировать пожар. В случае, когда это невозможно, работник должен отключить рабочее оборудование и проследовать в пункт сбора, по пути необходимо сообщать всем о возникновении ЧС. В здании, где проводились эксперименты, имеется план эвакуации при ЧС (см. Рисунок. 2), проводится





## Список использованных источников

1. Влияние геометрических параметров режущего лезвия на формирование области пластической деформации при резании титанового сплава ОТ4. Коровин Г.И., Филиппов А.В., Проскоков А.В [и др.]
2. Денкена Б., Бирман Д. Геометрия режущей кромки.
3. Последние достижения в моделировании процессов механической обработки металлов. Арразола П.Дж., Озел Т., Амбрелло Д [и др.]
4. Каталог PRAMET 2019 Режущий инструмент Пластины Фрезы Резцы Сверла.
5. Резников Н.И. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. 200 с.
6. Разработка модели торцевой фрезы с улучшенными виброхарактеристиками. [Электронный ресурс] Режим доступа [http://msit.tpu.ru/assets/digestArticles/msit\\_2022.pdf](http://msit.tpu.ru/assets/digestArticles/msit_2022.pdf).
7. Козлов С.В. Влияние вибрации на качество фрезерованной поверхности деталей из титана и пути борьбы с вибрациями // Инновации в науке: научный журнал. 2018. № 8. С. 25–29
8. Производительная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов. М.И. Резников, И.Г. Жарков, В.М. Зайцев, А.С. Казарин, Б.А. [и др.]; 1960 г. 199 с.
9. Каталог СКИФ-М сборные фрезы и сменные твердосплавные пластины 2021 г.
10. Каталог сборного режущего инструмента (фрезерование) 2022 г.
11. Altintas Y. Manufacturing Automation. Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 366 p
12. Ивович В.А., Защита от вибраций в машиностроении. – М.: Машиностроение/ Онищенко В.Я., 1990. – 272 с.
13. Лукьянов А.В., Исследование пространственных вибраций и сил при высокопроизводительном фрезеровании/ Алейников Д.П., Вищенко М.В.

- Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Т. 2. – С. 598–603
14. Jensen S.A. Shin Yung C. Stability Analysis in Face Milling Operations. Part 1: Theory of stability lobe prediction // Journal of Manufacturing Science and Engineering. 1999. Vol. 121. Issue 4. P. 600–6
  15. Александров А.В., Сопротивление материалов/ Потапов В.Д., Державин Б.П. М.:Высшая школа, 2003. 561 с.
  16. СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498>
  17. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>
  18. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881>
  19. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности.» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>
  20. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>
  21. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>
  22. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

# ПРИЛОЖЕНИЕ I

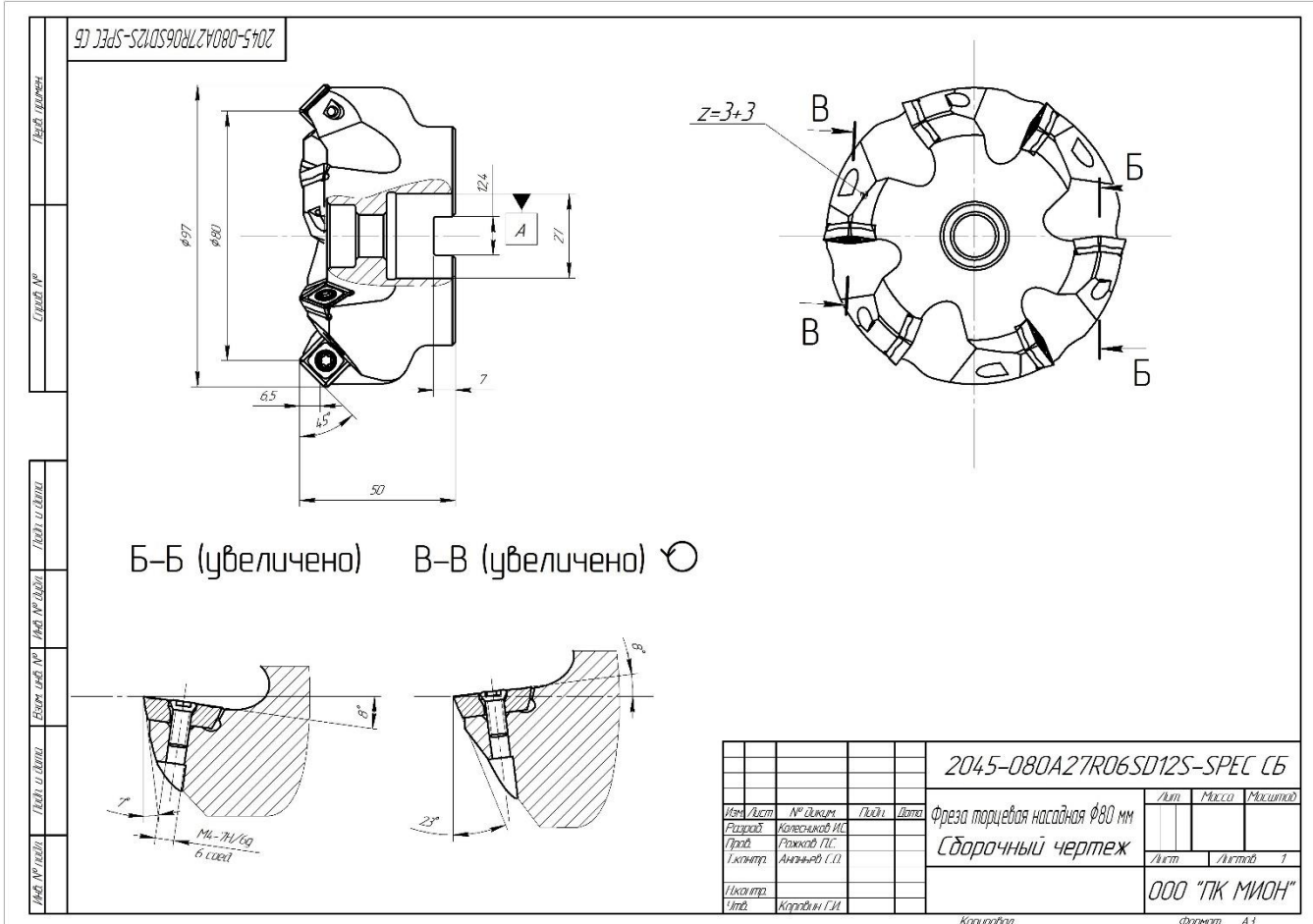


Рисунок П1.1 Сборочный чертёж торцевой фрезы

## ПРИЛОЖЕНИЕ II

### **Development of a face mill with variable helix angles to reduce vibration during milling**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM01	Колесников И. С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лысак И.А.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыскина А. А.	к.ф.н		

An increase in the level of vibration reduces not only the service life and reliability of the elements of the vehicle, but also leads to a deterioration in the quality of processing and a deterioration in productivity, and the efficiency of machining is obtained and reduced.

Figure 1 shows the effects of increased vibration on the cutter when machining parts:



Fig. 1 The consequences of increased vibration on the working part of the cutter.

Causes of perturbation of fluctuations of the technological system when cutting metals.

The main causes of vibration during milling are as follows:

- 1) Excessively large cutting areas, i.e. milling width  $B$ , feed  $s_z$  and especially depth of cut  $t$ ;
- 2) change in chip size during operation;
- 3) Influence of cutting in and out of contact of individual cutter teeth;

4) beating of the cutter due to its uneven sharpening and deflection of the mandrel;

5) Insufficient rigidity of the DIPS system.

Vibrations are greatly amplified when the vertical component of the cutting force is directed upwards and tends to raise the machine table with the workpiece. Therefore, it is desirable to work under such conditions that the cutting force is directed downward and presses the workpiece against the table, or at least is close to zero in magnitude.

By appropriate selection of  $t$  (cutting depth) and  $S_m$ , it is possible to achieve an advantageous direction of the force  $P$ , and thereby improve working conditions. The force  $P$  increases especially noticeably with an increase in the milling width. Then the vibrations increase most sharply on insufficiently rigid machines. The transition to higher cutting speeds and, consequently, lower feeds  $S$ , improves working conditions, as long as the natural frequencies of the machine and the forced vibrations due to tool runout do not coincide.

In the literature, there is a noticeable increase in the resistance of cylindrical cutters with a variable angle of inclination of the helical cutting edge, which is explained by the quieter operation of the tool.

To increase the productivity of the milling process, they are increasingly resorting to passing feed. Usually, the table with the product is directed towards the rotating cutter, while the tooth of the cutter, taking the chips, moves from the bottom up and tries to lift the product, and with it the table with the machine sled. When the tooth leaves contact with the product, the force  $P$  decreases sharply, and the entire raised system lowers, causing vibrations. In addition, blunt cutter teeth slide when cutting into the material being processed, since it is difficult for them to take thin chips, and this sliding is an additional source of vibration. The latter circumstance causes work hardening on the cutting surface, which contributes to tool blunting.

Another thing is the return. Here, the cutter presses down on the product from top to bottom and immediately, without slipping, cuts off the chips at the largest initial thickness. Now the cutting force is directed downwards and continuously presses the workpiece against the table, the latter against the guides, etc., and thus seals the joints between machine parts. In addition, in this case, the direction of rotation of the cutter coincides with the feed, which reduces energy consumption. The latter is also obtained because during climb milling, the cutter tooth removes thicker and shorter chips, this reduces the specific cutting force.

Experience shows that this method of work provides 3-5 times or more tool life compared to conventional milling. But it is valid only for sufficiently rigid machines and in the absence of a hard crust on the surface to be treated.

#### Influence of self-oscillations on the quality of the machined surface

It has been established that, along with tool life and machining productivity, self-oscillations strongly affect the quality of the machined surface. With an increase in the amplitude of self-oscillations, the roughness parameters deteriorate proportionally, and the height of the waviness of the treated surface increases. With various types of milling, the waviness of the machined surface is completely determined by the magnitude of the amplitude and the runout of the tool. In order to determine the dependence of the waviness and roughness of the machined surface on the intensity of self-oscillations, special studies were carried out in relation to the processes of milling with disk, slot, cylindrical, end and face mills, threading with taps, cutting heads and thread cutters. [1]

As a result of numerous experimental studies of the parameters of waviness and surface roughness, empirical dependences of the height of waviness and the amplitude of self-oscillations and the arithmetic mean deviation of the profile on the elements of the cutting mode, tool geometry and vibration amplitude were obtained.



Based on the foregoing, it can be concluded that the impact of vibrations has a significant impact on the roughness and accuracy of machined holes.

The main reason for reducing the tool life during vibrations is the change in the forces acting on the cutting edge. The process of cutting metals under any processing conditions is accompanied by the presence of oscillations, and periodically recurring force loads significantly reduce the life of cutting tools [12]. Changing the processing conditions only changes the nature of the spectrum of fluctuations of the technological system and the level of its individual frequency components.

Methods for vibration protection of elements of a technological system (TS)

Let us first analyze the more well-known methods of protecting the technological system known to us from the recommendations of the Pramet manufacturer of cutting tools.

The first thing that can be said is the geometric characteristics of the tool, namely the use of a tool with a large entering angle and a positive rake angle;

The use of cutting inserts that have a large radius and corner angle:

Choose a cutter with the smallest possible diameter;

The diameter of the cutter should not exceed 20-50% more than the value of  $a_e$ ;

Control wear and rounding of the cutting edge.

Also, to reduce the vibration of the technological system, the following methods can be distinguished:

The right choice of cutting fluid (coolant);

Modification of the surface of the tool achieved by spraying or other.

Now let's move on to a more in-depth consideration of the vibration protection of the system (TS).

Vibration protection methods can be divided into three main groups of technical solutions: technological, structural and combined (Fig. 2).

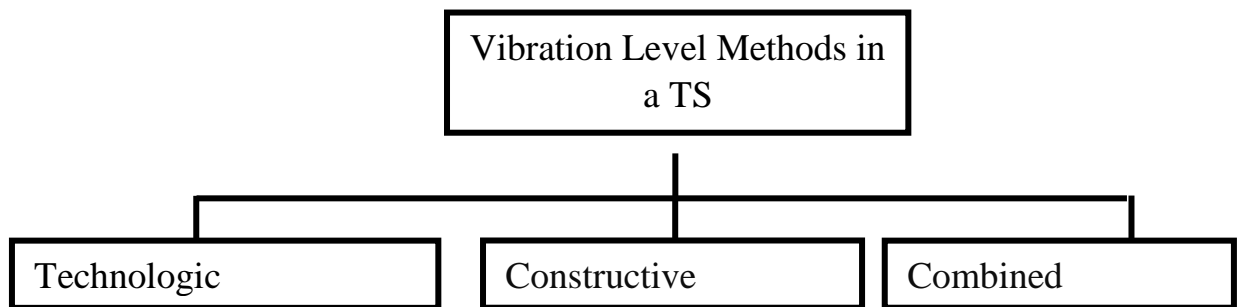


Fig. .2 - ways to reduce the level of vibration in the vehicle system.

Technological methods are understood as technical solutions for vibration protection of the TS, which consist in changing the dynamic parameters of forces caused by the machining process to significantly reduce their level.

Structural methods are understood as technical solutions consisting in the use of vibration dampers that reduce the vibration activity of the elements of the TS by introducing additional elements into its structure.

It is possible to use combined methods - technical solutions consisting in a combination of technological and structural methods of vibration protection.

Ways of vibration protection of elements of a technological system (TS) from "internal" sources of vibration effects

To reduce the level of vibrations from "internal" sources, it is necessary to use vibration dampers that reduce the vibration activity of a particular element (TS) in a certain frequency range due to the absorption of vibration energy.

The main causes and sources of pulse-vibration effects on the elements of the vehicle in this case can be: low rigidity of the workpiece, tool, machine unit; coincidence of the reverse frequency or tooth frequency with the natural frequencies of the elements (TS); local defects of the ball screw (ball screw pair) or backlash of moving elements (TS); imbalance of the rotating parts of the machine drive.

The applied technical solutions of vibration protection must correspond to the conditions under which the effect of their application will not reduce the efficiency of machining, i.e. quality, productivity, tool life, etc.

As examples of such an application for the case of low rigidity of the part, we can consider the structures shown in Fig. 3. In this case, the non-rigid part rotates around the axis during turning or grinding operations and contacts the pistons through the rolls. Vibration damping is carried out by the fluid flow through the throttling channels.

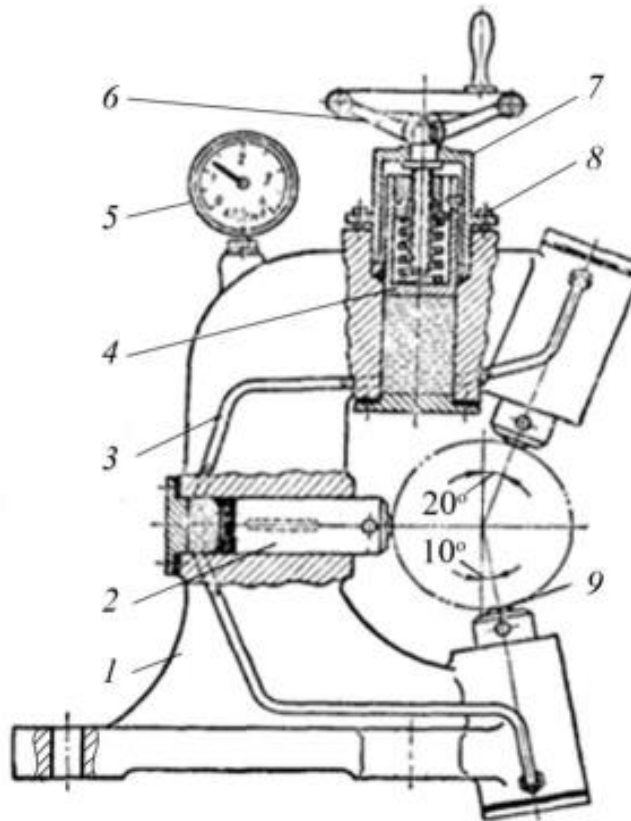


Fig. 3 - Lunette-vibration damper: 1 - housing; 2 - pistons; 3 - pipes; 4 - loading piston; 5 - manometer; 6 - handles; 7 - covers; 8 - bolts; 9 - rollers.

For milling, an implementation option is possible by installing additional supports that increase the rigidity of the machined part of the part, see Fig. 4.

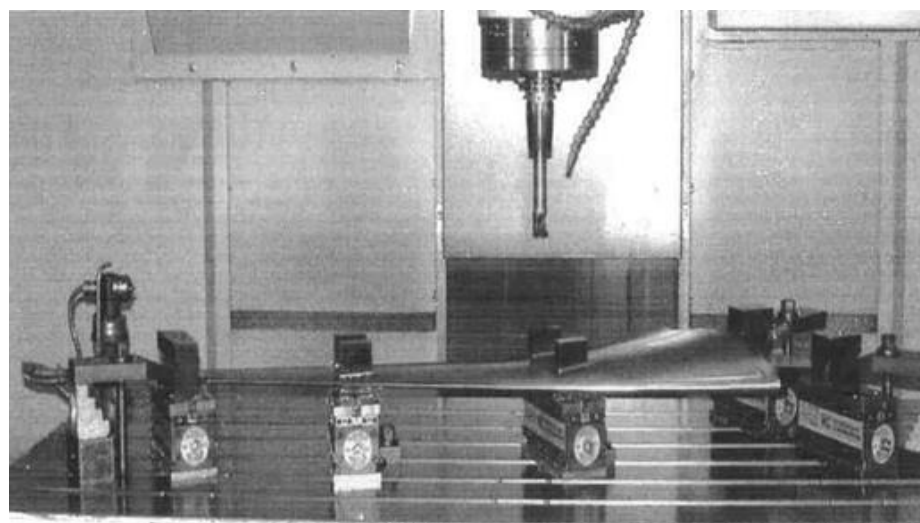


Fig. 4 - Reducing the vibration level by using additional supports.

In cases where the rotational frequency or tooth frequency coincides with the natural frequencies of the elements of the part, it is possible to use dynamic vibration dampers, installed respectively on the section of the part, shown in Fig. 5.

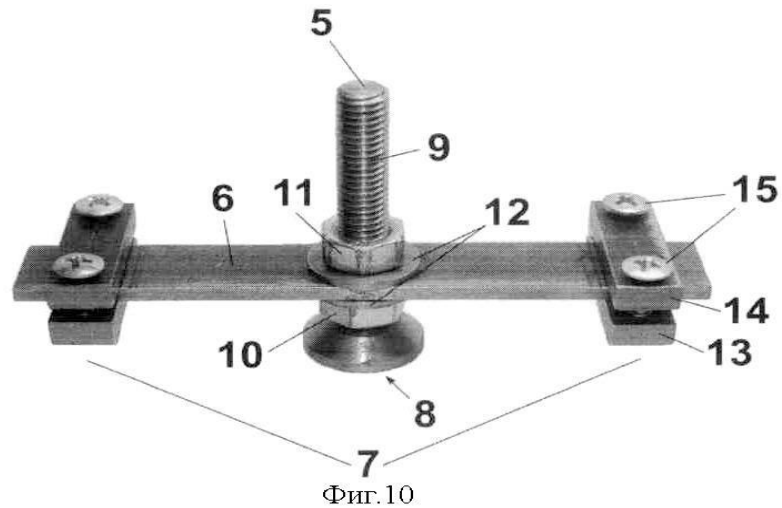


Fig. 5 - Dynamic vibration damper

In cases where the rotational frequency or tooth frequency coincides with the natural frequencies of the machine elements, it is also possible to use dynamic vibration dampers, installed respectively on the machine console, see Fig. 6.

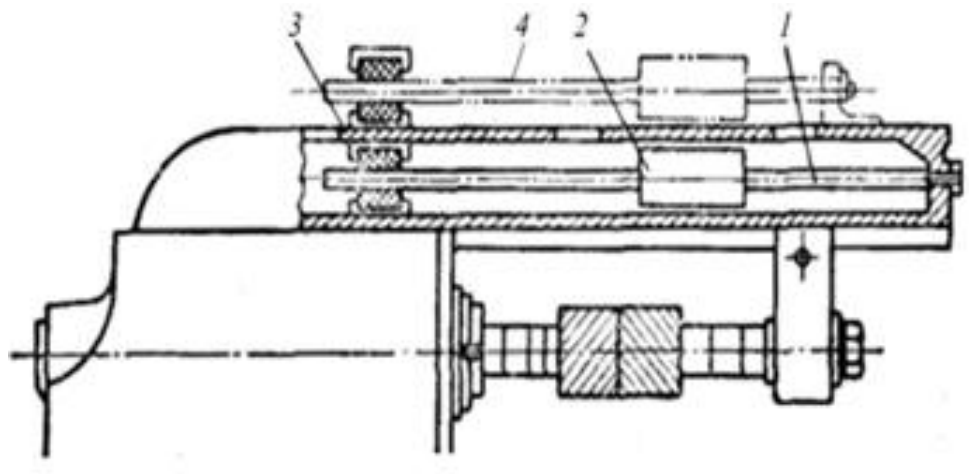


Fig. 6– Dynamic vibration damper to reduce the vibration level of non-rigid machine elements

If high frequencies, including self-oscillations, coincide, it is possible to use an impact vibration damper on the tool, see Fig. 7 by adjusting the core shocks in antiphase of the tool vibration at the excitation frequency

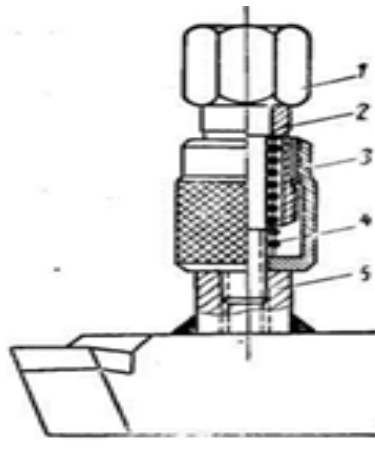


Fig.7 - Impact absorber 1 - core; 2 - bushing; 3 - cover; 4 - expanding spring; 5 - transition nut.

Next, we will move from general approaches to reducing vibrations in a technological system to a more detailed consideration of milling a face mill.

The following areas can be distinguished to improve vibration resistance:

1. End mills with damping elements (spring bushings, wire spirals, thin-walled bushings, etc.)

The resistance of the technological system is increased by the use of special means that increase the dissipation of energy and thereby reduce the level of vibrations.

The main advantage of the considered design is the ability to adjust the damping capabilities of the tool by changing the tightening force of the screw 9. In this case, the friction force between the upper and lower rings of the damping unit

is regulated, which, along with the elastic element 7, determines the damping properties of the cutter. With an increase in damping properties, the amplitude of oscillations decreases, regardless of the mass and rigidity of the oscillatory system. The rigidity of the tool is determined by the elastic properties of the damping element, which can be made of various elastic materials. In addition, the prefabricated cutter is not a single rigid structure, but the upper and lower rings of the damping unit connected through an elastic coupling. This reduces the mass of the oscillating part of the cutter, which in turn reduces the vibration frequency of the tool. At certain speeds, this design changes the ratio of the natural frequency and the frequency of the disturbing force and takes the tool out of the resonant region.

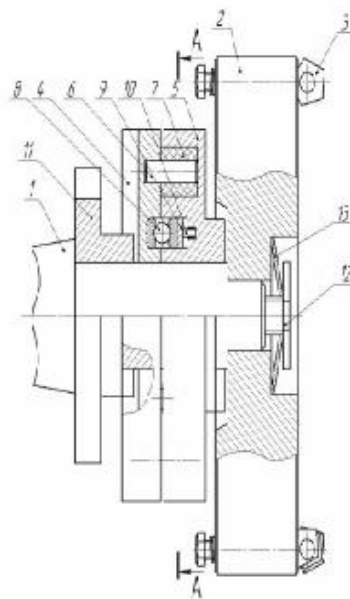


Fig. 7 Composite end mill with damping elements

1-arbor, 2-face cutter, 3-cutting inserts, 4-upper ring of the damping unit, 5-lower ring of the damping unit, 6-steel balls, 7-damping element, 8-driver, 9-screw, 10-spring washer .



Fig. 8 Prefabricated cutter.

The main advantage is the ability to adjust the damping capacity of the tool by changing the tightening torque of the screw.

The disadvantages of damping milling cutters are the limited technological capabilities, since they do not allow milling screws with a semi-open surface, while the machining process is very laborious and low accuracy, and the tool does not respond to changes in the allowance and thermomechanical damage to the machined surface, in addition, the tool does not allow ensure smooth and vibration-resistant plunging and subsequent processing - all this makes milling expensive and inefficient.

## 2 End mills with variable tooth pitch.

In such cutters, vibration resistance can be improved by suppressing unwanted vibration harmonics. In the design of the cutter, vibration resistance is increased by optimizing the magnitude and nature of the unevenness of the tooth pitch; on the cutting part of the cutter, the teeth are arranged in groups with circumferential pitches  $E$  and  $E$ , the difference of which is determined from the ratio  $E/E$ , where  $Z$  is the number of teeth of the cutter;  $n$  is the number of the suppressed harmonic of the technological system, which includes the machine tool, auxiliary and cutting tools, as well as the workpiece and fixture.



It should be noted that the design of cutters with teeth having a variable pitch is implemented in the process of a relatively small refinement of standard face cutters. At the same time, the additional costs associated with obtaining such a cutter are much less than the amount of savings generated during the operation of end mills with variable tooth stiffness or cutters with damping elements. Thus, variable pitch face mills are easier to manufacture, cheaper, in addition, when using them, a lower level of vibration is achieved. However, the lack of theoretical substantiation of the mechanism for increasing the vibration resistance of the milling process when using end mills with a variable pitch of the cutting teeth prevents their distribution in the domestic industry. It can be argued that the niche of such cutters is currently still poorly developed.

In the general case, the cutting force during milling is directed in space at a certain angle, the position of which is unknown. Therefore, when testing, the cutting force is determined by its components in three mutually perpendicular directions. The methodology for conducting experimental studies included measuring the level of vibrations in the direction of the corresponding cutting forces. In Figure 3, the milling scheme.

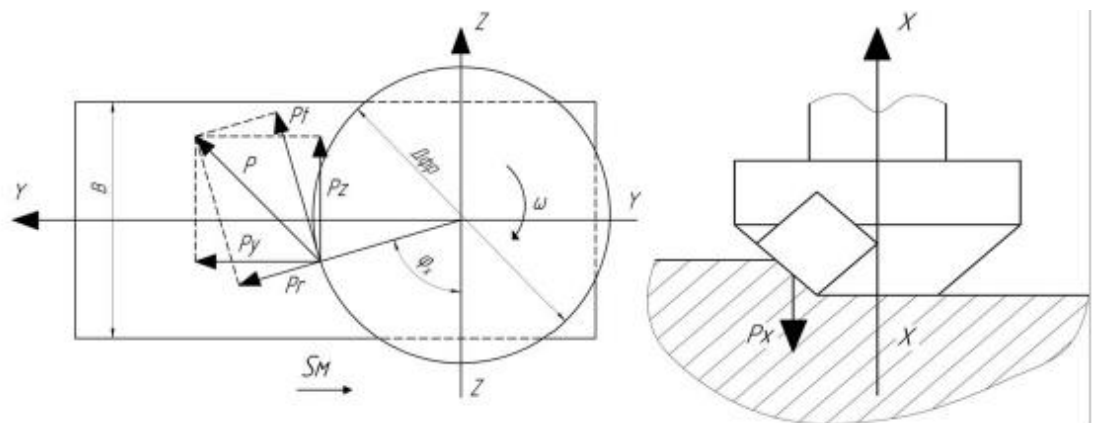


Fig.9 Scheme of face milling

Disadvantages:

1. large runout of the cutting edges, its value depends on the grade

the accuracy of the plates, the accuracy of the manufacturing of the supporting surfaces under plates and base surfaces of the cases themselves

2. poor heat dissipation from the cutting area due to the large amount of joints when installing plates in housings.

3. the shape error of the machined surface resulting from installation of inserts with a straight cutting edge in bodies at an angle to the cutter axis, or if the insert has a helical cutting edge, then the angle helical surface is calculated for only one base diameter, for others, there will be an error in the shape of the machined surface

Advantages: 1. Higher cutting speeds and feeds increase productivity.

2. Little vibration ensures excellent surface finish.

3 End mills with a variable angle of inclination of the tooth.

Advantages: when milling planes, you can get a lower roughness due to the large number of auxiliary cutting edges on the end face.

The disadvantages of such cutters are that when working with hard materials, the cutting tool operates at low feed rates, and, consequently, with low material removal rates.

I believe that the use of face mills with a variable angle of inclination of the tooth is the most promising direction for reducing vibrations. The use of this method in modern production will allow: to reduce processing time; increase tool life; increase the productivity of the machine; increase the quality and accuracy of products; reduce the influence of the “human factor.