

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 15.01.04 «Машиностроение»

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Проектирование корпуса сборной сверлильной головки БТА

УДК 62-216:621.952-2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Мезер Илья Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ким А.Б.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2021 г.

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

---

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 15.01.04 «Машиностроение»

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

---

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Мартюшев Н.В.  
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ92	Мезеру И.А.

Тема работы:

Проектирование корпуса сборной сверлильной головки БТА		
Утверждена приказом проректора-директора	102-33/с	от
	12.04.21	

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Имеющийся прототип сверлильной головки ВТА, 3D модель инструмента, результаты экспериментальных исследований
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Обзор научно-технической литературы, анализ конструкции инструмента, изменение составляющих сил резания, анализ результатов измерения.
<b>Перечень графического материала</b>	Графики составляющих силы резания.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Технологический и конструкторский	Ким А.Б.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Скачкова Л.А.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.10.19
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОМ ИШНПТ	Козлов В.Н.	к.т.н., доцент		01.10.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ92	Мезер И.А.		01.10.2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Введение .....	12
2	Литературный обзор.....	13
2.1	Инструмент с определённой базированием .....	13
2.2	Технология изготовления многолезвийных сверлильных головок БТА.....	15
2.3	Выбор системы сил.....	19
2.3.1	Удельная сила резания .....	27
2.3.2	Силы выглаживания .....	28
2.3.3	Силы трения .....	29
3	Исследовательская часть .....	33
3.1	Определение площади сечения стружкоотводящих каналов..	33
3.2	Объём снимаемого материала .....	34
3.3	Порядок врезания СМП.....	35
3.4	Определение расхода СОЖ.....	36
3.5	Система сил .....	39
3.6	Расчеты углов резания.....	41
4	Эксперимент.....	48
4.1	Описание .....	48
4.2	Подготовительные расчёты .....	50
4.3	Анализ данных .....	52
4.4	Точность экспериментальных данных.....	65
4.4.1	Разная конструкция заготовок.....	66
4.4.2	Разные температурные условия экспериментов.....	66
4.4.3	Наличие СОЖ.....	67

4.4.4	Образование нароста .....	67
4.4.5	Разность скоростей резания .....	68
5	Вывод .....	69
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	72
	Введение .....	72
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	72
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования ....	72
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	73
6.1.3	SWOT-анализ .....	75
6.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	79
6.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	79
6.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	81
6.3	Бюджет научно-технического исследования .....	86
6.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования .....	86
6.3.2	Расчет амортизации специального оборудования .....	87
6.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	88
6.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	90
6.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	90
6.3.6	Накладные расходы .....	90
6.3.7	Бюджетная стоимость НИР .....	91

6.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	91
6.4.1	Интегральный показатель финансовой эффективности .....	91
6.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности .....	92
	Интегральный показатель ресурсоэффективности .....	92
6.4.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.....	93
7	Выводы по разделу.....	95
8	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	99
8.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства. ....	99
8.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	99
9	Производственная безопасность.....	100
9.1	. Анализ вредных и опасных факторов.....	101
9.1.1	Микроклиматические условия .....	101
9.1.2	Уровень шума.....	102
9.1.3	Освещенность.....	103
9.1.4	Вредные вещества.....	106
9.1.5	Движущиеся части твердых веществ.....	106
9.1.6	Неподвижные режущие, колющие и т.д. части твердых объектов	107
9.2	Экологическая безопасность. ....	107
9.2.1	Безопасность при ЧС .....	108
10	Приложение 1 .....	111

11	Приложение 2 .....	116
12	Приложение 3 .....	117
13	Список литературы .....	130

## Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

<b>Код компетенции СУОС</b>	<b>Наименование компетенции СУОС</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, выработать 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 сдаче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 134 листа, 65 рисунков, 39 таблиц, 28 источников, 3 приложений.

Ключевые слова: сверло ВТА, силы резания.

Актуальность работы заключается в возможности более рационального проектирования корпуса сверла ВТА на основе знания зависимости составляющих сил резания от режимов резания. Это позволит сократить и упростить процесс конструирования инструмента.

Объектом исследования является процесс сверления сверлом ВТА.

Цель работы состоит в измерении составляющих силы резания при сверлении с различными режимами резания. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Составить систему сил;

1. Предложить новую схему проведения измерения
2. •произвести подготовительные расчеты.
3. •провести эксперимент, получить экспериментальные данные.
4. •проанализировать экспериментальные данные, сделать вывод.

Работа представлена введением, тремя разделами и заключением. В первом разделе «Литературный обзор» рассмотрена основная информация о сверлильных головках ВТА, рассмотрена и выбрана за основу система сил, действующих на сверло ВТА. В разделе «Исследовательская часть» построена система сил, произведены расчеты для перехода к подготовительному этапу экспериментов. В разделе «Эксперимент» предложена новая схема проведения экспериментов, проведены подготовительные расчеты, произведен анализ полученных данных и сделаны выводы. В «Выводе» подведен итог проделанной работы, предложены пути улучшения схемы измерения составляющих сил резан, а также предложены пути использования полученной информации в дальнейших исследованиях.

## 1 Введение

Технология обработки глубоких отверстий возникла в начале прошлого века. В основном использовалась в военной промышленности, где изделия сложны в изготовлении и имеют высокую стоимость. С помощью этой технологии каналы ружейных и пушечных стволов. В середине прошлого века эта технология начала постепенно переходить в гражданскую область, и имела большое развитие.

Было проведено множество различных исследований этой технологии. Важнейшей частью этой работы является проектирование инструмента по получению глубоких отверстий. Несмотря на тот факт, что было произведено множество исследований этих процессов, проектирование сверлильной головки для сверления глубоких отверстий и оптимизация ее геометрических параметров является до сих пор перспективным направлением. Нужно провести более детальные исследования.

Существует множество трудностей при проектировании сверл ВТА и исследовании процесса глубокого сверления, а именно, обеспечение прямолинейности отверстия и низкой шероховатости. Чтобы улучшить и продвинуть развитие технологии обработки глубоких отверстий, нужно обратить внимание на исследование сборных инструментов ВТА с СМП, нацеленных на развитие хорошего качества обработки, высокой эффективности, низкого уровня брака и экономии материала.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается теоретическое и экспериментальное исследование составляющих силы резания при сверлении сверлами ВТА.

В работе приводятся сведения о конструкции сверла ВТА и процесса сверления сверлами ВТА. А также , система сил, действующих на сверло ВТА, анализ выбранной схемы системы сил; описание эксперимента, анализ полученных экспериментальных данных, и предложение дальнейших путей развития исследования.

## 2 Литературный обзор

### 2.1 Инструмент с определённой базированием

Самым эффективным способом свести к минимуму увод инструмента и погрешность отверстия является использование инструмента с базированием на уже обработанную поверхность отверстия. Для этого создается инструмент с заведомо неуравновешенной радиальной составляющей силы резания, которая прижимает направляющие инструмента к поверхности отверстия. При этом необходимо пилотное отверстие длиной  $1d$ , либо кондукторная втулка.

Такие инструменты называются инструментами с определенностью базирования, к ним относятся ружейные сверла, эжекторные сверла, сверлильные головки БТА. Конструкция сверл может быть различной, но при этом результирующая составляющая сил резания остается направленной в сторону опорных направляющих.

Сверла БТА применяются для сверления отверстия диаметром от 6 мм, точностью IT 7, уводом инструмента  $0,03/100\text{мм}$  и шероховатостью  $Ra2,5\text{ мкм}$ . Как правило, инструмент представляет собой (см. Рисунок. 1) конструкцию из сверлильной головки (1) и стебля кольцевого сечения (2). Сож в зону сверления подается через маслоприемник (3).

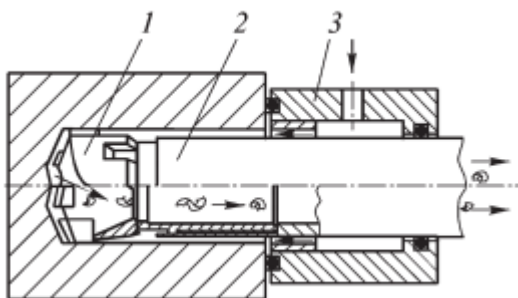


Рисунок. 1 Сверлильная головка БТА

Стебель имеет большую жесткость по сравнению с ружейным сверлом, поэтому сверление происходит при подачах в 2...4 раза больших чем при сверлении ружейными сверлами. Стружка не трется об обработанную поверхность, так как отводится через внутреннюю полость стебля.



Перетачиваемые головки ( $d=8\dots15\text{мм}$ ) изготавливают методом литья по выплавляемым моделям и напаяют на них режущие пластины. Головки большего диаметра изготавливают фрезерованием и точением на станках с ЧПУ.

Головка крепится к стержню с помощью многозаходной прямоугольной резьбы.

Также вместо одной режущей пластины используют несколько, пластины располагают с обеих сторон относительно оси. Это обеспечивает меньший износ направляющих и надежное дробление стружки по ширине.

Геометрические параметры многолезвийных головок приведены на рисунке ниже.

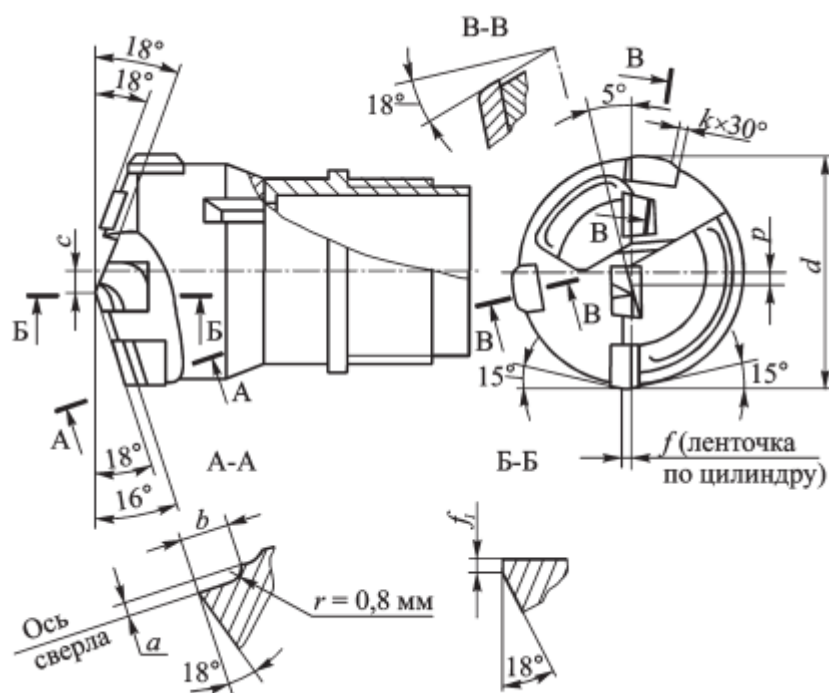


Рисунок 3 Многолезвийная головка ВТА.

## 2.2 Технология изготовления многолезвийных сверлильных головок БТА

Технология изготовления многолезвийных сверлильных головок БТА состоит из отливки фасонной части головки; изготовления хвостовика; сварки фасонной части и хвостовика; изготовления заготовок твердосплавных режущих и направляющих пластин; пайки заготовок режущих и направляющих пластин; заточки головок.



Фасонную часть многолезвийных сверлильных головок изготавливают, как правило, из сталей 40ХФЛ, 40ХН2МА методом литья по выплавляемым моделям. Твердость фасонной части головок должна быть в пределах 35...40 HRC.

Хвостовики изготавливают из сталей 40Х или 30ХГСА с наружной или внутренней прямоугольной резьбой. Твердость хвостовиков должна быть в пределах 26...30 HRC. Фасонные части головок и хвостовики сваривают аргонодуговой сваркой.

Заготовки твердосплавных режущих и направляющих пластин получают прессованием в специальных пресс-формах с последующим спеканием. В качестве материала пластин используют твердые сплавы марок Т14К8, Т15К6, Т15К10, ВК8.

Стебли сверл БТА изготавливают из трубы по ГОСТ 8731–75 из стали 30ХГСА. Твердость стеблей на длине 130 мм от торца хвостовой части должна быть 40...45 HRC, а на остальной части длины — 26...30 HRC.

Фирмы Sandvik Coromant (Швеция), Votek (Германия) и другие выпускают усовершенствованный вариант напайных многолезвийных сверлильных головок БТА диаметром 15,6...65 мм. Эти головки не требуют заточки, так как оснащены напайными твердосплавными пластинами, которые получают необходимые размеры и форму стружкодробящих порошков в процессе прессования и спекания пластин.

Изготовление таких головок требует высокоточных отливок и режущих пластин, а при пайке пластин — обеспечения высокой точности их взаимного расположения.

Все большее применение находят сборные сверлильные головки БТА. В корпусах этих головок с высокой точностью выполнены пазы, в которые установлены либо пластины, либо вставки, оснащенные сменными режущими и направляющими твердосплавными пластинами.

Сборные головки БТА диаметром 18...112 мм выпускает, например, фирма Votek (Германия) (см.Рисунок 4).

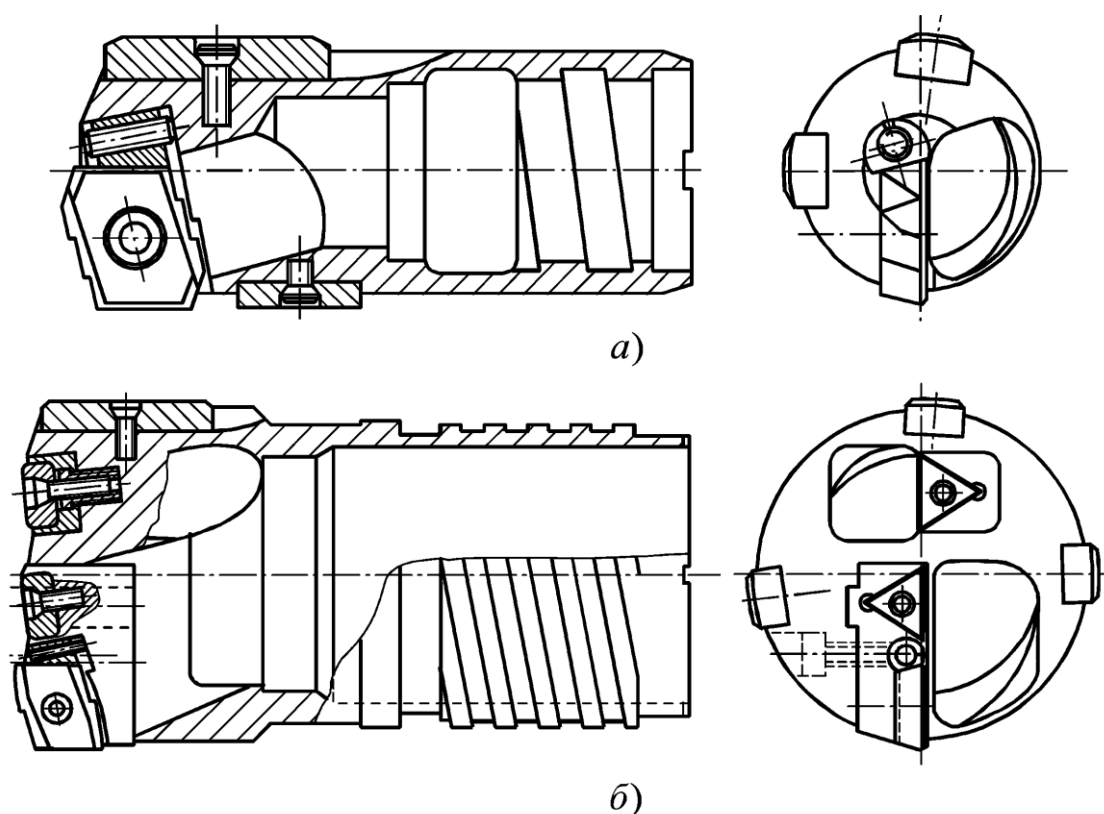


Рисунок 4

В этих головках периферийные сменные режущие пластины, регулируемые в радиальном направлении, имеют калибрующие ленточки.

В сверлильных головках больших диаметров центральные и промежуточные режущие пластины имеют треугольную форму и в державках установлены тангенциально. Такое расположение пластин способствует повышению их жесткости.

В отличие от головок других производителей, головки фирмы Votek (Германия) оснащены двумя или тремя жестко закрепленными двухсторонними цельнотвердосплавными направляющими пластинами.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) выпускает высокопроизводительные сборные головки CoroDrill 800 диаметром 30...65 мм. На торцах и цилиндрических поверхностях корпусов этих головок выполнены дополнительные канавки, обеспечивающие подвод СОЖ к режущим кромкам в большем объеме. Благодаря этому такие головки обладают улучшенным стружкоотводом и повышенной стойкостью.

Центральная и промежуточная режущие пластины головок CoroDrill 800 имеют форму параллелограмма, а периферийная режущая пластина имеет калибрующие ленточки. Направляющие пластины двухсторонние, цельнотвердосплавные имеют весьма сложную форму, которая обеспечивает более надежный подвод СОЖ к направляющим пластинам. Гнезда под твердосплавные режущие и направляющие пластины благодаря использованию обрабатывающих центров выполнены в закаленных корпусах головок с высокой точностью, и поэтому пластины не нуждаются в регулировке на диаметральный размер. При этом все твердосплавные пластины, так же, как и в головках фирмы Botek (Германия) крепятся «впотай» винтами.

Фирма Sandvik Coromant (Швеция) для сверления отверстий диаметром 63,5...184 мм выпускает сборные сверлильные головки T-MAX В этих головках для обеспечения беспрепятственного прохода стружки применявшееся ранее крепление режущих пластин треугольной формы прихватом сверху заменено на более эффективное крепление «впотай» винтами с конической головкой. С целью увеличения точности обработки и уменьшения шероховатости обработанных поверхностей периферийные регулируемые пластины треугольной формы заменены на регулируемые пластины с калибрующими ленточками.

Направляющие либо жесткозакрепляемые, либо самоустанавливающиеся. Последние применяют в сверлах диаметром  $d = 90...150$  мм. При этом диаметр направляющих должен быть на 5 мм меньше диаметра сверла. Благодаря этому направляющие пластины при поперечных перемещениях головки в обрабатываемом отверстии поворачиваются вокруг своих осей, расположенных параллельно оси головки. В результате стабилизируются давления на направляющих и повышается виброустойчивость инструмента.

Для того, чтобы инструмент работал задуманным образом необходимо определить вектор равнодействующей силы.

Для того, чтобы определить вектор равнодействующей силы, необходимо рассчитать силы, которые действуют на сверлильную головку ВТА в

процессе обработки. Чтобы это сделать нужно прийти к определённой системе сил, согласно которой будут производиться расчеты.

### 2.3 Выбор системы сил

В одной из работ[1] предлагается система представленная на Рисунок 5

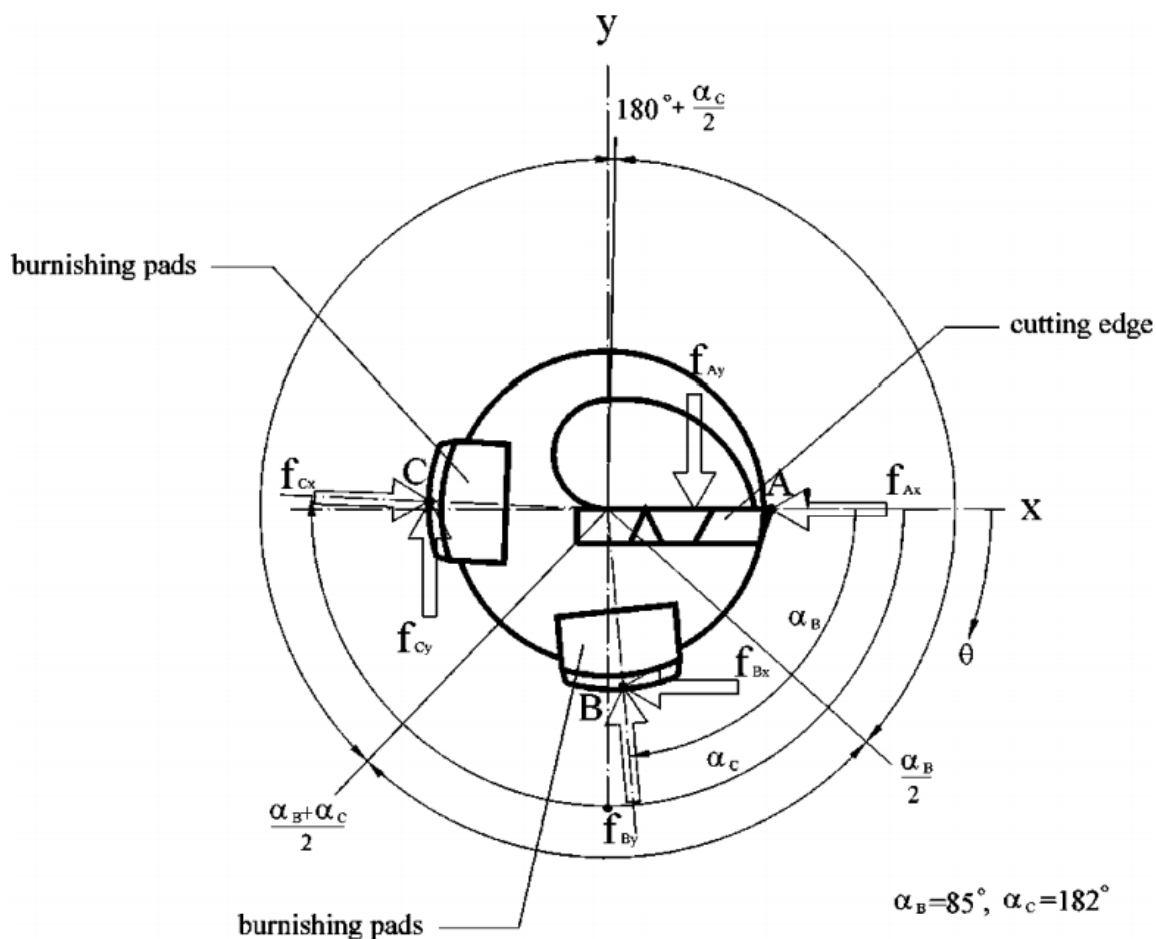


Рисунок 5 Схема сил

Из рисунка следует, что режущая сила состоит и сил, которые возникают на режущей кромке, в точке А, на опорных пластинах в точках С и В. Система сил сбалансирована в радиальном направлении, поэтому результирующая радиальная сила выражена следующим образом:

$$f_t = f_A + f_B + f_C, \quad (1)$$

где

$f_t$  - результирующая сила;

$f_A$  - сила в точке А;

$f_B$  - сила в точке В;

$f_C$  - сила в точке С.

В данной системе, силы в вышеописанных точках раскладываются гармонические составляющие. Матин и Рахман [2] представили силу резания как ряды Фурье. Основываясь на этой идее сила на режущей кромке и опорных пластинах в направлении оси инструмента выражается как гармонические функции:

$$f_A = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos(m\theta) + b_{mA} \sin(m\theta) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (2)$$

$$f_B = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) + b_{mB} \sin m(\theta + \alpha_B) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (3)$$

$$f_C = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}, \quad (4)$$

где  $m$  – номер гармоники;

$a_{0A}$ ,  $a_{0B}$ ,  $a_{0C}$ ,  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$  – коэффициенты Фурье;

$j = \sqrt{-1} = \pi / 2$  - мнимая единица;

$t$  – время;

$\omega$  – угловая скорость инструмента;

$c_w$  – скорость волны в заготовке;

$c_w = \sqrt{E / \rho}$  [2] Ошибка! Источник ссылки не найден..

Основываясь на формулах (2) - (4), силы  $f_{Ax}$ ,  $f_{Ay}$ ,  $f_{Bx}$ ,  $f_{Cx}$ ,  $f_{Cy}$  можно выразить как гармонические функции:

$$f_{Ax} = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mA} \cos(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (5)$$

$$f_{Ay} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mA} \sin(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (6)$$

$$f_{Bx} = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (7)$$

$$f_{By} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mB} \sin m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (8)$$

$$f_{Cx} = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (9)$$

$$f_{Cy} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (10)$$

В среднем положении между точками А и В можно определить коэффициенты Фурье  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$ :

$$\begin{aligned} a_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta = \\ &= \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m\left(\frac{\alpha_B}{2}\right) + \sin m\left(\frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2}\right) \right]; \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ay} \sin(m\theta) d\theta = \\ &= \frac{f_{Ay}}{m\pi} \left[ \cos m\left(\frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2}\right) + \cos m\left(\frac{\alpha_B}{2}\right) \right]; \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{mB} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{Bx} \cos m(\theta + \alpha_B) d\theta = \\ &= \frac{f_{Bx}}{m\pi} \left[ \sin m\left(\frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2}\right) + \sin m\left(\frac{3\alpha_B}{2}\right) \right]; \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{mB} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{By} \sin m(\theta + \alpha_B) d\theta = \\ &= \frac{f_{By}}{m\pi} \left[ \cos m\left(\frac{3\alpha_B}{2}\right) + \cos m\left(\frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2}\right) \right]; \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{mC} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cx} \cos m(\theta + \alpha_C) d\theta = \\ &= \frac{f_{Cx}}{m\pi} \left[ \sin m\left(\frac{360^\circ + \alpha_C/2}{2}\right) + \sin m\left(\frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2}\right) \right]; \quad (15) \end{aligned}$$

$$b_{mC} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cy} \sin m(\theta + \alpha_C) d\theta =$$

$$= \frac{f_{Cy}}{m\pi} \left[ \cos m \left( \frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2} \right) + \cos m \left( \frac{360^\circ + 3\alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (16)$$

Константы в формулах  $f_{Ax} = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mA} \cos(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]$ ; (5) -

$$f_{Bx} = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]$$
; (7) можно получить путем прирав-

нивания  $m$  к нулю в формулах

$$a_{mA} = \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta =$$

$$= \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{\alpha_B}{2} \right) + \sin m \left( \frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2} \right) \right]; \quad (11),$$

$$a_{mB} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{Bx} \cos m(\theta + \alpha_B) d\theta =$$

$$\frac{f_{Bx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2} \right) + \sin m \left( \frac{3\alpha_B}{2} \right) \right]; \quad (13) \text{ и}$$

$$a_{mC} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cx} \cos m(\theta + \alpha_C) d\theta =$$

$$= \frac{f_{Cx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{360^\circ + \alpha_C/2}{2} \right) + \sin m \left( \frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (15). \text{ Получим:}$$

$$\frac{a_{0A}}{2} = \frac{f_{Ax}}{2\pi} \left[ \pi + \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} \right]; \quad (17)$$

$$\frac{a_{0B}}{2} = \frac{f_{Bx}}{2\pi} \left[ \frac{\alpha_C}{2} \right]; \quad (18)$$

$$\frac{a_{0C}}{2} = \frac{f_{Cx}}{2\pi} \left[ \pi - \frac{\alpha_B}{2} \right]; \quad (19)$$

Формулы (1) и 
$$f_A = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos(m\theta) + b_{mA} \sin(m\theta) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (2)$$

$$f_C = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}, \quad (4) \text{ ОПИСЫВАЮТ}$$

силу  $f(z,t)$  в гармонической форме.

Из этого следует:

$$f(z,t) = \frac{a_{0A} + a_{0B} + a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos m(\omega t) + b_{mA} \sin m(\omega t) + a_{mB} \cos m(\omega t + \alpha_B) + b_{mB} \sin m(\omega t + \alpha_B) + a_{mC} \cos m(\omega t + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\omega t + \alpha_C) \right] + e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (20)$$

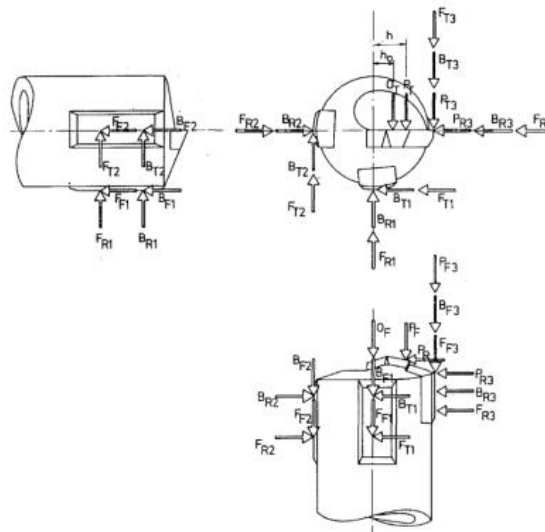
Где коэффициенты  $a_{0A}$ ,  $a_{0B}$ ,  $a_{0C}$ ,  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$  определяются

$$a_{mA} = \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta = \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m\left(\frac{\alpha_B}{2}\right) + \sin m\left(\frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2}\right) \right]; \quad (11) - \frac{a_{0C}}{2} = \frac{f_{Cx}}{2\pi} \left[ \pi - \frac{\alpha_B}{2} \right]$$

формулами ; (19).

Вышеописанная система сил не описывает силу, действующую вдоль оси инструмента, и предназначена для описания колебаний силы резания в процессе резания.

Также в работе [4] представлена система сил, изображенная на Рисунок 6.





## Рисунок 6 Силы, действующие на инструмент.

Согласно данной схеме, действующие на инструмент силы можно разложить на 23 составляющих см. Таблица 1

Таблица 1 Расшифровка обозначений.

Название силы	Обозначение	Пояснение
Силы резания	$P_T, P_F, P_R$	Силы, возникающие на режущих кромках.
Силы выглаживания	$B_T, B_F, B_R$	Силы, действующие на выглаживающие пластины. Сила выглаживания зависит от материала заготовки и инструмента, покрытия инструмента и факторов, относящихся к конструкции инструмента, например обратная конусность и расположение СМП.
Сила трения	$F_T, F_F, F_R$	Силы, действующие вдоль выглаживающих платин и периферийной режущей пластины. Из-за возникновения высоких температур в зоне резания возрастает сила трения между инструментом и заготовкой
Силы СОЖ	$O_T, O_F$	Силы, возникающие в результате циркуляции смазочно-охлаждающей жидкости с большим расходом под высоким давлением.

Силы возникающие в процессе резания можно упростить до трех основных сил: осевую, радиальную и тангенциальную. Данная система сил представлена на Рисунок 7 а и б

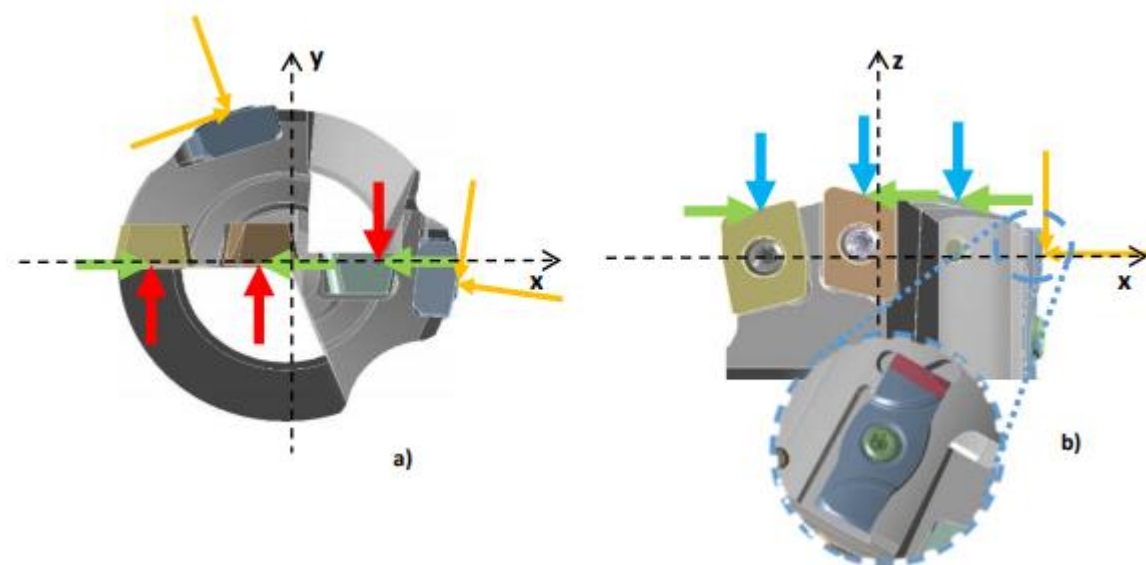


Рисунок 7 Система сил

Осевая сила (см. формула 21) возникает в результате подачи инструмента в заготовку. Сила зависит от ширины резания и угла в плане каждой сменной пластины:

$$F_z = 0,65 \cdot k_c \cdot f \cdot a_n \cdot \sin \alpha_n ; \quad (21)$$

где,

$k_c$  - удельная сила резания;

$f$  - подача;

$\alpha_n$  - угол в плане, где n определяет номер режущей кромки.

Коэффициент 0,65 является эмпирическим и учитывает влияние силы трения выглаживающих пластин.

Угол в плане ,  $\alpha_n$  , каждой режущей пластины влияет на амплитуду осевой силы на каждой СМП. Осевое усилие можно рассматривать как результирующую радиальную силу на осях Z и X, то есть радиальная сила и осевая сила. Величина радиальной силы, действующая на каждую пластину, зависит как от угла в плане, так и от величины осевой сила. И угол в плане, и угол при вершине влияют на крутящий момент. Большой угол в плане в сочетании с

высокой подачей увеличивает крутящий момент. Большой угол при вершине приводит к низкому крутящему моменту.

Длина резания  $a_n$  - это активная длина резания каждой пластины обрабатывает материал. Величина распределения осевого усилия на каждой пластине зависит от режущей способности каждой пластины. Осевое усилие, распределяемое на каждой пластине, зависит от ширины резания каждой пластины, увеличивается с шириной реза.

Тангенциальная сила,  $F_t$ , уравнение (22), является основной силой резания, действующей на пластину, также, как и сила резания,  $F_c$ . Значение силы резания, тангенциальной силы, обязательно для в дальнейших расчетах он используется для расчета необходимой мощности, крутящего момента и поперечной силы:

$$F_z = F_c = k_c \cdot f \cdot a_n ; \quad 22$$

удельная сила резания,  $k_c$ , определяется как тангенциальная сила, необходимая для резки стружки с поперечным сечением в один квадратный миллиметр эффективной силы резания, деленной на теоретическую площадь

стружки. Удельная сила резания, уравнение  $k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$ , (23), является мерой обрабатываемости для конкретного переднего угла и толщины стружки:

$$k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right), \quad (23)$$

где  $k_{c1}$  - коэффициент коррекции удельной силы резания. Силы, необходимой для резания зоны площадью  $1 \text{ мм}^2$  и средней толщиной стружки  $1 \text{ мм}$ ,  $h_m$  - средняя толщина стружки,  $\gamma_0$  - передний угол и  $m_c$  - коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, который описывает возрастание удельной силы резания (Рисунок 8).

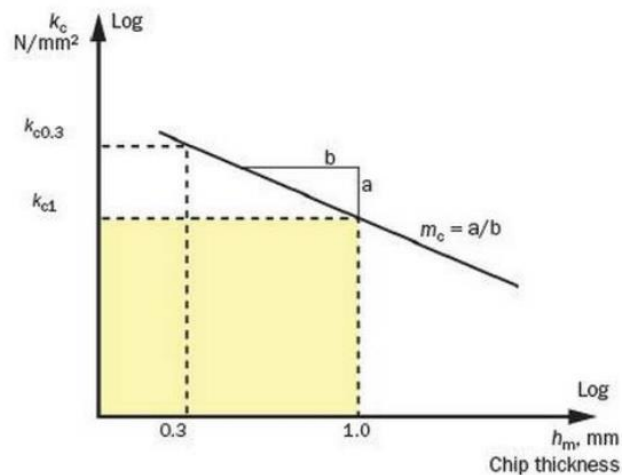


Рисунок 8 Зависимость удельной силы от толщины стружки

При увеличении переднего угла на 1 градус сила резания уменьшается на 1..1,5%. В последствии сила слома стружки и сила резания зависит от номинальной толщины стружки.

Удельная сила резания должна корректироваться относительно переднего угла. Из этого следует, что удельную силу резания следует корректировать на 1% на каждое изменение переднего угла на 1 градус. Большой передний угол дает меньшую удельную силу резания.

Коррекция удельной силы резания от средней толщины стружки описана в следующей формуле:

$$k_{sm} = k_c \cdot \left(1 - \frac{0.4}{h_m}\right)^{0.29}, \quad (24)$$

где  $k_{sm}$  - скорректированная удельная сила резания. Рассчитанные значения основаны на средней толщине стружки 0,4мм и положительном переднем угле 6градусов. Также значение удельной силы резания меняется в зависимости от положения СМП на сверлильной головке. Удельная сила возрастает к центру сверлильной головки.

### 2.3.1 Удельная сила резания

Удельная сила резания зависит от скорости резания, которая различна для каждой пластины. Скорость резания,  $v_c$ , зависит от диаметра сверла,  $D_c$ , и уменьшается от периферии к центру сверла:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}, \quad (25)$$

где  $n$  - обороты шпинделя, об/мин и  $v_c$  - скорость резания, мм/мин.

Скорость резания равна нулю в центре сверла. Следовательно, в этой зоне режущая кромка работает неэффективно. Порядок входа каждой пластины в сочетании с расстоянием от центра сверлильной головки влияет на крутящий момент и требуемую мощность. Обычно первой начинает обработку центральная пластина, промежуточная пластина - второй, а периферийная - последней. Сила резания определяется в зависимости от размещения пластины. Чтобы скорректировать удельную силу резания, действующую на каждую пластину, определяют общую силу резания, то есть установленное значение силы резания, умноженное на поправочный коэффициент, создающий локальную удельную силу резания. Коэффициент может быть указанным в зависимости от количества пластин, чтобы наилучшим образом соответствовать реальным условиям.

### 2.3.2 Силы выглаживания

Сила, действующая на каждую из опорных пластин, зависит как от величины, так и от направления действующей результирующей радиальной силы. Опорная пластина воспринимает силу резания с напротив режущей кромки и действует в основном как стабилизирующая часть. Опорная пластина передает большую часть силы резания к стенке отверстия. Это связано с тем, что угловое положение вектора результирующей радиальной силы ближе к опорной пластине напротив режущей кромки. Величина и угловое положение результирующей силы на колодках могут быть рассматривается как функция:

1. тангенциальной силы каждой пластины
2. радиальной силы каждой пластины
3. углового положения каждой вставки
4. коэффициента трения на опорных пластинах
5. углового положения опорных пластин.

Взаимозависимое влияние процессов резания и выглаживания считается одним из основных факторов, влияющих на качество обработанных отверстий. Комбинированное сверление и полирование образует пластически деформированный поверхностный слой. За качество поверхности в основном отвечает трение опорных пластин. Опорные пластины полируют стенку отверстия, придавая ей гладкую поверхность. Кроме того, колодки наклонены образуя обратный конус. Опорные пластины обладают сглаживающим и стабилизирующим эффектом, то есть уменьшается увод инструмента от оси вращения.

Величину и направление сил реакции на колодки можно рассматривать как индикатор качества инструмента. Для равномерного и стабильного процесса сверления колодки должны сохранять инструмент в устойчивом положении. Размещение колодок влияет на устойчивость сверла. Если положение режущей кромки, направляющих и опорных пластин не оптимальны, то сверло будет создавать спирали на поверхности отверстия или быстро изнашиваться. Если результирующее радиальное усилие действует слишком близко к опорной пластине, то давление на опорной площадке увеличится, вызывая повышенный износ колодок, которые могут привести к большой погрешности диаметра отверстия.

### 2.3.3 Силы трения

Силы трения, возникающие из-за использования опорных подушек, создают крутящий момент, увеличивающий требуемую мощность. Величина трения влияет на сопротивление между колодками и заготовкой. Диапазон значений коэффициента трения варьируется в разных исследованиях в зависимости от инструмента. Такое же линейное соотношение между нормальной и тангенциальной силой в других исследованиях, называются коэффициентом тангенциального трения. В наблюдаемые значения были измерены. Выбранное для расчета значение коэффициента трения равно 0.2. Наблюдаемые значения, которые лежат в основе выбранного значения трения в этом исследовании, варьируются от 0,13 до 0,27.

Величина и угловое направление результирующей радиальной силы влияют на стабильность инструмента. В угловое положение результирующей радиальной силы должно быть ближе всего к пластин напротив режущей кромки, то есть. опорная пластина, (см. Рисунок 9, 1). Опорная пластина передает большую часть силы резания к стенке отверстия. Подушечка напротив режущей кромки, направляющая пластина Рисунок 9 (2), действует как стабилизирующая часть.

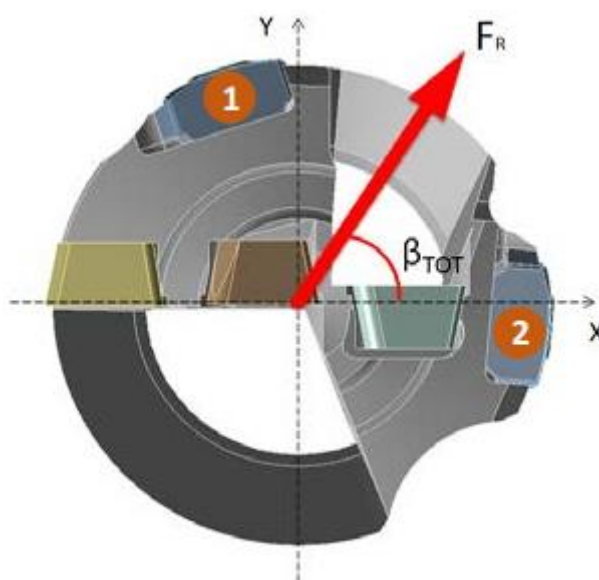


Рисунок 9 Направление результирующей радиальной силы

Цель состоит в том, чтобы получить результирующую радиальную силу, которая оказывает достаточное давление на стенку отверстия, которое предотвратит:

1. отделение колодок от стенки отверстия
2. биение инструмента
3. отклонение
4. высокую шероховатость поверхности.

Оптимизированное угловое значение расстояния между каждой колодкой и результирующей радиальной силой не определяется. Из-за колебаний, составляющих силы резания, например, вызванные режущими кромками: изменение как угла врезания, так и активной ширины реза при входе в заготовку, направление и величина радиальной силы может изменяться во время входа и

выхода. Варьирование направления результирующей радиальной силы должна постоянно поддерживаться в определенных угловых пределах. Преимущественно, направление укладывается в угловом положении между направляющими пластинами. Направление результирующей радиальной силы имеет решающее значение в отношении направления инструмента, стабильности и точности размера отверстия.

Вышеописанная система сил описывает силы, приложенные к каждой сменной пластине как проекции на каждую из осей (X,Y,Z), что позволяет относительно простым способом измерить силы, действующие на инструмент в процессе резания. Также имеется возможность упрощения процесса замеров сил, действующих на режущие пластины, так как рассматриваются силы резания на каждую пластину по отдельности. Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что данная система сил подходит для поставленных целей. Система сил, адаптированная для выполняемой работы и приведена на Рисунок 11, Рисунок. 10.

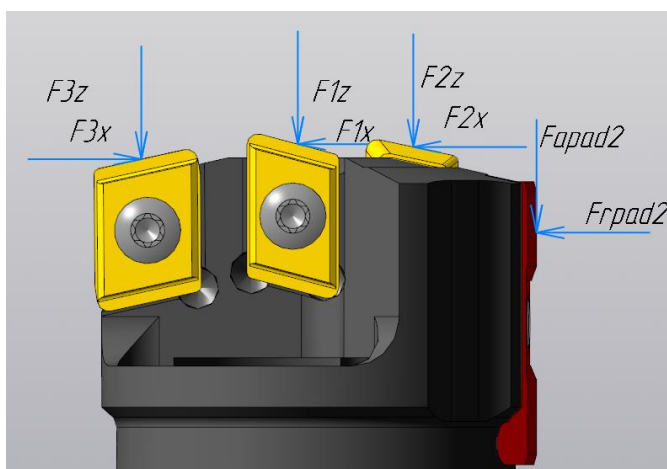


Рисунок. 10



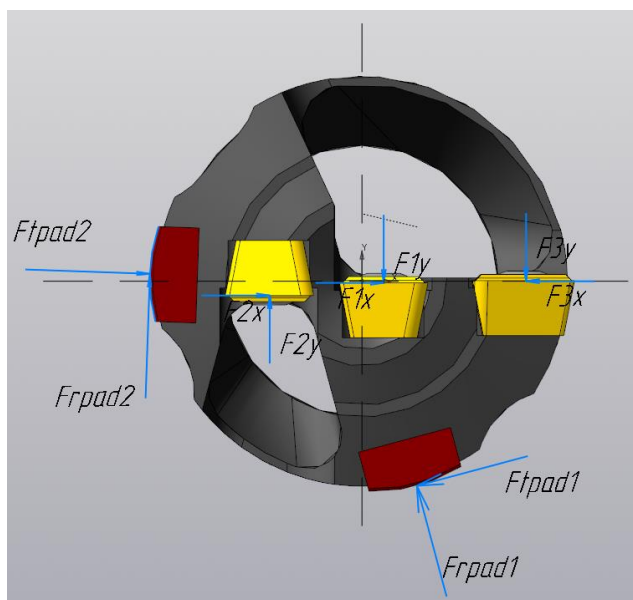


Рисунок 11

Расшифровка обозначений на рисунках, приведенных выше, находится в Таблица 2.

Таблица 2 Обозначения векторов на Рисунок. 10 и Рисунок 11.

Название силы	Обозначение	Пояснение
Осевые силы	$F_{атот}$	Полная осевая сила, с учетом сил трения на выглаживающих пластинах
	$F_A$	Осевая сила на всех режущих пластинах
	$F_{nz}$	Осевая сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Радиальная сила	$F_{nx}$	Радиальная сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Тангенциальная сила	$F_{ny}$	Тангенциальная сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Силы трения	$F_{fxn}$	x-составляющая силы трения

Название силы	Обозначение	Пояснение
	$F_{fyn}$	у-составляющая силы трения
	$F_{fxtot}$	Полная сила трения по оси X
	$F_{fytot}$	Полная сила трения по оси Y
	$F_{padn}$	Результирующая сила на выглаживающей пластине, где “r”, “t” и “a” соответственно радиальная, тангенциальная и осевая
Результирующие радиальные силы	$F_R$	Результирующая радиальная сила
	$\beta_{TOT}$	Угол между вектором $F_R$ и осью X
Моменты	$T_0$	Момент вызванный тангенциальными силами на режущих пластинах
	$T_{pads}$	Момент вызванный силой трения на выглаживающих пластинах
Мощность	P	Требования к мощности

Также согласно данной системе, предположительно, имеется возможность перейти к более простой схеме проведения эксперимента, в которой вместо обработки сверлильной головкой целиком, использовать обработку каждой режущей пластиной отдельно. Что понизит требования к выбору оборудования, упростит методику эксперимента и, вероятно, повысит точность данных.

### 3 Исследовательская часть

Для улучшения конструкции необходимо произвести расчет объёма выработываемой стружки для каждой СМП и расход СОЖ. Для этого необходимо определить площадь сечения стружкоотводящих каналов и рабочую зону каждой СМП.

#### 3.1 Определение площади сечения стружкоотводящих каналов

В Программе Компас 3D были вычислены площади сечений стружкоотводящих каналов (Рисунок 12) и их сумма. В Таблица 3 приведены значения площадей.

Таблица 3 Значения площадей стружкоотводящих каналов.

Обозначение канала	Значение площади, мм <sup>2</sup>
S1	97.257
S2	37.867
Сумма	135.123

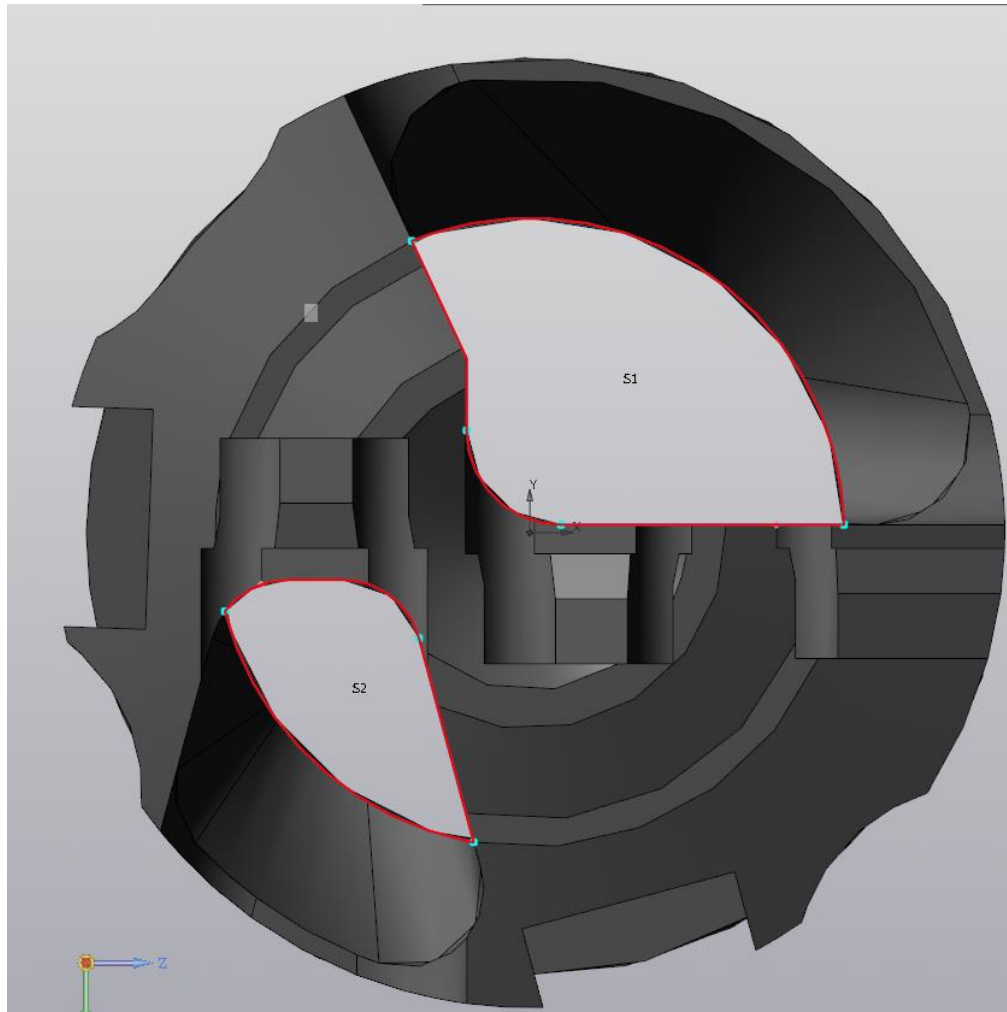


Рисунок 12 Вычисляемые площади стружкоотводящих каналов.

### 3.2 Объём снимаемого материала

Необходимо вычислить объём стружки, который снимает каждая СМП в период времени, в данном случае за одну минуту. Вычисления будут происходить по следующей формуле:

$$Q_p = \frac{S_m \cdot \pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot 1000}, \text{ где}$$

На Таблица 4 приведены основные режимы резания.

Таблица 4 Режим резания.

n, мин. <sup>-1</sup>	816
V, м/мин	80
S, мм/об.	0,18
S <sub>m</sub> , мм/мин.	147

Для определения рабочей зоны каждой СМП необходимо определить порядок врезания каждой пластины

### 3.3 Порядок врезания СМП.

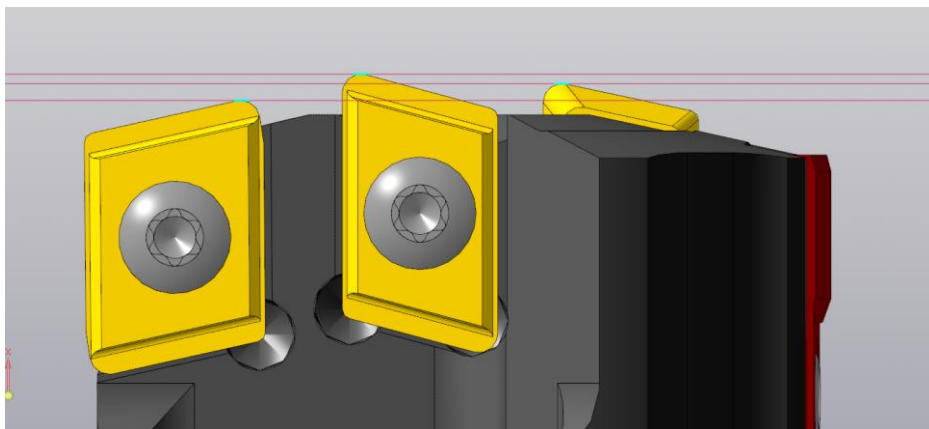


Рисунок 13 Крайние точки СМП в осевом направлении

Как видно на рисунке выше, первой врезается центральная пластина, затем средняя и, наконец, наружная пластина. Далее на осевом виде составлена схема рабочих диаметров для каждой СМП по крайним точкам.

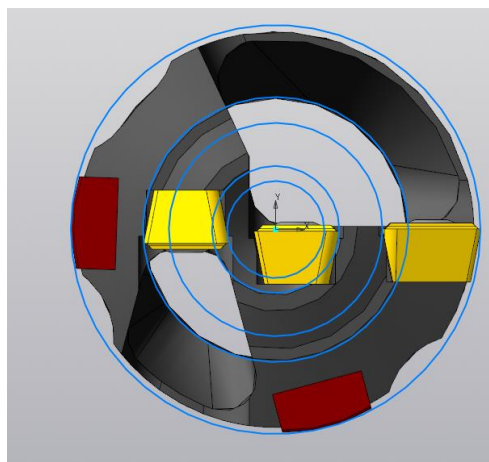


Рисунок 14 Окружности резания каждой СМП

И наконец полученные зоны были расположены в порядке врезания пластин (Рисунок 15).

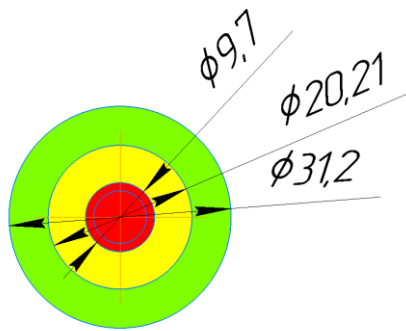


Рисунок 15 Зоны резания каждой СМП с учетом порядка врезания.  
 Далее произвелся расчет удельного объёма стружки для каждой СМП.  
 Центральная СМП:

$$d_1 = 9.703\text{mm};$$

$$d_2 = 0\text{mm};$$

$$Q_c = \frac{S_m \cdot \pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot 1000} = \frac{147 \cdot \pi \cdot (9.703^2 - 0^2)}{4 \cdot 1000} = 10,864 \frac{\text{мм}^3}{\text{мин}}$$

Средняя СМП

$$d_1 = 20.209\text{mm};$$

$$d_2 = 9.703\text{mm};$$

$$Q_m = \frac{S_m \cdot \pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot 1000} = \frac{147 \cdot \pi \cdot (20.209^2 - 9.703^2)}{4 \cdot 1000} = 36,293 \frac{\text{мм}^3}{\text{мин}}$$

Наружная СМП:

$$d_1 = 31.2\text{mm};$$

$$d_2 = 20.209\text{mm};$$

$$Q_p = \frac{S_m \cdot \pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot 1000} = \frac{147 \cdot \pi \cdot (31.2^2 - 20.209^2)}{4 \cdot 1000} = 65,235 \frac{\text{мм}^3}{\text{мин}}$$

Из расчетов можно сделать вывод, что центральная пластина снимает наименьший объем материала, средняя снимает в 3,6 раз больше, а наружная – в 6,5 раз.

### 3.4 Определение расхода СОЖ

Для сверления использовалась СОЖ марки МРЗ ТУ 0258-082-23763315-201 производства ЗАО НПО «Промэкология». СОЖ подается под давлением 2 МПа. Расход определяется по следующей формуле:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{P}{\rho}}, \text{ где}$$

$S$  - площадь стружкоотводящих каналов

$P$  – давление в системе

$\rho$  – плотность СОЖ, равна 882 кг/м<sup>3</sup>

$\alpha$  – коэффициент расхода

Поправочный коэффициент зависит от соотношения квадратов диаметров переходного участка:

$$m = \frac{d^2}{D^2}, \text{ где}$$

$d$  – диаметр сужения;

$D$  – диаметр трубопровода;

Так как на сужении сечение некруглой формы, следует преобразовать через площадь сечения:

$$m = \frac{d^2}{D^2} \cdot \frac{4\pi}{4\pi};$$

$$m = \frac{S}{D^2} \cdot \frac{4}{\pi};$$

$$m = \frac{135.123}{20^2} \cdot \frac{4}{\pi} = 0.421$$

Из вычисленного коэффициента определяются число Рейнольдса см (рис.16;17)



Рисунок. 16

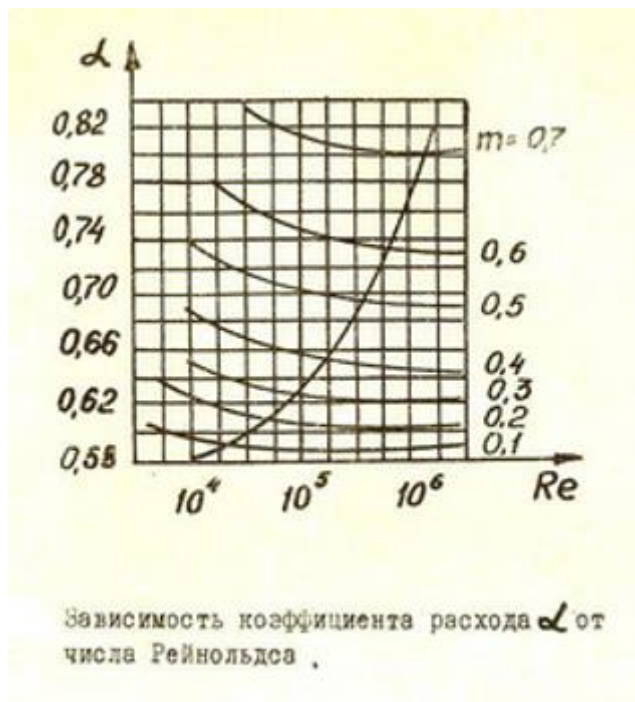


Рисунок. 17

$Re=13 \cdot 10^4$ , далее определяется коэффициент расхода  $\alpha$ , который равен 0,66.

$$Q = 0,66 \cdot 135,123 \text{ мм}^2 \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6 \text{ Па}}{882 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = 324,426 \text{ л/мин}$$



Из расчетов видно, что сверление отверстий данным сверлом должно выполняться с расходом СОЖ не менее 325 л/мин.

### 3.5 Система сил

Согласно литературному обзору строится следующая система сил (см. Рисунок 18, Рисунок 19).

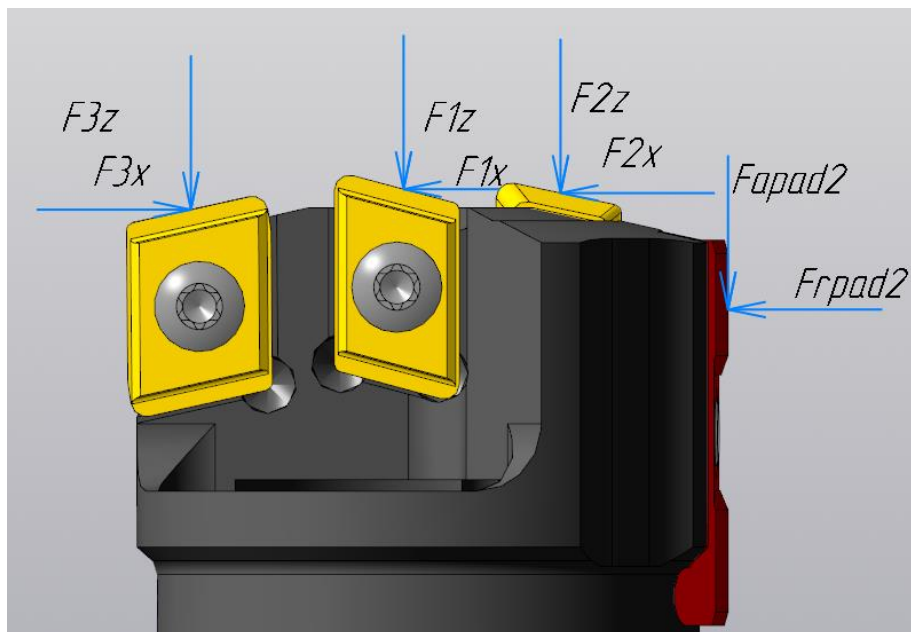


Рисунок 18 Система сил в XZ плоскости

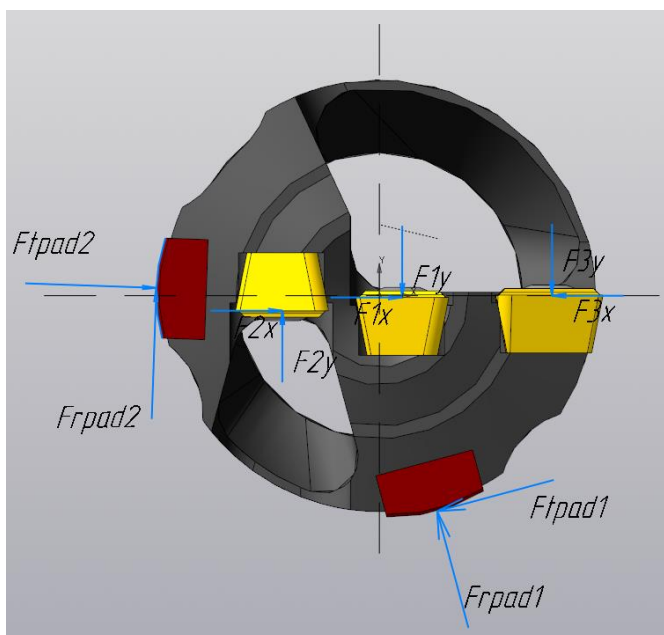


Рисунок 19 Система сил в XY плоскости

В Таблица 5 приведена расшифровка обозначений на рисунках выше.

Таблица 5 Обозначения системы сил

Название силы	Обозначение	Пояснение
Осевые силы	$F_{\text{атот}}$	Полная осевая сила, с учетом сил трения на выглаживающих пластинах
	$F_A$	Осевая сила на всех режущих пластинах
	$F_{nz}$	Осевая сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Радиальная сила	$F_{nx}$	Радиальная сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Тангенциальная сила	$F_{ny}$	Тангенциальная сила на каждой режущей пластине, где «n» номер пластины
Силы трения	$F_{f_{xn}}$	x-составляющая силы трения
	$F_{f_{yn}}$	y-составляющая силы трения
	$F_{f_{xtot}}$	Полная сила трения по оси X
	$F_{f_{ytot}}$	Полная сила трения по оси Y
	$F_{padn}$	Результирующая сила на выглаживающей пластине, где “r”, “t” и “a” соответственно радиальная, тангенциальная и осевая
Результирующие радиальные силы	$F_R$	Результирующая радиальная сила
	$\beta_{\text{тот}}$	Угол между вектором $F_R$ и осью X

Название силы	Обозначение	Пояснение
Моменты	$T_0$	Момент вызванный тангенциальными силами на режущих пластинах
	$T_{pads}$	Момент вызванный силой трения на выглаживающих пластинах
	$T_{tot}$	Полный момент
Мощность	$P$	Требования к мощности

### 3.6 Расчеты углов резания

Для того, чтобы знать действительное направление составляющих сил резания, нужно знать действительные углы резания  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\alpha$ , которые зависят от величины вектора скорости подачи и скорости резания. Таким образом будет ясно, возможно ли, упростить расчеты путем пренебрежения выписанным. Иными словами, примется, что все векторы составляющих сил резания ортогональны поверхностям, на которые они действуют.

Углы  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\alpha$  необходимо рассчитать с учетом подачи и скорости резания. Расчет производится следующим образом.

Сперва необходимо рассчитать скорость резания, так как она уменьшается от периферии к центру:

$$V(r) = \frac{\pi \cdot 2r \cdot n}{1000}, [м / мин], \text{ где}$$

$r$  – радиус, на котором рассчитывается скорость;

$n$  – обороты в минуту.

Расчеты будут приведены в таблице со следующим шагом:

$r_n = r_{n-1} \cdot 2$  начиная с 0,001, так как с удалением от центра вектор подачи все меньше влияет на главный и вспомогательный угол резания. Шкала оси  $X$ , на приведенном графике, будет построена таким-же образом.

Далее ведется расчет углов резания в зависимости от скорости:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{S_m}{V}\right), \text{ где}$$

$S_m$ -минутная подача.

$$\alpha = \alpha_0 - \gamma, \text{ где}$$

$\alpha_0$  - угол резания, на  $r=R$  составляет 11 градусов.

Результаты представлены в Таблица 6

Таблица 6 Углы резания в зависимости от радиуса.

R	V	$\gamma_p$	$\alpha$
0,001	0,004999	88,33	-77,33
0,002	0,009998	86,62	-75,62
0,004	0,019996	83,21	-72,21
0,008	0,039991	76,57	-65,57
0,016	0,079982	64,44	-53,44
0,032	0,159964	46,25	-35,26
0,064	0,319928	27,57	-16,58
0,128	0,639857	14,63	-3,63
0,256	1,279713	7,44	3,56
0,512	2,559427	3,14	7,27
1,024	5,118853	1,87	9,13
2,048	10,23771	0,94	10,07
4,096	20,47541	0,47	10,53
8,192	40,95082	0,23	10,77
15,6	77,98253	0,12	10,88

По полученным данным строится график, см. рисунок 20. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

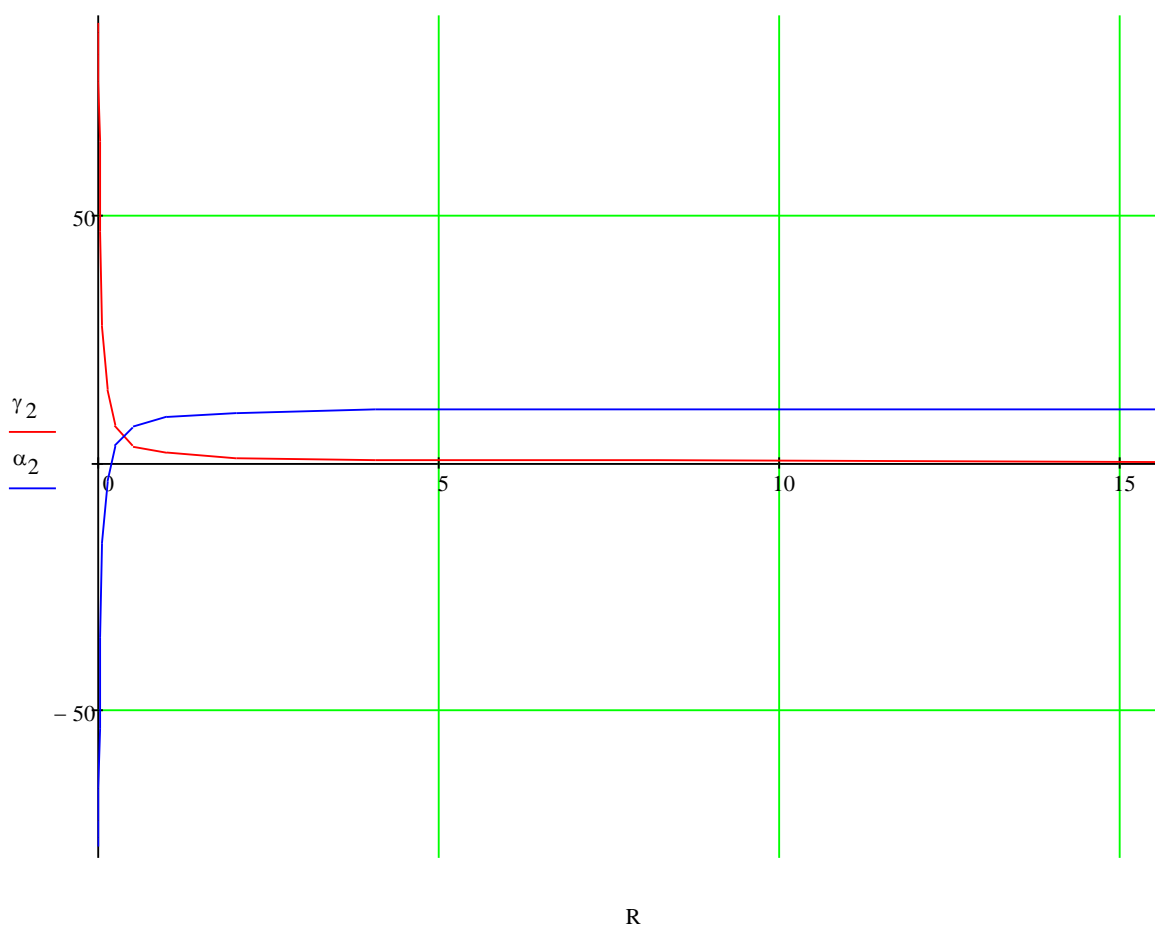


Рисунок 20 Зависимость углов резания от радиуса

Нужно отметить, что угол рассматривается в плоскости параллельной оси, чтобы проверить результаты необходимо произвести измерение углов в секущих плоскостях перпендикулярных плоскости резания. См Рисунок 21, Рисунок 22, Рисунок 23. Измерение углов происходило, в программе Ком-

пас 3D. Было рассечение модели в точках, соответствующих радиусам на таблице 6, строились вектора подачи( $S$ ), скорости резания ( $V$ ), производилось их сложение и измерение углов.

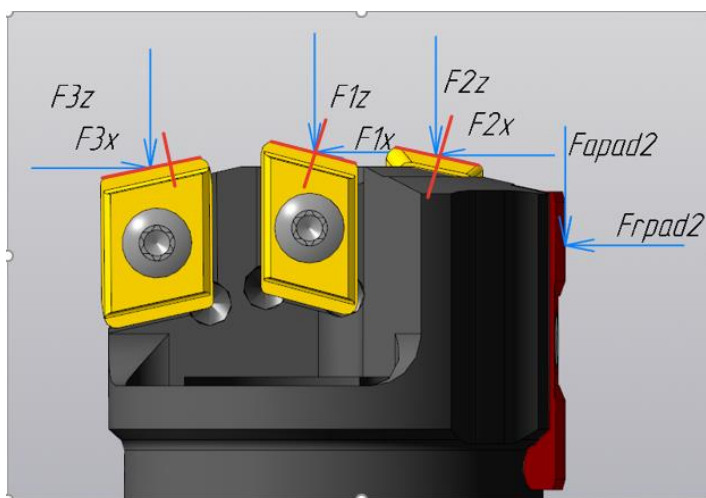


Рисунок 21 Плоскости расщечения для кадой СМП.

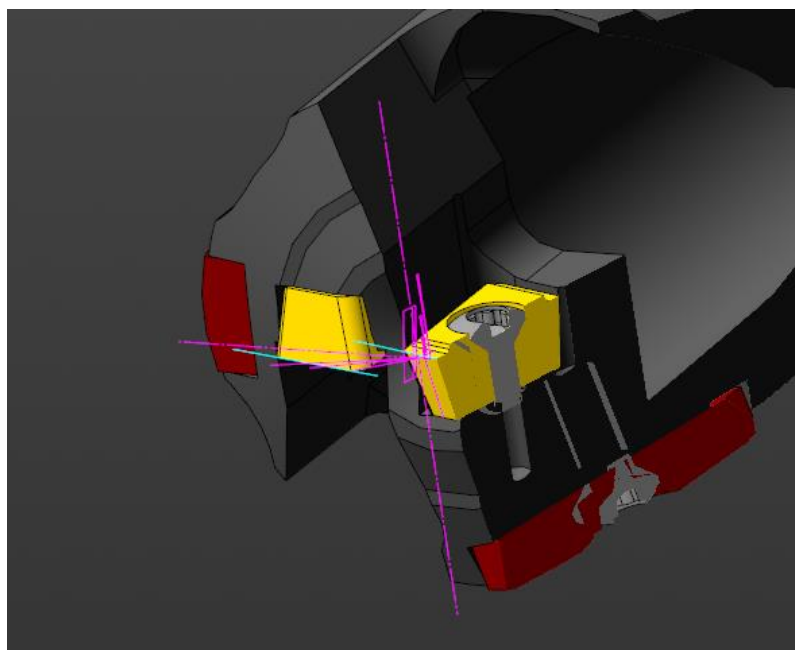


Рисунок 22 Пример рассечения

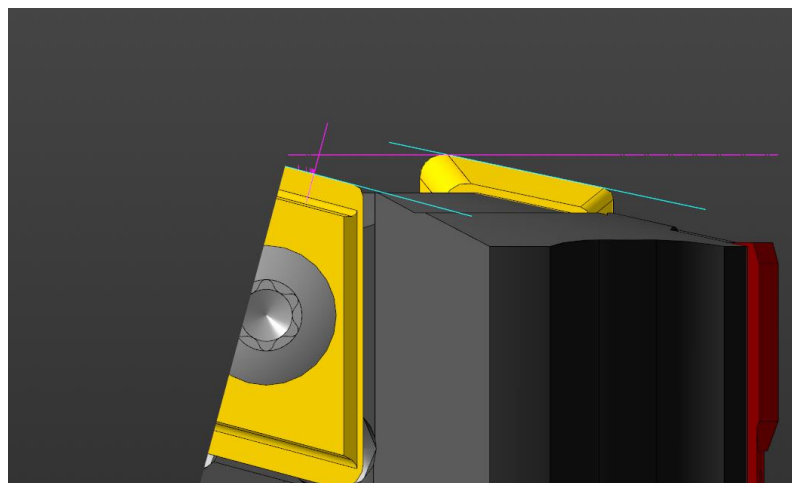


Рисунок 23

Полученные результаты приведены в Таблица 7

Таблица 7 Результаты измерений углов

R	V	$\gamma_p$	$\alpha$
0,001	0,004999	88,13	-77,14
0,002	0,009998	86,27	-75,28
0,004	0,019996	82,83	-71,45
0,008	0,039991	75,40	-64,4
0,016	0,079982	62,49	-51,49
0,032	0,159964	43,83	-32,83
0,064	0,319928	26,42	-14,64
0,128	0,639857	13,49	-2,4
0,256	1,279713	6,51	4,16
0,512	2,559427	3,43	7,57
1,024	5,118853	1,72	9,28
2,048	10,23771	0,89	10,32
4,096	20,47541	0,45	11
8,192	40,95082	0.35	11.13
15,6	77,98253	0.29	11.24

На рисунке ниже представлены графики с использованием, данных, полученных двумя методами.

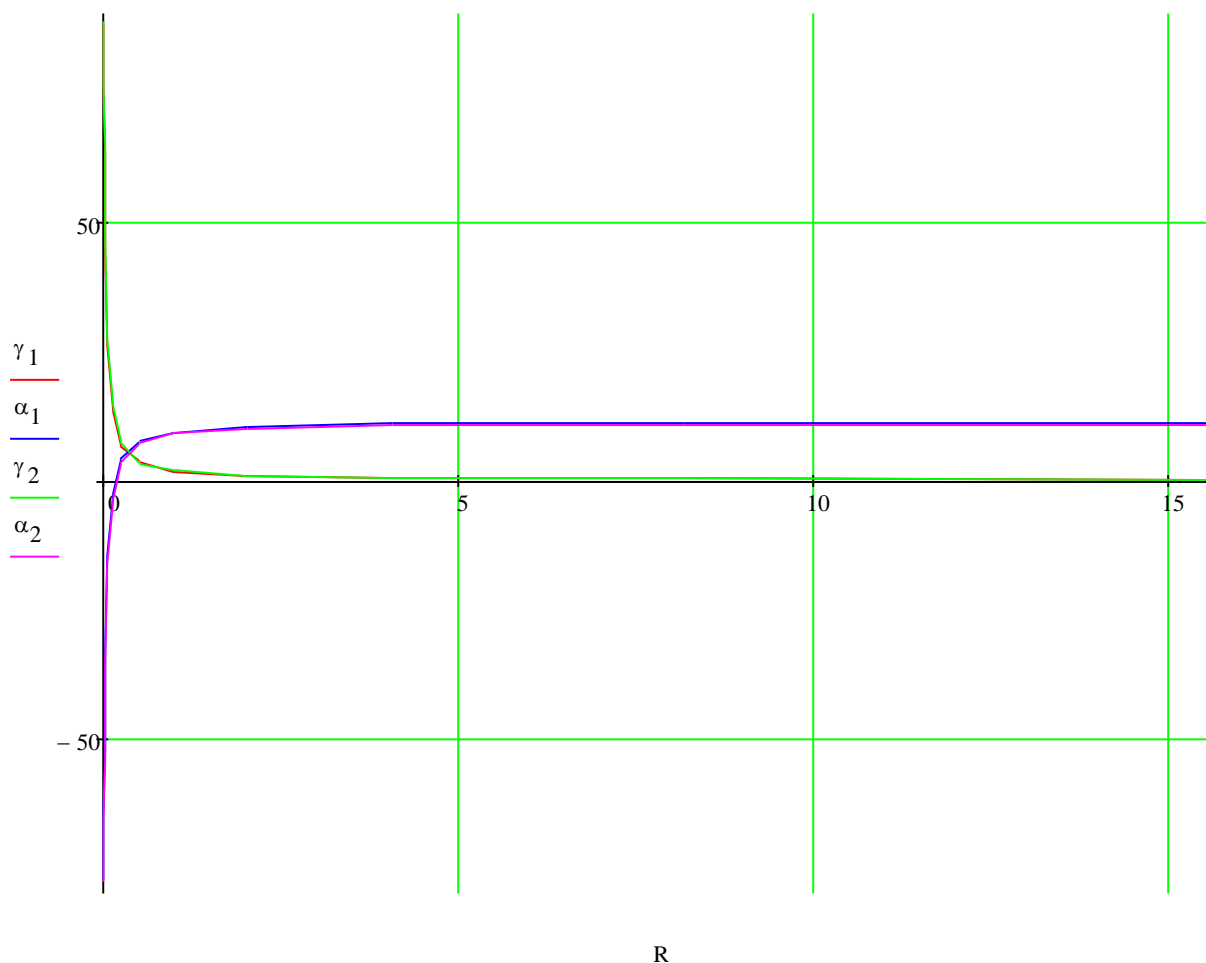


Рисунок 24 Зависимость углов резания от радиуса.

Все результаты представлены в сводной Таблица 8

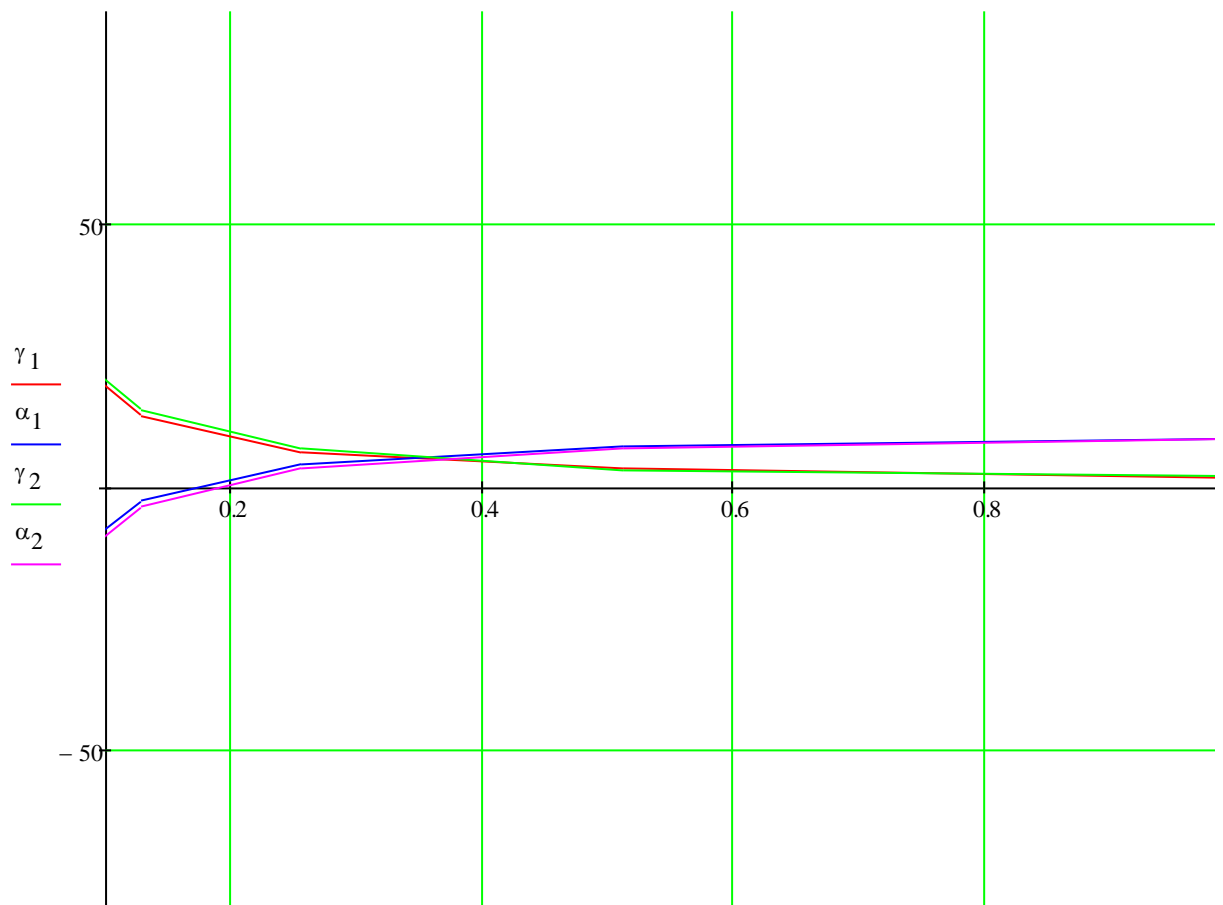
Таблица 8

R, мм	V, мм/мин	$\gamma_p$	$\gamma_{p1}$	$\Delta\gamma$	$\alpha_p$	$\alpha_{p1}$	$\Delta\alpha$
0,001	0,005	88,13	88,33	0,2	-77,14	-77,33	-0,19
0,002	0,001	86,27	86,62	0,35	-75,28	-75,62	-0,34
0,004	0,019	82,83	83,21	0,38	-71,45	-72,21	-0,76
0,008	0,039	75,40	76,57	1,17	-64,4	-65,57	-1,17
0,016	0,079	62,49	64,44	1,95	-51,49	-53,44	-1,95
0,032	0,159	43,83	46,25	2,42	-32,83	-35,26	-2,43



R, мм	V, мм/мин	$\gamma_p$	$\gamma_{p1}$	$\Delta\gamma$	$\alpha_p$	$\alpha_{p1}$	$\Delta\alpha$
0,064	0,319	26,42	27,57	1,15	-14,64	-16,58	-1,94
0,128	0,639	13,49	14,63	1,14	-2,4	-3,63	-1,23
0,256	1,23	6,51	7,44	0,93	4,16	3,56	-0,6
0,512	2,56	3,43	3,14	-0,29	7,57	7,27	-0,3
1,024	5,12	1,72	1,87	0,15	9,28	9,13	-0,15
2,048	10,24	0,89	0,94	0,05	10,32	10,07	-0,25
4,096	20,48	0,45	0,47	0,02	11	10,53	-0,47
8,192	40,95	0,35	0,23	-0,12	11,13	10,77	-0,36
15,6	77,98	0,29	0,12	-0,08	11,24	10,88	-0,36

На Рисунок 25 показан график на отрезке  $R[0.1-1]$ , на этом интервале происходит наибольшая динамика углов.



R

Рисунок 25 График с R[0.1-1]

Как видно, графики почти совпадают, значит в нашем случае можно пренебречь этим отклонением и производить расчеты опираясь на упрощенный метод получения углов без поправки на угол режущей кромки.

## 4 Эксперимент

### 4.1 Описание

Эксперимент представляет собой обработку заготовки каждой режущей пластиной по отдельности и замеры составляющих силы резания в процессе. Заготовка представлена на Рисунок 26. Так как скорость резания каждой пластиной фактически разная, то изменение скорости резания в эксперименте будет происходить путем регулирования частоты вращения заготовки. Также в процессе обработки в зону резания будет подаваться смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ).

Все работы будут выполняться на станке Knuth V-turn 410, к которому на место резцедержателя установлен динамометр Kistler.

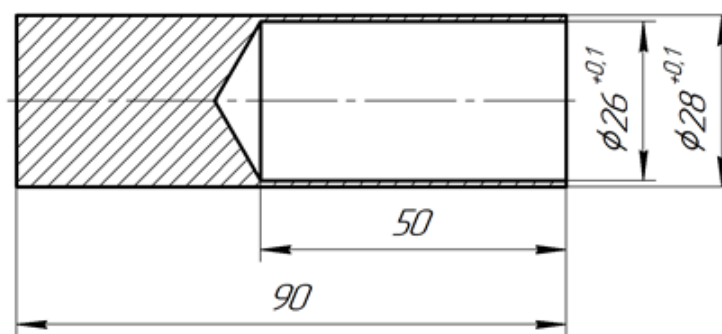


Рисунок 26. Эскиз заготовки

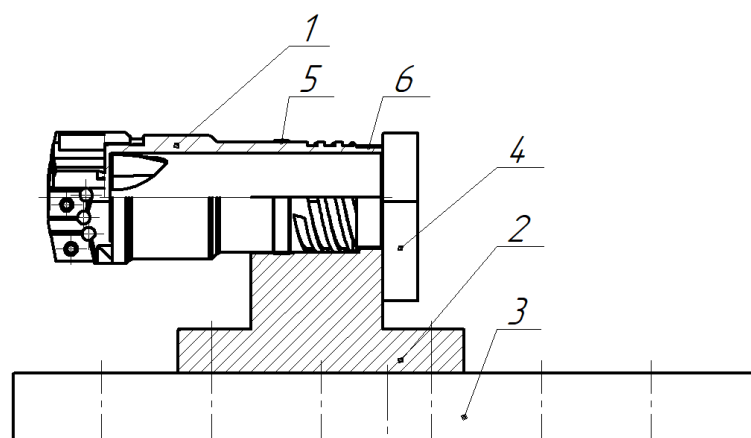


Рисунок 27 Установка для проведения экспериментов

Установка для проведения экспериментов представлена на Рисунок 27. Испытуемый опытный образец (1) закрепляется в оправку (2). Базирование сверла происходит по пояскам (5) и (6). Оправка крепится к динамометру (3). Планка (4) предотвращает смещение инструмента вдоль его оси вращения.

Данная схема эксперимента отличается от схемы эксперимента, описанной в предыдущей работе, по схожей тематике [14].

В работе [14] для экспериментального определения силы резания проводили обработку образцов схожей конструкции, но с разными диаметрами, а также без подачи СОЖ в зону резания.

Диаметры образцов соответствовали размерам каждой пластины. Изменение скорости резания происходило за счет изменения диаметра резания, частота оборотов оставалась одной и той-же.

Из-за того, что образец для обработки центральной пластиной имел малый диаметр, происходило его сильное отжатие в процессе резания. Это сильно искажало данные или же вообще делало невозможным проведение обработки.

В данной работе проверяется возможность использования единой конструкции образца, но с обеспечением требуемой скорости резания за счет изменения частоты вращения заготовки. Это позволит уменьшить номенклатуру используемых образцов, повысить точность их изготовления, а также позволит проводить измерение составляющих силы резания на всех участках вдоль всей режущей кромки, включая участок с нулевым радиусом.

#### 4.2 Подготовительные расчёты

Для проведения эксперимента необходимо рассчитать частоту оборотов заготовки, которая вычисляется согласно скорости резания на периферии сверла  $V_0$ . Значение скорости резания равного 80 м/мин является рекомендованным для данного диаметра сверла и материала заготовки.

По следующей формуле рассчитывается необходимое количество оборотов:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot 2r}, [\text{об} / \text{мин}],$$

где  $r$  – радиус обработки, берется в средней точке режущей кромки каждой пластины (Рисунок 28, tab).

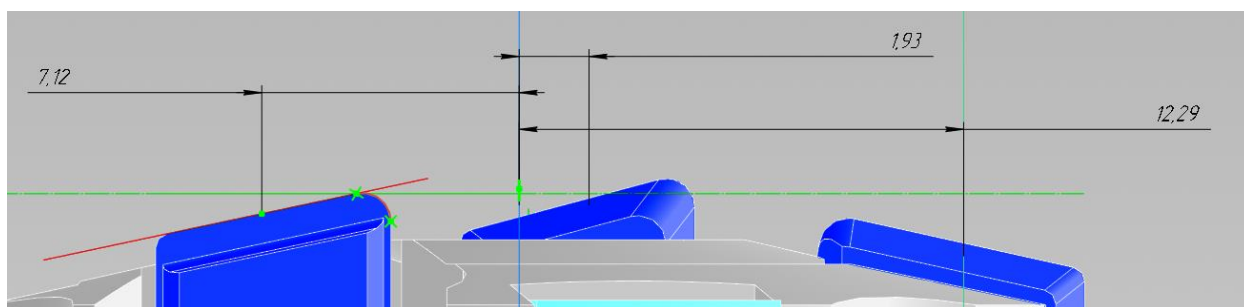


Рисунок 28

Таблица 9 Радиусы измерения составляющих сил резания

Радиус	Значение, мм
$r_1$	12,29
$r_2$	7,12
$r_3$	1,93

Таким образом частота вращения заготовки для обеспечения скорости резания  $V_0$  равной 80м/мин:

$$n_0 = \frac{1000 \cdot 80}{\pi \cdot 2 \cdot 15,6} = 816 [\text{об} / \text{мин}].$$

Далее рассчитывается скорость резания на каждом радиусе, при вычисленной частоте вращения заготовки.

Скорость резания периферийной пластиной:

$$V_1 = \frac{2r_1}{2r_0} \cdot 80 = \frac{2 \cdot 12,29}{2 \cdot 15,6} \cdot 80 = 63 [\text{м} / \text{мин}].$$

Скорость резания промежуточной пластиной:

$$V_2 = \frac{2r_2}{2r_0} \cdot 80 = \frac{2 \cdot 7,12}{2 \cdot 15,6} \cdot 80 = 36,5 [\text{м} / \text{мин}].$$

Скорость резания центральной пластиной:

$$V_3 = \frac{2r_3}{2r_0} \cdot 80 = \frac{2 \cdot 1,93}{2 \cdot 15,6} \cdot 80 = 9,9 [\text{м} / \text{мин}].$$

После проведенных вычислений отдельно рассчитывается частота вращения образца для обработки каждой пластиной.

Как видно из рисунка, образец представляет собой трубу с наружным диаметром 28 мм и внутренним диаметром 26 мм. Диаметр обработки принимается равным 27 мм, как среднее значение. Следовательно, радиус обработки –  $r_0 = 13,5$  мм.

Далее производится вычисление частоты вращения образца, для обеспечения скоростей, рассчитанных выше.

Частота вращения образца для обработки периферийной пластиной:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi \cdot 2 \cdot r_0} = \frac{1000 \cdot 63}{\pi \cdot 2 \cdot 13,5} = 716 [\text{об} / \text{мин}].$$

Частота оборотов образца для обработки промежуточной пластиной:

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_2}{\pi \cdot 2 \cdot r_0} = \frac{1000 \cdot 36,5}{\pi \cdot 2 \cdot 13,5} = 415 [\text{об} / \text{мин}].$$

Частота оборотов образца для обработки центральной пластиной:

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot 2 \cdot r_0} = \frac{1000 \cdot 9,9}{\pi \cdot 2 \cdot 13,5} = 113 [\text{об} / \text{мин}].$$

На Рисунок п29 показана схема эксперимента.

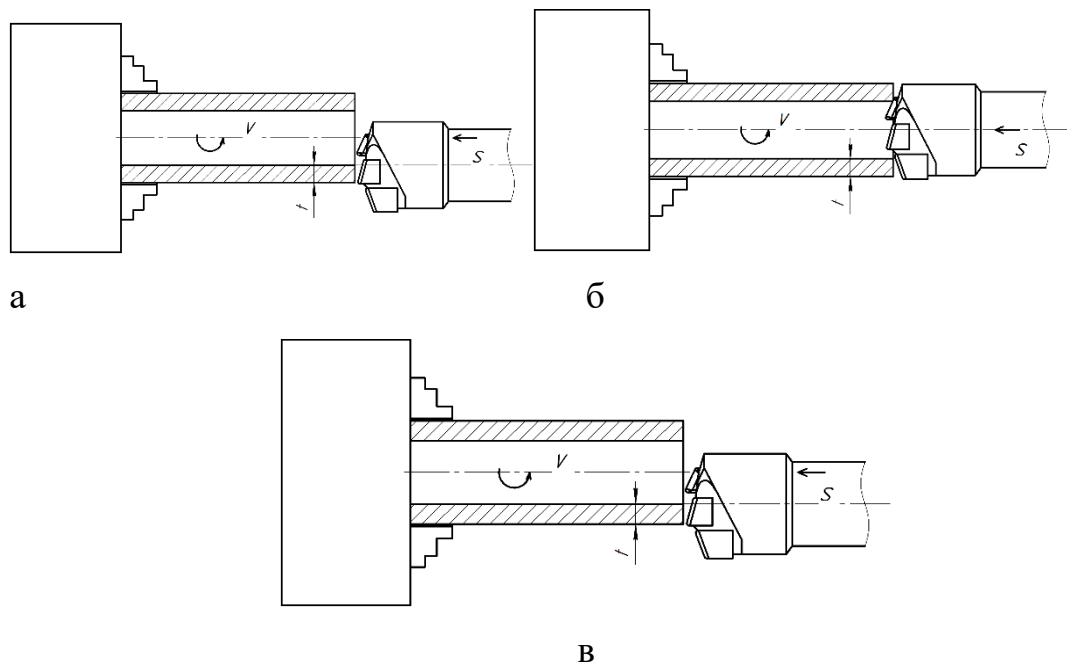


Рисунок п29: а – обработка центральной пластиной; б – обработка промежуточной пластиной; в – обработка периферийной пластиной

### 4.3 Анализ данных

В ходе эксперимента было проведено 12 опытов, а именно, обработка каждой режущей пластиной с подачами: 0,18 мм/об, 0,085 мм/об, 0,05 мм/об, а также обработка центральной пластиной с подачей 0,18 мм/об на диаметрах 1, 3 и 4 мм.

В результате были получены графики зависимости величины составляющих силы резания  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  от времени при разных значениях скорости подачи (см. Приложение 1). Данные были получены при установке диапазона измерений на 500 Н. Так как направление координатных осей динамометра не совпадает с направлением составляющих сил резания при сверлении, то при анализе данных следует воспринимать  $P_x$  как  $P_y$ , а  $P_y$  как  $P_x$ . Это необходимо для того, чтобы полученные силы соответствовали принятой для сверл БТА системе сил, которая принята выше.

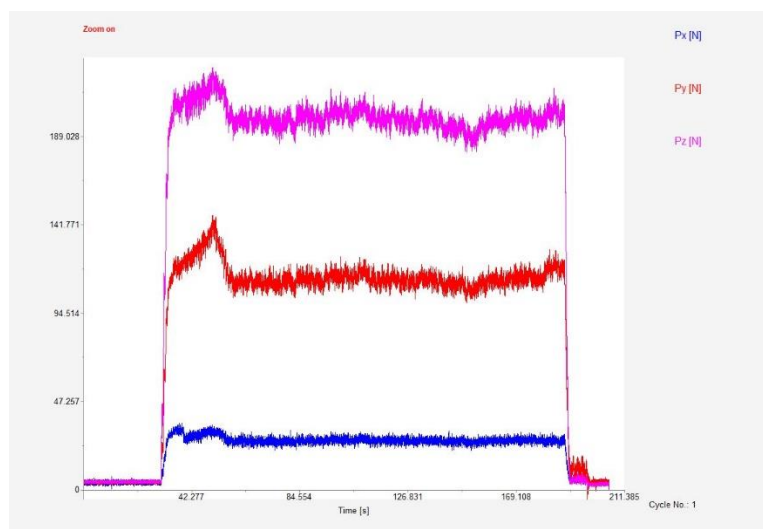


Рисунок 30 Обработка периферийной пластиной,  $s=0,085$  мм/об.

На Рисунок 30 Обработка периферийной пластиной,  $s=0,085$  представлен один из графиков, которые были получены в результате опытов, остальные графики представлены в приложении 1.

Прямолинейные области на графике – это участки устоявшегося процесса резания. Также можно заметить участки, где значения значительно отличаются от вышеописанных областей. Они возникают по следующим причинам:

1. Области, где значения составляющих силы резания близки к нулю: обработка не ведется из-за того, что инструмент еще не начал обработку или уже ее закончил, так как проведено необходимое измерение;

2. Области с повышенными значениями: происходит процесс врезания и установления процесса резания;
3. Области с сильно повышенными значениями: полый участок образца, предназначенный для обработки, израсходовался, и произошло врезание инструмента в сплошную часть образца с резким увеличением глубины резания.

Значение составляющих силы резания принималось как среднее арифметическое на участке устоявшегося процесса резания. Полученные значения сил приведены в таблицах

Таблица 10-

Таблица 12. В таблицах значения сил взяты по модулю, так как на данном этапе необходимо выявить основные зависимости, по которым изменяется сила. Таблицы заполнены согласно поправке, описанной выше.

Таблица 10 Значения составляющих сил резания на центральной пластине

№	Подача, мм/об	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$P_z$ , Н	Примечание
1	0,05	24	96	166	n=112 об/мин
2	0,085	30	124	227	
3	0,18	47	180	386	

Таблица 11 Значения составляющих сил резания на промежуточной пластине

№	Подача, мм/об	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$P_z$ , Н	Примечание
1	0,05	36	68	128	n=415 об/мин
2	0,085	24	106	188	
3	0,18	40	180	343	

Таблица 12 Значения составляющих сил резания на периферийной пластине

№	Подача, мм/об	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$P_z$ , Н	Примечание
1	0,05	18	89	143	n=716 об/мин



№	Подача, мм/об	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$P_z$ , Н	Примечание
2	0,085	26	112	198	
3	0,18	47,6	238	387	

Таблица 13 Значения составляющих сил резания на центральной пластине на разных диаметрах

№	d, мм	$P_y$ , Н	$P_x$ , Н	$P_z$ , Н	n, об/мин	Примечание
1	1	60	217	441	56	S=0,18 мм/об
2	2	47	180	386	112	
3	3	51	183	369	169	
4	4	52	189	369	225	

По таблицам построены графики, для выявления зависимостей величины составляющих силы резания от скорости подачи (S) (см. рис. Рисунок 31-Рисунок 34).

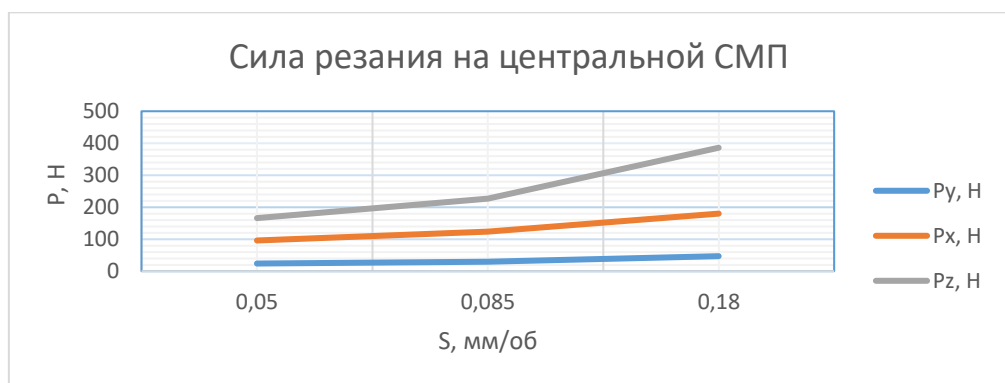


Рисунок 31 Зависимость составляющих сил резания на центральной СМП от скорости подачи

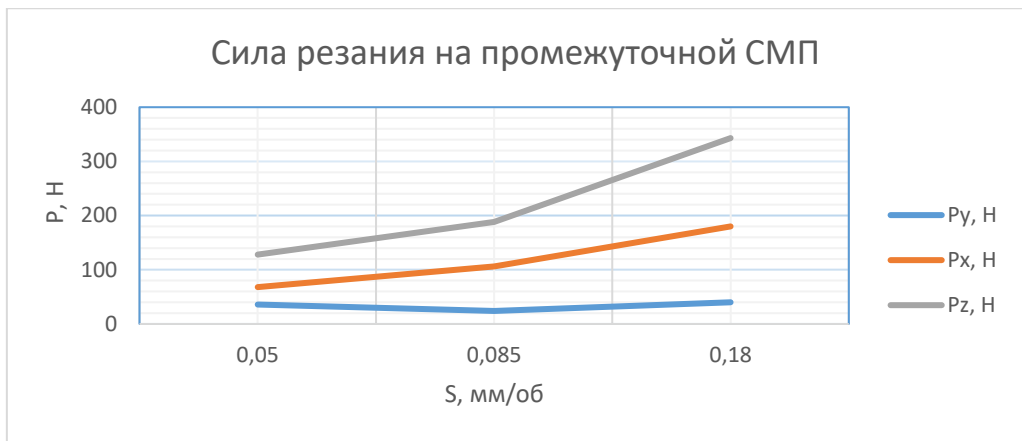


Рисунок 32 Зависимость составляющих сил резания на промежуточной СМП от скорости подачи

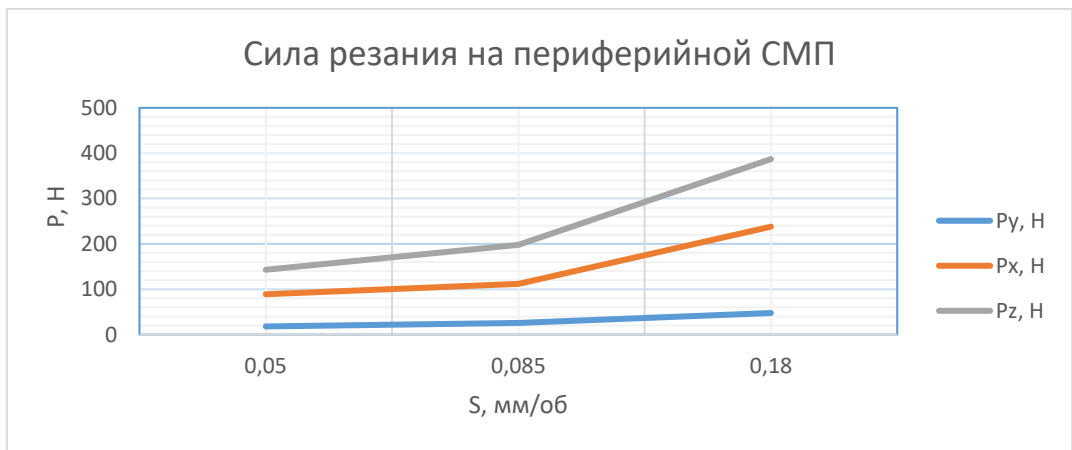


Рисунок 33 Зависимость составляющих сил резания на периферийной СМП от скорости подачи

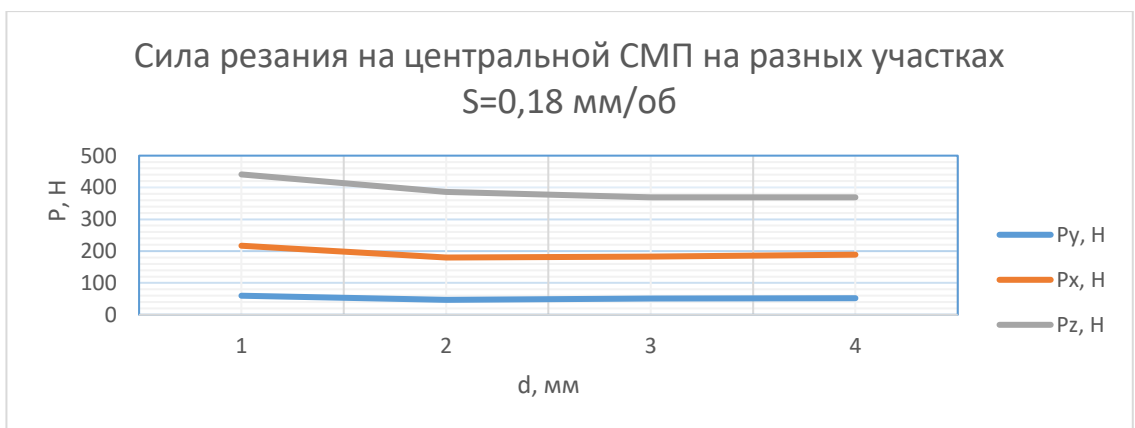


Рисунок 34 Зависимость составляющих сил резания на центральной СМП от скорости подачи на разных участках пластины

При сравнении составляющих силы резания, полученных в настоящей работе, с силами, полученными в работе, где эксперимент проводился без применения СОЖ, можно заметить существенное различие величин составляющих силы резания на центральной и промежуточной пластине. В Таблица 14 приведено сравнение отклонений значений сил в процентах, где  $P_{xyz}$  – составляющие силы резания, полученные в настоящем эксперименте, а  $P_{0xyz}$  – составляющие силы резания, полученные в прошлом эксперименте.

Таблица 14 Сравнение значений сил разных экспериментов

Центральная СМП									
Подача, мм/об	y, Н	y <sub>0</sub> , Н	Отклонение, %	x, Н	x <sub>0</sub> , Н	Отклонение, %	z, Н	z <sub>0</sub> , Н	Отклонение, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	24	44,4	45,98%	96	105,6	9,07%	166	248,3	33,13%
0,085	30	51,7	41,96%	124	115,8	7,07%	227	272,2	16,61%
0,1	32,8	54,8	40,18%	130,2	120,2	8,29%	251,2	282,5	11,07%
0,18	47	71,4	34,17%	180	143,6	25,35%	386	337,3	14,44%
Промежуточная СМП									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	36	7	414,29%	68	89,5	24,02%	128	161,4	20,69%
0,085	24	8,1	195,05%	106	132	19,67%	188	237,4	20,80%
0,1	33	9,7	240,57%	113,8	149	23,64%	211,4	275,7	23,31%
0,18	40	8,2	387,80%	180	250,4	28,12%	343	427,5	19,77%
Периферийная СМП									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	18	19,2	6,25%	89	77,4	14,99%	143	154,4	7,38%
0,085	26	26,5	2,05%	112	124	9,65%	198	226,7	12,65%
0,1	29,4	31,8	7,56%	140,4	149	5,76%	233,2	263,6	11,55%
0,18	47,6	40,6	17,24%	238	236,2	0,76%	387	406,3	4,75%

Ниже приведены графики сравнения сил резания, полученных в двух сериях экспериментов.

Толстой линией проведены графики более данного эксперимента, тонкой – предыдущего эксперимента.

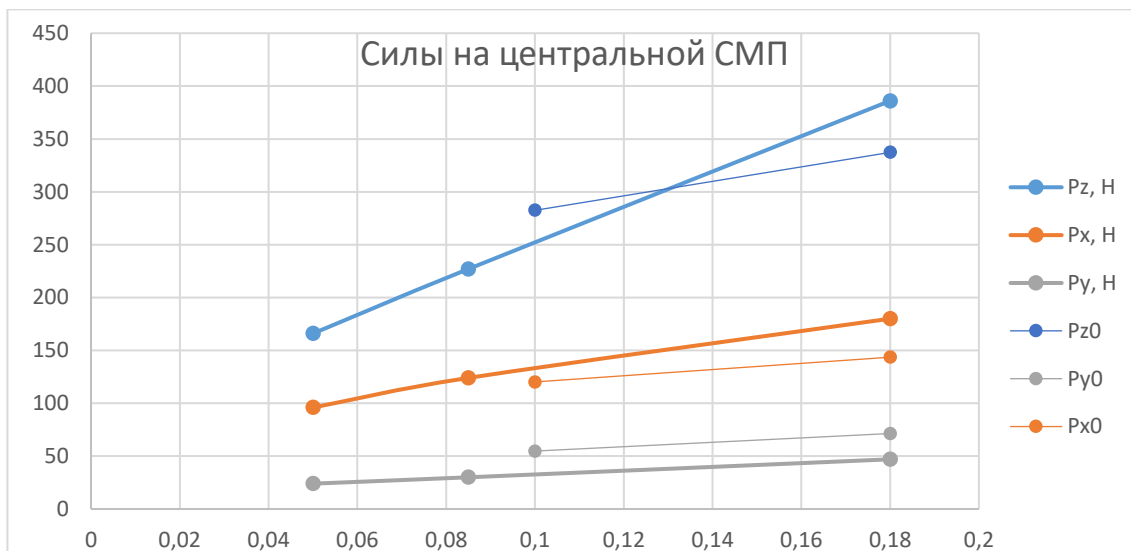


Рисунок 35 Зависимость составляющих сил резания на центральной СМП от скорости подачи в двух сериях экспериментов

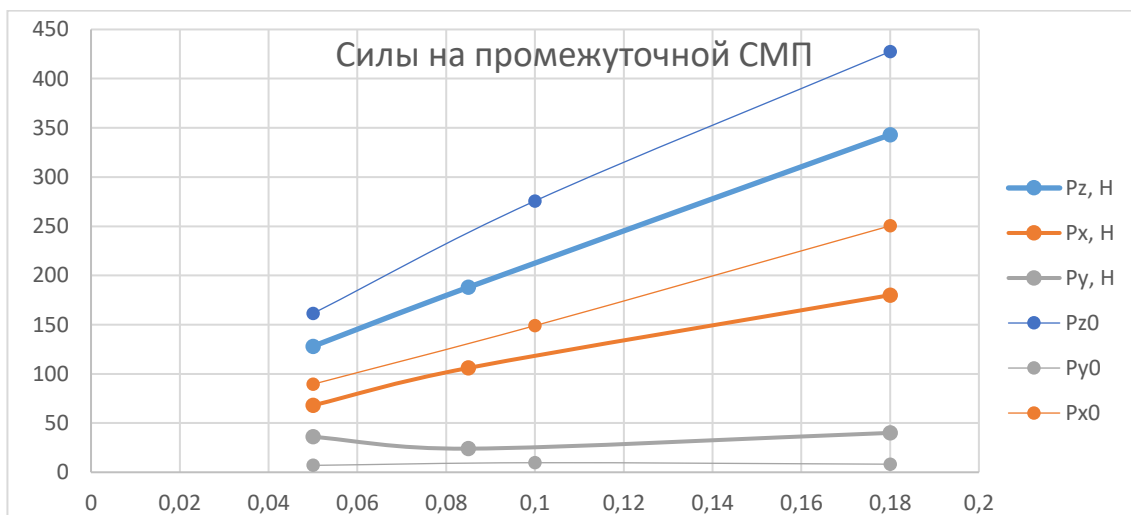


Рисунок 36 Зависимость составляющих сил резания на промежуточной СМП от скорости подачи в двух сериях экспериментов

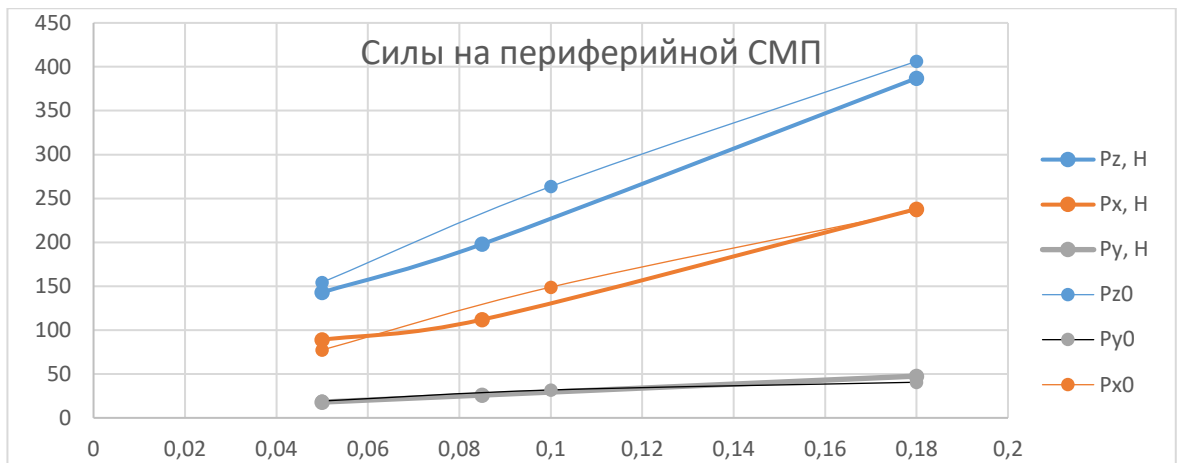


Рисунок 37 Зависимость составляющих сил резания на периферийной СМП от скорости подачи в двух сериях экспериментов

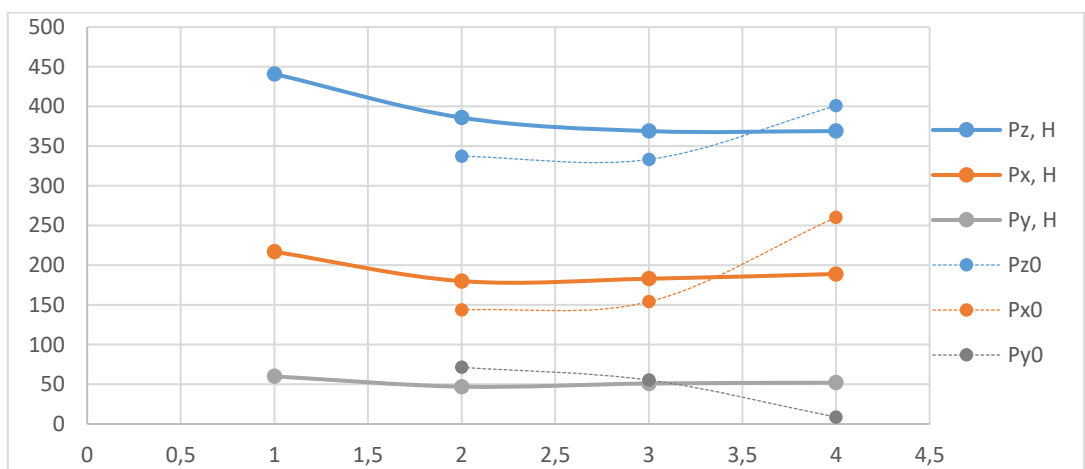


Рисунок 38 Зависимость составляющих сил резания на центральной СМП от скорости подачи на разных участках СМП в двух сериях экспериментов

На Рисунок. 39 представлен график зависимости  $P_z$  от  $f(S)$  на трех радиусах:  $R=2$  мм;  $R=7,1$  мм;  $R=12,3$  мм.

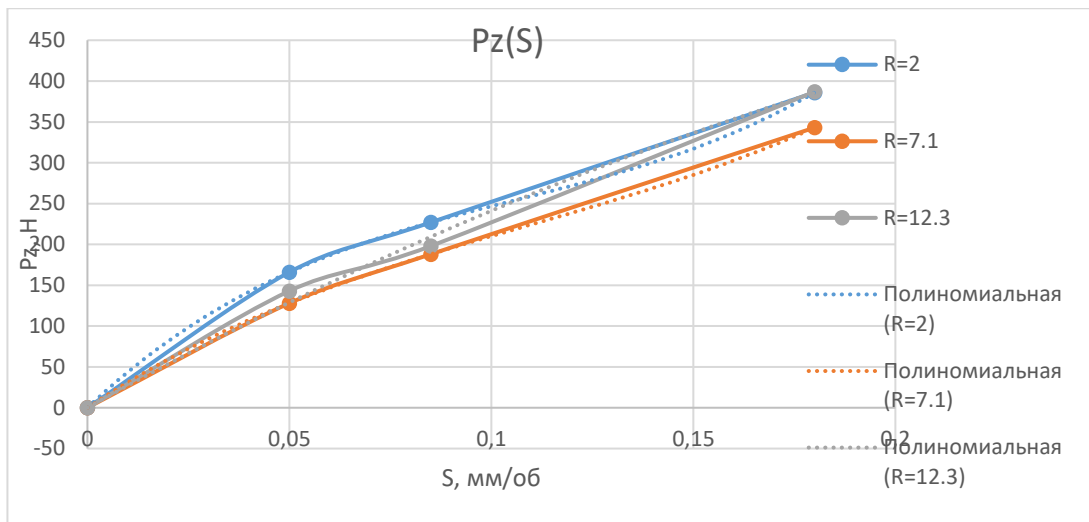


Рисунок. 39 Зависимость составляющей силы резания Pz от скорости подачи s.

Как видно из графика, значения  $Pz^*$  на каждом радиусе находятся близко друг к другу в любой точке оси абсцисс.

Пренебрегая небольшим несовпадением этих кривых, можно сделать вывод о том, что значения составляющих сил резания имеют одинаковую величину вне зависимости от радиуса обработки. Это означает, что можно ввести понятие удельной силы резания для единичного участка режущей кромки. Нужно отметить, что для каждой подачи необходимо отдельно рассчитывать удельную силу. Но таких расчётов будет незначительное количество, так как каждая модель инструмента должна работать на определённой скорости подачи для соблюдения условий надежного ломания стружки. Вычисление данного параметра позволит значительно упростить и ускорить разработку конструкции сверлильной головки БТА. Ниже представлены расчеты удельных сил.

$$q_n = \frac{P_n}{l},$$

где  $P_n$  – значение составляющей силы резания,

$l$  – отрезок/участок режущей кромки, к которому приложена сила.

\* Аналогичные графики для  $P_y$  и  $P_x$  составляющих см. в приложении 2

Для  $P_z$  и  $P_y l = 1$  мм, криволинейностью линии реза можно пренебречь. Результаты расчетов представлены в Таблица 15.

Таблица 15 Интенсивности составляющих сил резания

Составляющая силы резания	Величина, Н	q, Н/мм
$P_x$	199,33	199,33
$P_y$	44,87	44,87
$P_z$	372,00	372,00

Графики для трех разных СМП не совпадают и, в этом плане, не очень информативны о взаимосвязи величины силы резания и радиуса измерения. Для большей информативности далее будет введена поправка на радиус резания для графиков  $P_x$  и  $P_z$ . Для  $P_y$  данные измерены с большой погрешностью, поэтому их нельзя использовать.

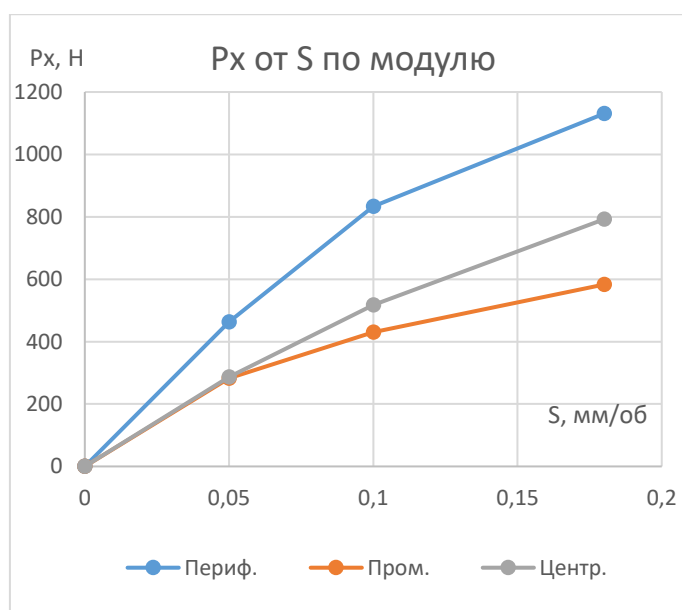


Рисунок. 40



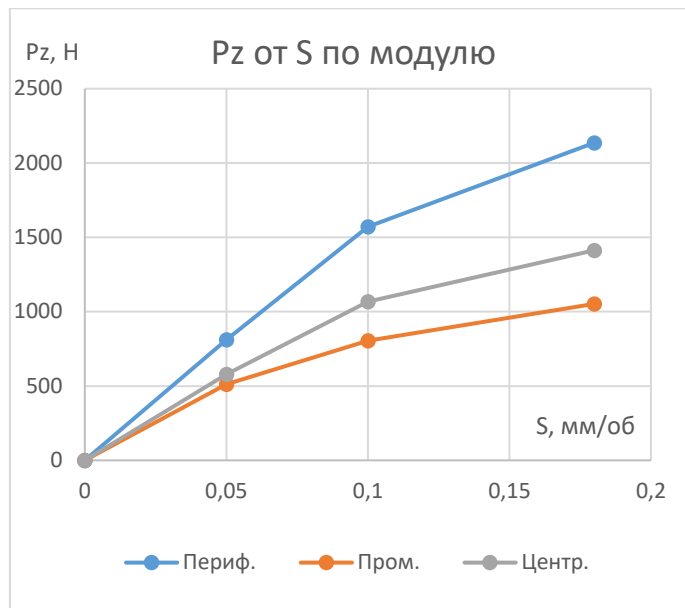


Рисунок. 41

Далее, получив первое подтверждение независимости величины силы резания от радиуса измерения, перестроим кривые для промежуточной и центральной СМП следующим образом. Предположим, что разное положение кривых на графиках выше обусловлена тем, что СМП имеют разную длину активной режущей кромки, который необходимо определить с учетом перекрытия режущих кромок, порядка врезания и наличия скругленных участков режущей кромки.

Зная длину этих участков для каждой режущей СМП, проведен пересчет сил для промежуточной и центральной СМП, иными словами, значения составляющих увеличены во столько раз, во сколько их кромки короче кромки периферийной СМП. На Таблица 16 приведены длины рабочих зон режущих кромок и поправочный коэффициент, который рассчитан по следующей формуле:

$$k_a = \frac{L_n}{L}, \text{ где}$$

$L_n$ - Длина рабочей зоны режущей кромки периферийной СМП;

$L$  - Длина рабочей зоны режущей кромки периферийной СМП.

Таблица 16 Поправочный коэффициент

СМП	Длина рабочей части кромки, мм	$k_a$
Периферийная	7,4	1
Центральная	5,1	1,451
Промежуточная	3,91	1,893

Далее производится поправка на вычисленные выше коэффициенты. Результаты расчетов приведены в Таблица 17.

Таблица 17 Поправка  $P_x$  составляющей силы резания

S	Величина сил без поправки, Н			Величина сил с поправкой, Н		Различие с исходными значениями, %	
	Периферийная СМП, Н	Промежуточная СМП, Н	Центральная СМП, Н	Промежуточная* $k_a$	Центр* $k_a$	$\Delta$ пром	$\Delta$ центр
0,05	462,8	282,1	286,6	533,8977	415,851	15,4	-10,1
0,1	833,4	430,2	517,4	814,1893	750,7373	-2,3	-9,9
0,18	1130,7	582,9	792,1	1103,187	1149,322	-2,4	1,6

Таблица 18 Поправка  $P_z$  составляющей силы резания

S	Величина сил без поправки, Н			Величина сил с поправкой, Н		Различие с исходными значениями, %	
	Периферийная СМП, Н	Промежуточная СМП, Н	Центральная СМП, Н	Промежуточная* $k_a$	Центр* $k_a$	$\Delta$ пром	$\Delta$ центр
0,05	811,3	512,2	579,1	969,3811	840,2627	19,5	3,6
0,1	1571,1	805	1068,3	1523,529	1550,082	-3,0	-1,3
0,18	2136,2	1052,5	1413,1	1991,944	2050,38	-6,8	-4,0

На основе полученных данных, строится график  $P(S)$ . В итоге получается три почти совпадающие кривые, как для  $P_z$ , так и для  $P_x$  (см. Рисунок. 42,

Рисунок. 43), что очень наглядно показывает и подтверждает вывод об отсутствии влияния радиуса на составляющие силы резания.

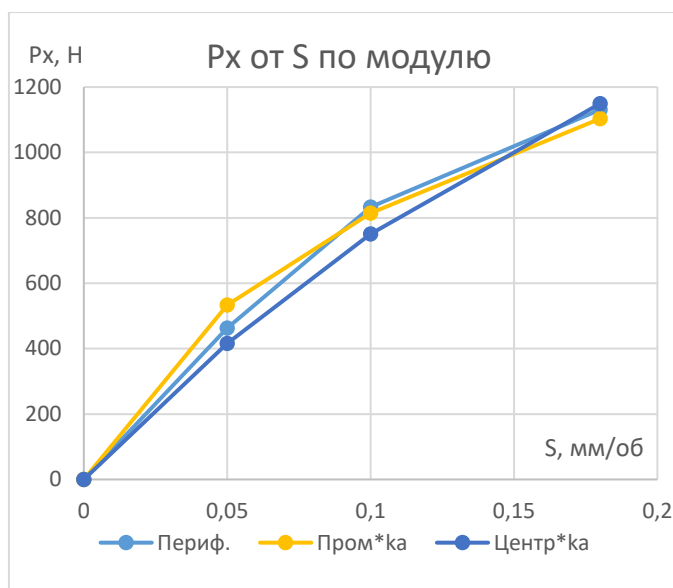


Рисунок. 42

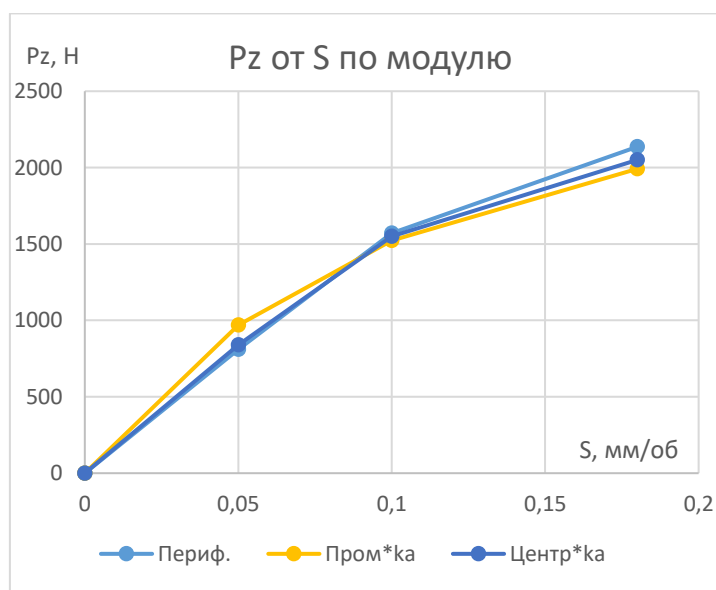


Рисунок. 43

#### 4.4 Точность экспериментальных данных

Точность данных можно повысить путем проведения большего числа экспериментов, так как при наличии большего количества материала для анализа, будет возможность более точно выявить зависимости составляющих сил резания за счет исключения данных, которые возникли в результате случайности и имеют значительное отклонение от средних значений.

Также точность данных повысится за счет более точной настройки диапазонов измерения динамометра, так как при использовании диапазона измерения близкому к измеряемому значению измерения выполняются точнее. Составляющие силы резания  $R_x$  и  $R_y$  имеют средние значения, которые значительно меньше диапазона измерения динамометра, выбранного с учетом максимальной действующей величины  $R_z$ , поэтому для более точного измерения этих составляющих необходимо повторять эксперимент с теми же условиями резания, но с меньшим диапазоном измерений для каждой составляющей силы резания.

В дополнение к этому, необходимо внести поправки на следующие факторы или же устранить их:

1. Разная конструкция заготовок.
2. Разные температурные условия проведения экспериментов.
3. Наличие СОЖ.
4. Образование нароста.
5. Разность скоростей резания в двух точках.

#### 4.4.1 Разная конструкция заготовок

В схеме эксперимента из предыдущего исследования применялись заготовки разного диаметра для каждой режущей пластины. В новой схеме использовался один и тот же образец для каждой СМП.

Из-за разной конструкции заготовок, жесткость системы была разная на каждой СМП. В нынешнем эксперименте жесткость конструкции была одинаковой.

Данный фактор не влияет на различие сил существенно.

#### 4.4.2 Разные температурные условия экспериментов

Эксперименты проводились в разных температурных условиях, при проведении экспериментов была разная температура помещения, это температурные деформации и изменения механических свойств материалов могли повли-

ять на процесс работы станка и процесс резания. Однако, в процессе проведения экспериментов, происходило повышение температуры как в зоне резания, так и в узлах используемого оборудования до таких значений, что разница температур при проведении сравниваемых экспериментов становится незначительной. Следовательно, этот фактор не влияет выходные данные в должной мере.

#### 4.4.3 Наличие СОЖ

В прошлом эксперименте СОЖ не применялась, в отличие от настоящего эксперимента. Из-за использования СОЖ происходило охлаждение зоны резания, инструмента и стружки. Вдобавок исключалась адгезия между заготовкой и инструментом. Также значительно уменьшилось трение между инструментом и стружкой. Из-за всего этого условия стружкообразования более благоприятные, стружка становится менее пластичной, а значит, не будет образовываться сливная стружка.

Это один из факторов, которые сильнее всего влияют на данные, полученные в ходе эксперимента.

#### 4.4.4 Образование нароста

Обработка средней и центральной пластиной проводилась в зоне наростобразования, то есть скорость резания была такой, при которой происходило активное образование нароста на передней поверхности. Из-за этого происходило изменение углов резания, что могло повлиять на результат измерений, составляющих силы резания. Но в новом эксперименте скорость резания рассчитана так, чтобы она совпадала со скоростью для данного радиуса и, соответственно, она совпадала со скоростью из прошлого эксперимента. При этом скорости прошлого эксперимента не всегда были выше скоростей нового эксперимента. Следовательно, этот фактор несущественно повлиял на полученные данные.

#### 4.4.5 Разность скоростей резания

В эксперименте с разными заготовками разница в скоростях резания более ощутима в крайних точках зоны резания на средней и центральной режущей пластине (см. Рисунок. 44). В то время как в новом эксперименте разница скоростей несущественна.

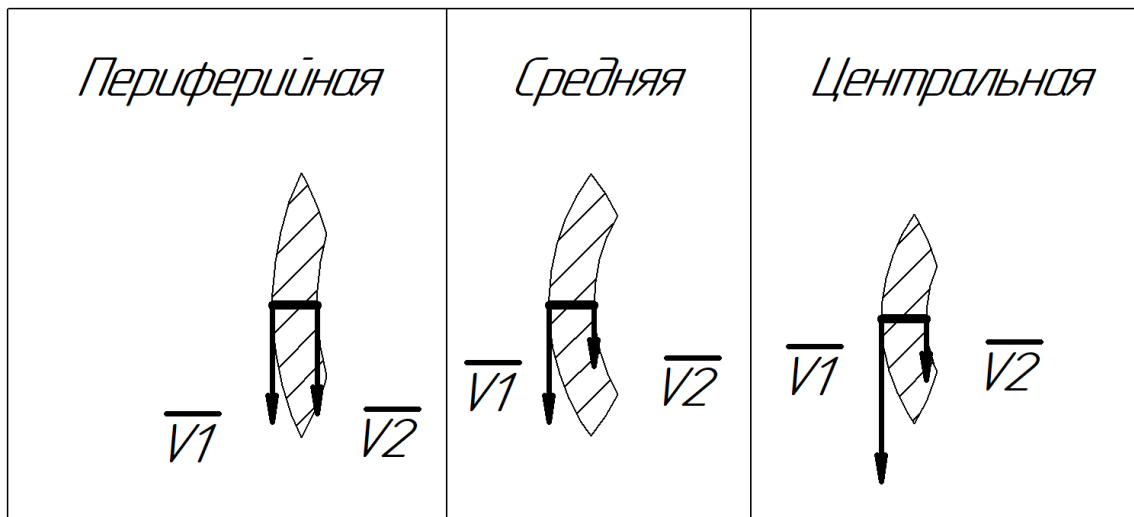


Рисунок. 44 Схема различия скоростей на краях зоны резания.

В этом случае при переходе от периферийной СМП к промежуточной и далее к центральной происходит переход от практически прямоугольного резания к косоугольному. При этом к нормальному напряжению на режущей части инструмента добавляется касательное напряжение. А это означает, что при проведении эксперимента по новой схеме меняются условия, резание становится менее косоугольным. Причем это изменение сильнее при перемещении от периферийной пластины, к центральной.

Силы резания при косоугольном резании выше, что и наблюдается в результатах старых экспериментов по сравнению с новыми данными.

## 5 Вывод

В ходе работы было произведено измерение составляющих сил резания по новой схеме, также был произведен анализ полученных данных.

Использованная схема проведения эксперимента позволила получить значения составляющих силы резания на участках режущей кромки малого радиуса, что выгодно ее отличает от схемы эксперимента, приведенного в предыдущей работе.

Также для того, чтобы провести обработку каждой СМП были использованы образцы единой конструкции, в отличие от схемы эксперимента, описанного в предыдущей работе, где использовались образцы разного диаметра для каждой СМП. Это позволило значительно сократить трудоемкость изготовления образцов, а также сделало процесс проведения эксперимента быстрее и удобнее, так как затраты времени на перезакрепление образцов значительно сократились.

При анализе полученных данных было выявлено, что сила резания не зависит от диаметра измерения. Это позволило ввести понятие удельной силы или же интенсивности силы резания. Этот факт позволяет упростить дальнейшие исследования и ускорить процесс конструирования, так как при известной зависимости  $P(S)$  достаточно будет определить рекомендованную скорость подачи, которая зависит от конструкции СМП, и выполнить расчет сил, действующих на режущие кромки и на поверхности направляющих. Расчет неуравновешенной радиальной составляющей силы сверления в этом случае выполняется быстрее и позволит определить требуемое положение как режущих, так и направляющих пластин с точки зрения обеспечения равномерной стойкости к изнашиванию.

В дополнение к этому, при известных удельных силах, которые прикладываются к инструменту, не только упрощается конструирование, но и позволяет значительно упростить и ускорить расчеты в САЕ системе, например, ANSYS, из-за того, что можно просто приложить силу к модели баз настройки

условий контактирования инструмента и заготовки. Ибо контактирование двух тел забирает очень много вычислительной мощности у ЭВМ.

Для дальнейшего повышения точности измеряемых данных необходимо провести больше серий экспериментов. Также необходимо произвести для каждой составляющей силы резания более точные настройки диапазона измерений, это не составит труда так как в этом исследовании были получены графики, по которым возможно определить амплитуду колебаний сил.

Также при анализе данных были выявлены факторы, которые могут влиять на результат измерений, при их устранении или введения поправки на них, возможно получить еще более точные данные.



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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ92	Мезеру Илье Андреевичу

Школа	ИШНТП	Отделение Школа	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01.«Машиностроение»

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

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

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

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

**Перечень графического материала**

Оценка конкурентоспособности ИР  
Матрица SWOT  
Диаграмма Ганта  
Бюджет НИ  
Основные показатели эффективности НИ

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Мезеру Илье Андреевич		22.02.21

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### Введение

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

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью магистерской диссертации – усовершенствование конструкции сверлильной головки ВТА с точки зрения равнопрочности.

#### 6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

##### 6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются машиностроительные предприятия, специализирующиеся на производстве режущего инструмента. Данное исследование может применить любое отечественное предприятие, так как на данный момент нет актуальных исследований по этой теме, и в Российской Федерации нет предприятий, которые изготавливают такого рода инструмент.

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования был рассмотрен прототип сверлильной головки ВТА с позиции равнопрочности. То есть были измерены составляющие сил резания, проанализировано распределение сил на сменные многогранные пластины (СМП) и их износ. Предлагается расположить СМП таким образом, чтобы их износ был равномерным. Таким образом, получится дольше сохранить высокое качество обработанной поверхности и точность размера отверстия.

В настоящем исследовании применялась измененная методика экспериментов. То есть ранее были произведены схожие эксперименты, но условия были менее приближены к реальным условиям работы эксперимента. В таблице 19 показано сравнение методик ранних экспериментов и методики экспериментов данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 19 Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	5	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности						
1. Актуальность исследования	0,2	5	4	4	1	0,8
2. Наличие СОЖ	0,2	5	1	5	1	0,2
3. Отвод пульпы	0,21	4	2	3	0,84	0,42

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	5	6	7
4. Жесткость системы	0,2	4	2	4	0,8	0,4
5. Погрешность диаметра	0,05	3	2	2	0,15	0,1
Экономические критерии оценки эффективности						
1. Цена изготовления	0,06	4	3	4	0,24	0,18
2. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,4	0,32
Итого	1	30	18	26	4,43	2,42

Расчет конкурентоспособности, на примере жесткости, определяется по формуле:  $K = \sum V_i * B_i$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

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

### 6.1.3 SWOT-анализ

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

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 20.

Таблица 20 Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Отечественная разработка	Сл2. Необходимость множества экспериментов для получения достоверных данных.
С3. Износ СМП происходит более благоприятно.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ.	У1. Долгий срок разработок.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Зарубежные аналоги по более низкой цене.
В3. Внедрение технологии в нефтегазовую области.	
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 21–24.

Таблица 21 Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>				
<b>Воз- можности проекта</b>		C1	C2	C3
	B1	-	-	-
	B2	+	+	-
	B3	+	+	-
	B4	0	+	-

Таблица 22 Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Воз- можно- сти про- екта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	+	+	-+
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 23 Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>				
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3
	У1	0	+	-
	У2	+	0	+

Таблица 24 Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>							
<b>Угрозы проекта</b>		Сл 1	Сл 2	Сл 3	Сл 4	Сл 5	
	1	У	+	+	+	+	+
	2	У	-	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 25.

Таблица 25 Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Низкая цена исходного сырья.</p> <p>С2. Отечественная разработка</p> <p>С3. Износ СМП происходит более благоприятно.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Необходимость множества экспериментов для получения достоверных данных.</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p>
<b>Возможности</b>	<b>Направления развития</b>	<b>Сдерживающие факторы</b>

<p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.</p> <p>В3. Внедрение технологии в нефтегазовую область.</p> <p>В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж..</p>	<p>В2С1С2. Возможность появления спроса на инструмент глубокого сверления за счет импортозамещения.</p> <p>В3С1С2. Так как многие нефтегазовые компании ведут политику импортозамещения, то и спрос на данный инструмент должен расти.</p> <p>В4С2. Из-за того, что износ расходников, СМП, происходит равномерно, это несет в себе большое удобство использования. Это может привлечь потребителей за рубежом.</p>	<p>В1Сл2Сл3. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Долгий срок разработок</p> <p>У2. Зарубежные аналоги по более низкой цене.</p>	<p><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1С2. Несмотря на долгий срок разработок инструмента, он обладает такими качествами, какие не обладают аналоги.</p> <p>У2С1С3. Новый инструмент обладает лучшими параметрами, что является более привлекательным для потребителя.</p>	<p><b>Уязвимости:</b></p> <p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5</p> <p>После некоторого числа экспериментов будут известны основные зависимости, которые позволят проводить аналогичные исследования в САЕ системах.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что основным направлением развития исследования является его использование отечественными компаниями. Несмотря на высокие требования к оборудованию и экспериментам, имеется возможность уменьшения экспериментальных ошибок за счет большего количества итераций. Долгий срок разработки и исследований в конце компенсиру-



ется более высокими рабочими параметрами инструмента. Также после определенного этапа разработок и экспериментов будет возможность автоматизировать процесс расчетов, а эксперименты проводить в симуляции, что позволит сократить время и ресурсы на смежные исследования.

## 6.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 26.

Таблица 26 Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

## 6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{\text{к.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 27.

Таблица 27 Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	0	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	1,8	3	3	4

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		$t_{ож}$			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Обзор научной литературы	-	7	-	14	0	10	10	15
4. Выбор методов исследования	-	7	-	14	0	10	10	15
5. Планирование эксперимента	7	7	14	8	9,8	7	9,8	15
6. Подготовка образцов для эксперимента	7		10		8,2	0	8,2	12
7. Проведение эксперимента	1	1	3	3	1,8	2	2	3
8. Обработка полученных данных	0	10	0	15	0	12	12	18

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		$t_{ож}$			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. Оценка правильности полученных результатов	7	4	10	10	8,2	6	8,2	12
10. Составление пояснительной записки		8		14	0	10	10	15
Итого:	25	47	44	82	32,6	60	76	113

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



На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 28).

Таблица 28 Диаграмма Ганта

Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ														
			февр			март			апр			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█														
Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█														
Обзор научной литературы	Исп2	15		█													
Выбор методов исследования	Исп2	15			█												
Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	15					█										
Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	12							█								
Проведение эксперимента	Исп1 Исп2	3									█						
Обработка полученных данных	Исп2	18										█					
Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	12											█				

Вид работ	Исп	$T_{ki}$ кал. дн.	Продолжительность работ														
			февр			март			апр			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление пояснительной записки	Исп2	15															

*Примечание:*

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

### 6.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

#### 6.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при испытании сверлильной головки ВТА. Результаты расчета затрат представлены в таблице 29.

Таблица 29 Проведение экспериментов с прототипом сверла ВТА



Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Круг сталь 20	кг	10	55	550
Эмульсия СОЖ	л	20	5000	5000
Набор СМП	шт	1	14000	14000
Спец-одежда	шт.	2	700	1400
Очки защитные	шт.	2	250	500
<b>Итого:</b>				21450

### 6.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

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

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 30 Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Токарный станок Knuth V-Turn 410	1	10	0,07	10	1 813 250	1057,8
2	Динамометр kistler	1	10	0.07	10	700000	408,33
3	ЭВМ	1	3	0,5	33	50000	687,50
<b>Итого:</b>		2153,60 руб.					

### 6.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где  $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 29).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

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

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

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

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (4.11)$$

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

Таблица 31 Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 32 Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{\partialн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	32,6	70002
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	60	104586
Итого:								174588

#### 6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 70002 = 10500,3 \quad (4.12)$$

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 104586 = 15678,9 \quad (4.13)$$

- для инженера

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (70002 + 10500,3) = 24150,7. \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (104586 + 15678,9) = 36079,3 \quad (4.15)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

#### 6.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов

исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.16)$$

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

### 6.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 33 Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амор- тиза- ция	Сырье, матери- алы	Основная заработ- ная плата	Дополни- тельная за- работная плата	Отчисления на социаль- ные нужды	Итого без наклад- ных рас- ходов	Наклад- ные рас- ходы	Стои- мость бюджета
2153,6	21450	174588	26179,2	60230	284600,8	18214,51	302815,2 5

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ "Усовершенствование корпуса сверлильной головки ВТА с точки зрения равнопрочности".

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

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

#### 6.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета

(как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Методика с использованием образцов разного размера, без применения СОЖ;
- 2) Методика с использованием образцов одинакового размера, с применением СОЖ.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{исп.1}} = 302815,25$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 297495,25$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{297495,25}{302815,25} = 0,98;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{302815,25}{302815,25} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 2 (предыдущая методика) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

#### 6.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР ( $I_{ri}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 34).

Таблица 34 Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Помехоустойчивость	0,28	4	2
2. Энергоэкономичность	0,12	3	3
3. Удобство при экспери- ментах	0,22	5	3
4. Безопасность при произ- водстве	0,08	4	4
5. Затраты сырья	0,12	4	4
6. Экологичность производ- ства	0,18	3	3
ИТОГО	1	3,92	2,92

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,28 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,22 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 + 0,12 \cdot 4 + 0,18 \cdot 3 = 3,92$$

$$I_{p2} = 0,28 \cdot 2 + 0,12 \cdot 3 + 0,22 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 + 0,12 \cdot 4 + 0,18 \cdot 3 = 2,92$$

#### 6.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{3,92}{1} = 3,92, \quad I_{исп.2} = \frac{2,92}{0,98} = 2,98.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 35).

Таблица 35 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,92	2,92
3	Интегральный показатель эффективности	3,92	2,98
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,3

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 2 (прошлый проект). Наше исследование является менее ресурсоэффективным, но именно благодаря дополнительным ресурсам удалось результатов более близким к реальным условиям работы инструмента.



## 7 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 113 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 60 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 33 дня;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 302815,25 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР самой финансово невыгодной, по сравнению с предыдущими;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 3,92, по сравнению с 2,92;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 3,92, по сравнению с 2,98 является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM92	Мезер Илья Андреевич

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

Тема ВКР:

Проектирование корпуса сборной сверлильной головки БТА	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: образец сверлильной головки БТА.</p> <p>Область применения: обработка глубоких отверстий.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</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>– ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.04.2021),</li> <li>– ГОСТ 22615-77., ГОСТ 22902-78., ГОСТ EN 894-3-2012. Часть 3. Органы управления,</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 14738-2007. (VDT). Часть 2. Требования к производственному заданию.</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Часть 1. Взаимодействие с человеком.</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Часть 2. Дисплеи.</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Часть 3. Механизмы управления.</li> <li>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-отсутствие или недостаток естественного освещения;</li> <li>-повышенная или пониженная температура на рабочем месте;</li> <li>-повышенный уровень шума</li> <li>-испарения СОЖ при проведении экспериментов;</li> <li>-повышенный уровень вибрации;</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-подвижные части лабораторного оборудования</li> <li>-неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов</li> </ul>

<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– Выброс в атмосферу паров СОЖ, пыли, металлической пыли. Выброс отработанной СОЖ и масла в гидросферу. Загрязнение литосферы отходами производства (стружка, ветошь и т.д.)
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– Возникновение пожара

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>19.11.2019</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ92	Мезер Илья Андреевич		

## ВВЕДЕНИЕ

В данном разделе рассмотрены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности в лаборатории и на рабочем месте, приведены некоторые организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны. В дополнение к этому проанализированы возможные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при проведении экспериментов с прототипом сверлильной головки ВТА и предложены мероприятия по их предотвращению и устранению.

При проектировании рабочего места должны быть учтены освещенность, температура, шум, давление, наличие вредных или опасных веществ и другие санитарно-гигиенические требования, к организации рабочих мест.

Также следует обратить внимание на охрану окружающей среды, например, выброс вредных веществ в атмосферу и безотходное производство.

Данный анализ необходим для организации работ по проведению экспериментов с вышеупомянутым инструментом, пользователями разрабатываемого инструмента являются предприятия, которым необходима обработка глубоких отверстий, и рабочий персонал цеха, который принимает непосредственное участие в использовании. Лаборатория располагается в г.Томск, 16А корпус ТПУ.

Работа отвечает современным запросам, так как при ее выполнении используются актуальные нормативные документы, предлагаются современные средства по устранению или предотвращению возможных вредных факторов и чрезвычайных ситуаций.

## 8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

### 8.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Для обеспечения правильных и безопасных условий работы за лабораторным оборудованием, необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

1. ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
2. ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ EN 894-3-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления.
4. ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин. (VDT). Часть 2. Требования к производственному заданию.
5. ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком.
6. ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей.
7. ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 3. Механизмы управления.
8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

### 8.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Рабочее место должно удовлетворять общим эргономическим требованиям при работе сидя и стоя. При организации сидячего рабочего места необходимо учитывать антропометрические показатели работника. Оптимальное

положение рабочего достигается регулированием рабочей поверхности или кресла, на котором сидит работник. Высота рабочей поверхности зависит от характера работы, например, при тонких работах, таких как контроль размеров детали, высоту рабочего места следует сделать равной 835-905 мм, ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ.

На работе с лабораторным 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 920мм 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.

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

## 9 Производственная безопасность.

При анализе процесса экспериментов выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении и эксплуатации детали(см. Таблица 36).

Таблица 36

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+			1. СП 52.13330.2016[12] 2. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. [13] 3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. [14] 4. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. [15] 5. ГОСТ 12.3.002-2014 [16]
2. Превышение уровня шума				
3.Отсутствие или недостаток освещения	+			
4. Наличие в воздухе вредных веществ				

5. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов,				6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. [17] 7. СанПиН 2.2.4.548-96 [18]
6. Движущиеся твердые, объ-екты				

## 9.1 . Анализ вредных и опасных факторов

Сама по себе сверлильная головка ВТА не создает вредных и опасных факторов. Но так как сверло является частью станка, то при его работе возникают опасные и вредные факторы (см. Таблица 36).

### 9.1.1 Микроклиматические условия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

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

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице №[ГОСТ 12.1.005-88].

Основными причинами отклонений показателей микроклимата от нормы являются станки. А именно, работающие приводы подач и шпинделя. Также на отклонение параметров микроклимата влияет выделение тепла в процессе резания заготовки.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяются средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, в

частности используются жалюзи. В теплый период года предусмотрена защита от попадания прямых солнечных лучей. Также в цеху имеются кондиционеры, для поддержания необходимых условий.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Сложность работ операторов станков относится к категории средних. Допустимые значения микроклимата для этого случая приведены в Таблица 37.

Таблица 37

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 – 75	≤0,1
Теплый	средняя	20 – 28	15 – 75	≤0,1

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

#### 9.1.2 Уровень шума

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

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 15.2.4. 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.

### 9.1.3 Освещенность

Согласно СП 52.13330.2016 освещенность в помещении должна быть не менее 300 Лк. Размеры рабочего цеха составляют 10x16x3,5м.. 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 933x204x156мм.

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

$$h_n = H - h_c = 3,5\text{м} - 0,2 = 3,3\text{м}.$$

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

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

$L$ –расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) 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:

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

Количество светильников:

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{(16 - \frac{2}{3} \cdot 3,2)}{0,933 + 0,5} + 1 = 10,667 \approx 10$$

Общее количество светильников:

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

Светильники размещают в 3 ряда. В каждом ряду следует установить 10 светильников типа ОД мощность 30Вт и длиной 933 мм. Расстояние между светильниками 500мм. На Рисунок. 45 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:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_s \cdot Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,61} = 2164$$

Выбираем лампу ЛД 40Вт 2300лм.

Проверка выполнения условия освещенности:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{л.станд} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{л.станд}} \leq +20\%$$

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

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

Общая мощность освещения:

$$P = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ Вт}.$$

По расчетам предлагается следующий план освещения:

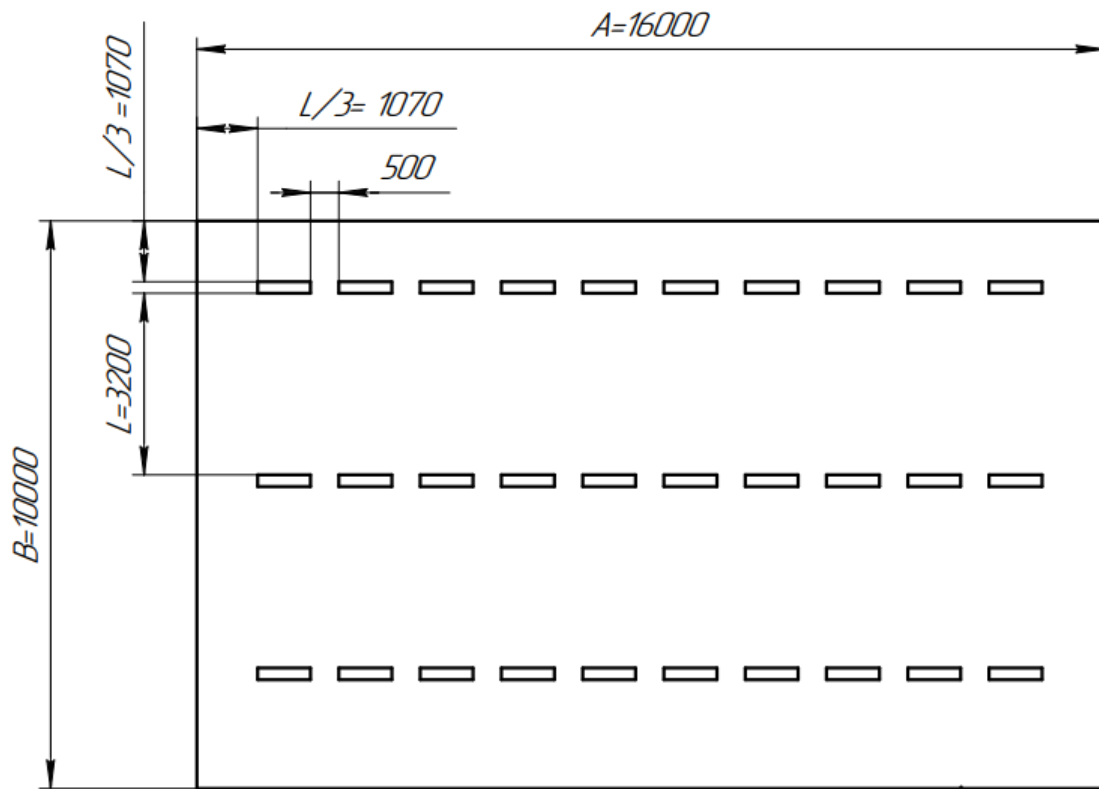


Рисунок. 45

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

#### 9.1.4 Вредные вещества

В процессе работы на станках ведется подача смазочно-охлаждающей жидкости(СОЖ). 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, газов до концентрации, не превышающей ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>.

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.

#### 9.1.5 Движущиеся части твердых веществ

При работе на станках возникает угроза получения оператором травмы при обдувке 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.

### 9.1.6 Неподвижные режущие, колющие и т.д. 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.

### 9.2 Экологическая безопасность.

При проведении экспериментов с прототипом сверла ВТА 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»

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/дистиляция)
- Отделение воды от СОЖ в центрифуге

Загрязнение литосферы происходит за счет выброса отходов механической обработки деталей, а именно стружки. Нормы выбросов регулируются **ПНООЛР**.

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

#### 9.2.1 Безопасность при ЧС

В любом рабочем цеху есть склад ГСМ, следовательно, есть опасность возникновения пожара.

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. 46), проводится инструктаж персонала, и помещения обеспечены порошковыми огнетушителями.

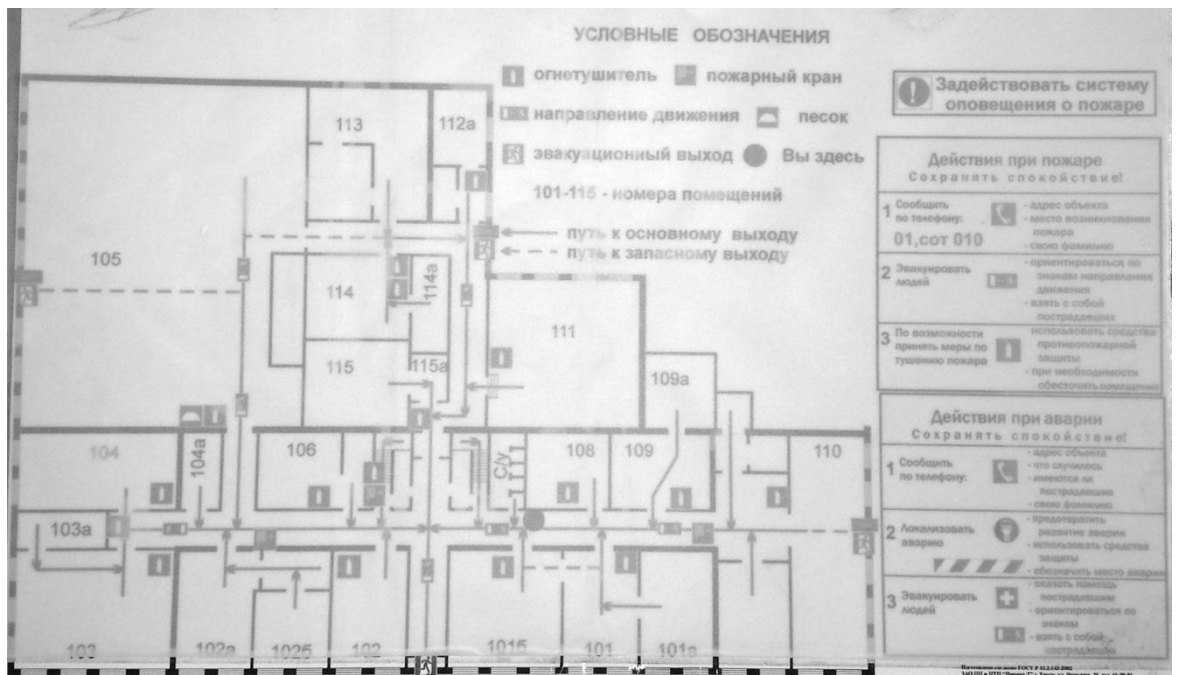


Рисунок. 46

## ВЫВОД

В ходе исследования места проведения экспериментов с прототипом инструмента было выявлено соответствие нормам следующих факторов: микроклимат, уровень шума, освещение, наличие в воздухе вредных веществ, неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов, движущиеся твердые, объекты.

Параметры микроклимата соответствуют нормативным документам и создают комфортные условия в цеху (см, Таблица 37).

В рабочем помещении имеются средства коллективной защиты для уменьшения содержания вредных веществ в воздухе. Содержание соответствует ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>.

Шум на рабочем месте соответствует нормам, 60 дБА.

Достаточная освещенность цеха реализуется преимущественно за счет искусственного освещения и составляет 300лк.

Для уменьшения вероятности травмирования оператора при работе летящей стружкой, движущимися частями станков, острыми кромками и заусенцами деталей, выдаются СИЗ: спецодежда, очки, перчатки. Также сама конструкция станков оберегает работника от получения вреда вышеуказанными факторами.



## 10 Приложение 1

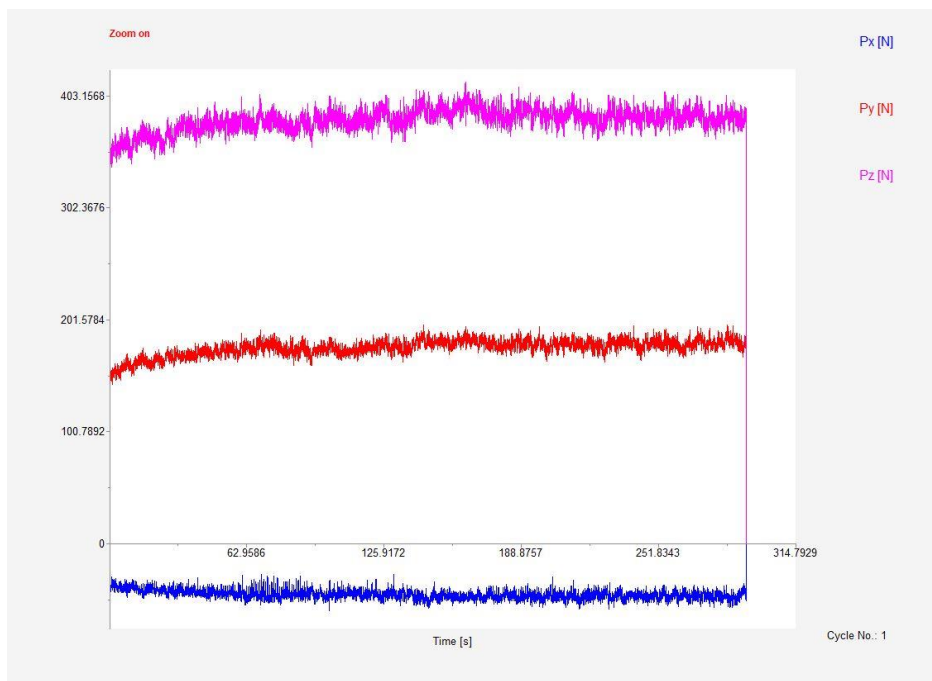


Рисунок. 47 обработка центральной пластиной при  $S=0.18$

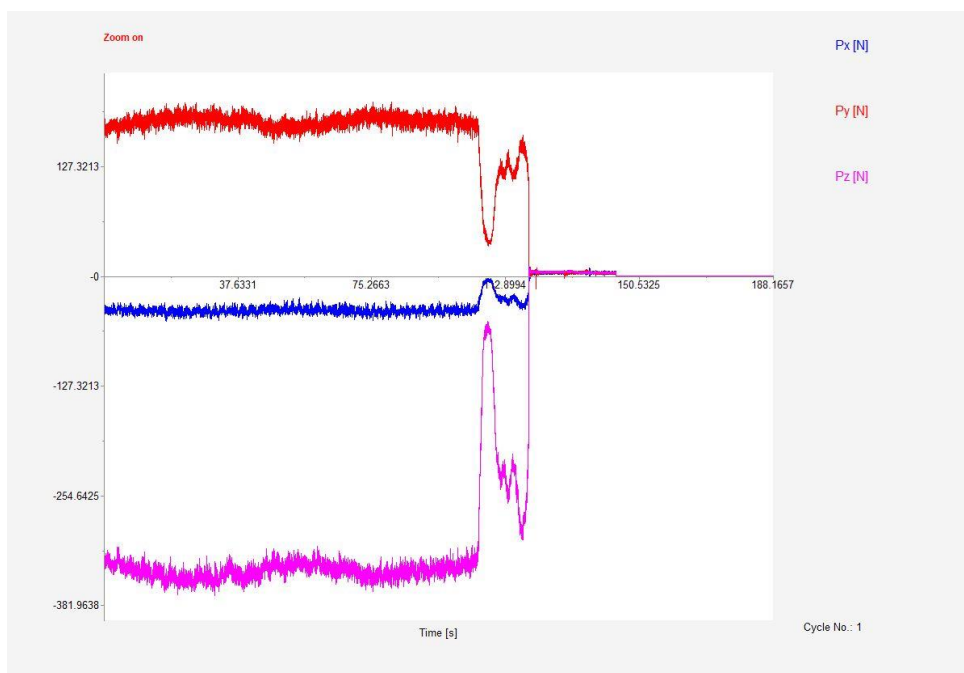


Рисунок. 48 Обработка промежуточной пластиной,  $S=0.18$

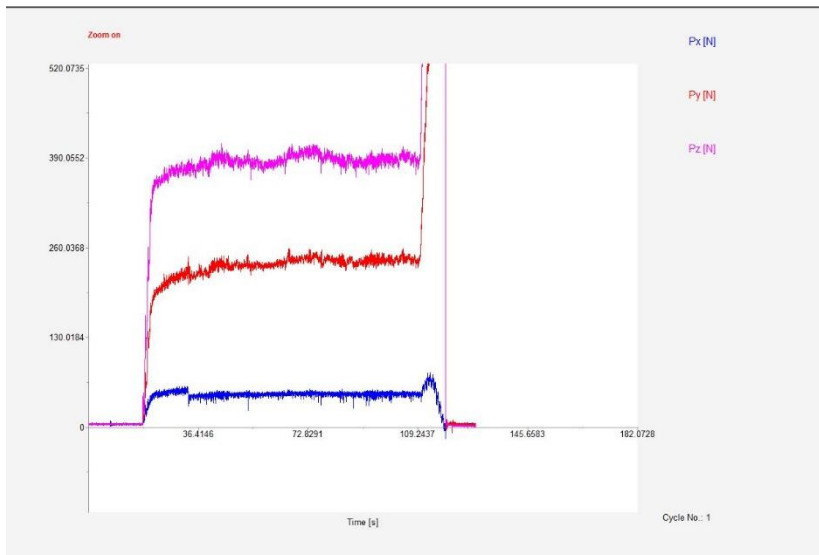


Рисунок. 49 Обработка периферийной пластиной,  $S=0.18$

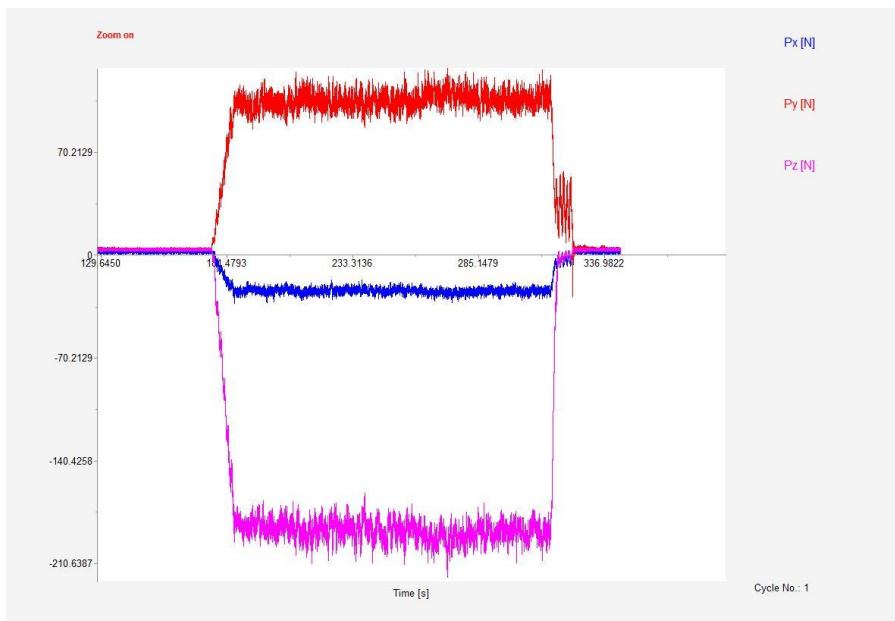


Рисунок. 50 обработка промежуточной пластиной,  $S=0.085$

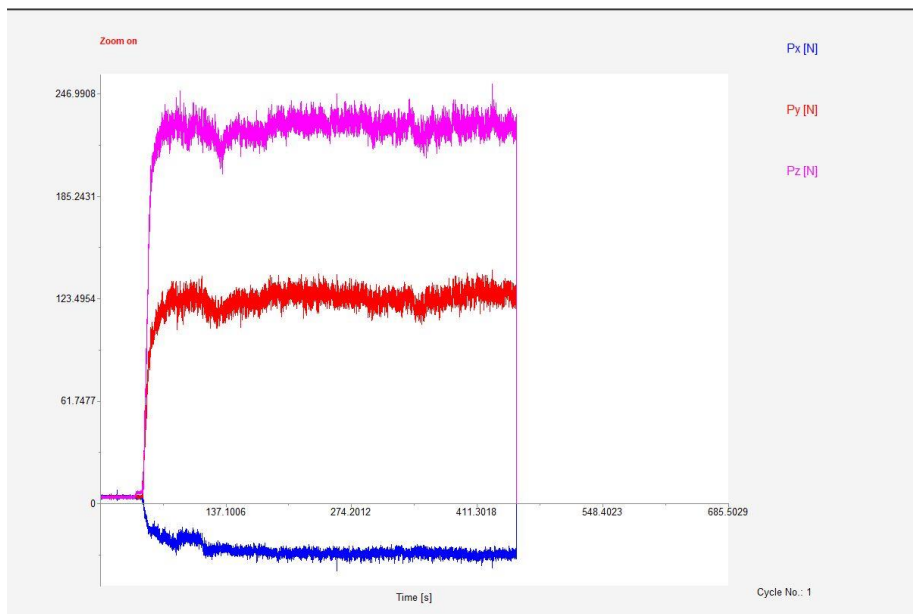


Рисунок. 51 Обработка центральной пластиной,  $S=0.085$

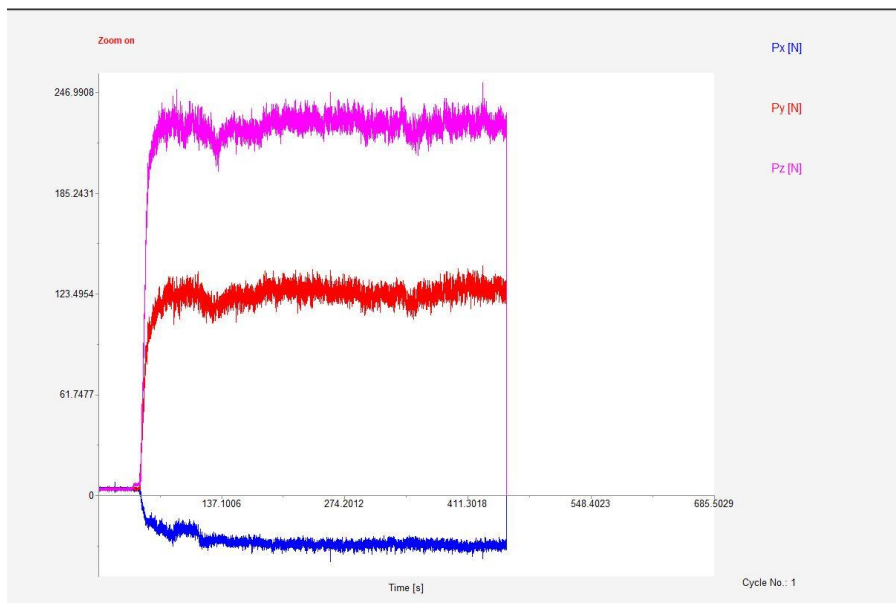


Рисунок. 52 Обработка центральной пластиной,  $S=0.05$

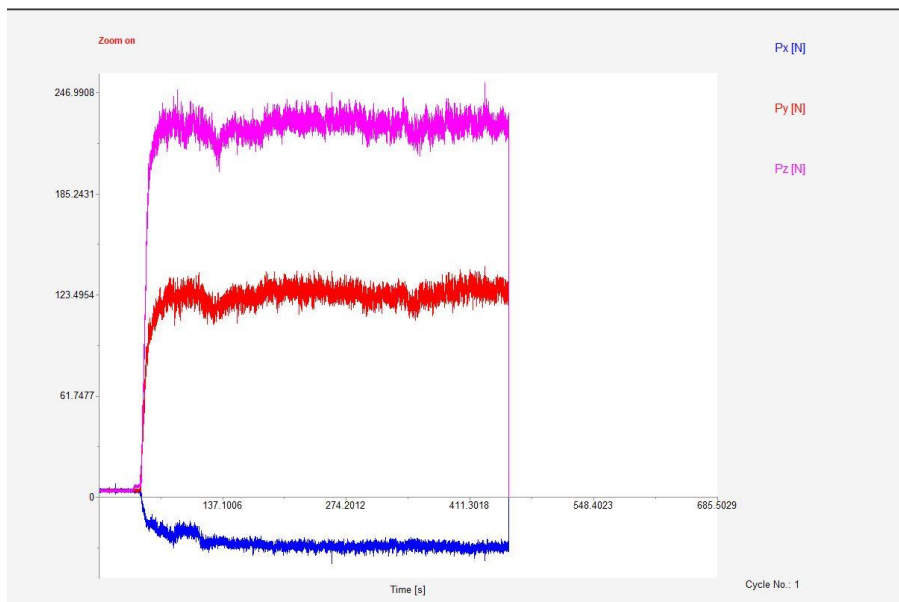


Рисунок. 53 Обработка промежуточной пластиной,  $S=0.05$

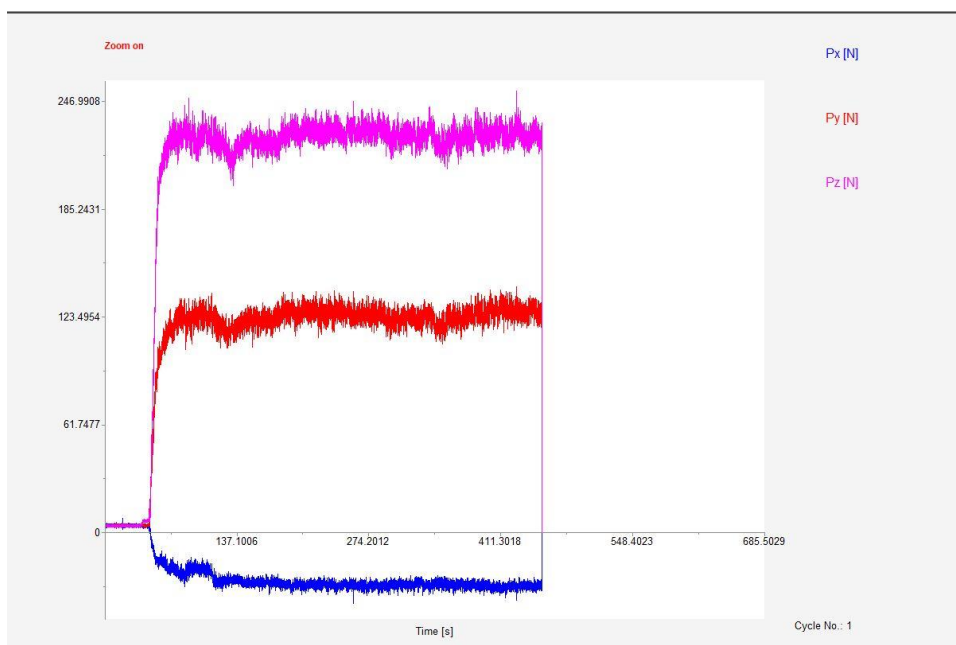


Рисунок. 54 Обработка периферийной пластиной,  $S=0,05$  об/мин

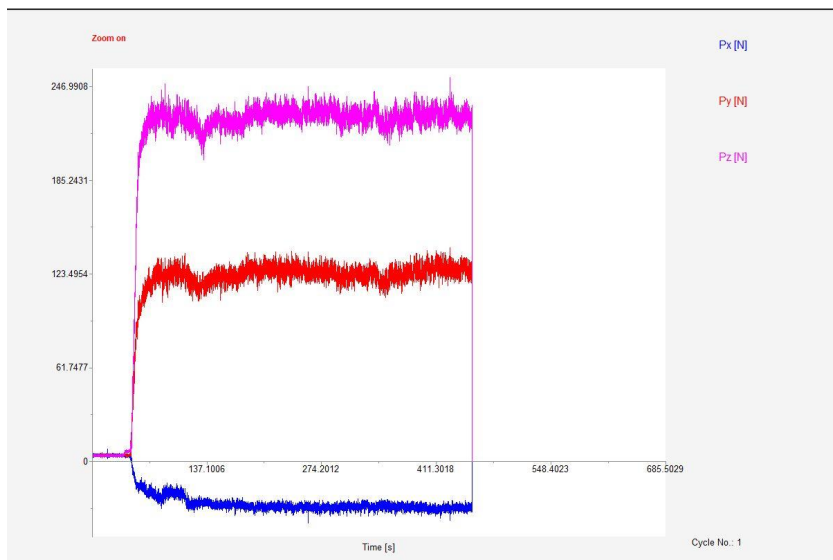


Рисунок. 55 Обработка центральной пластиной,  $d=1\text{mm}$ .

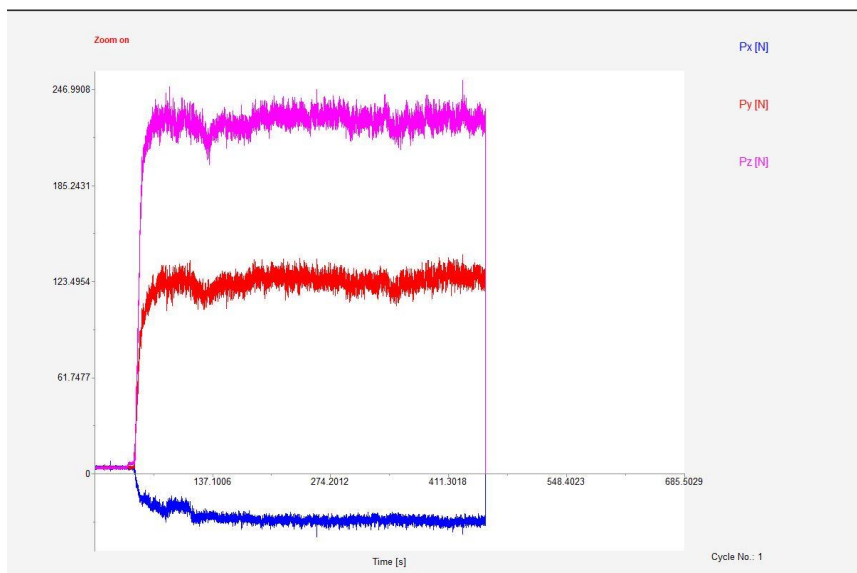


Рисунок. 56 Обработка центральной пластиной,  $d=3\text{mm}$ .

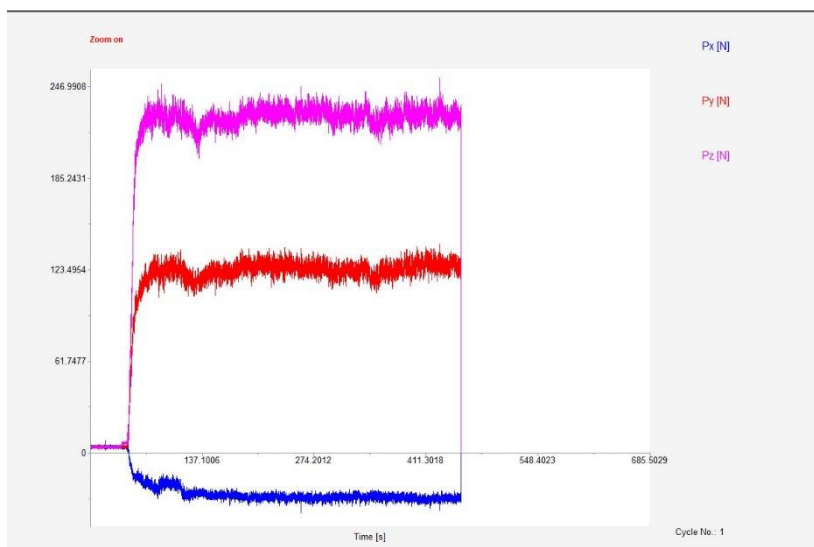


Рисунок. 57 Обработка центральной пластиной,  $d=4\text{mm}$

# 11 Приложение 2

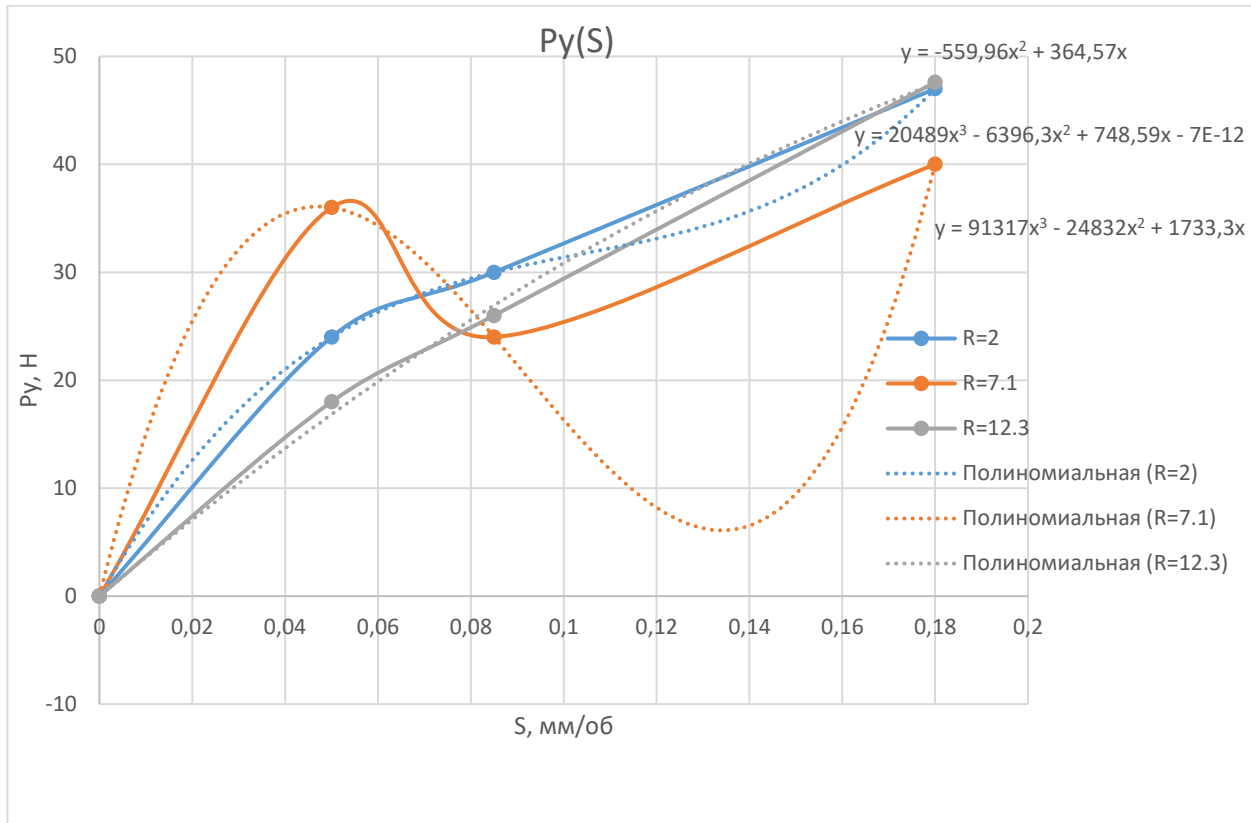


Рисунок. 58

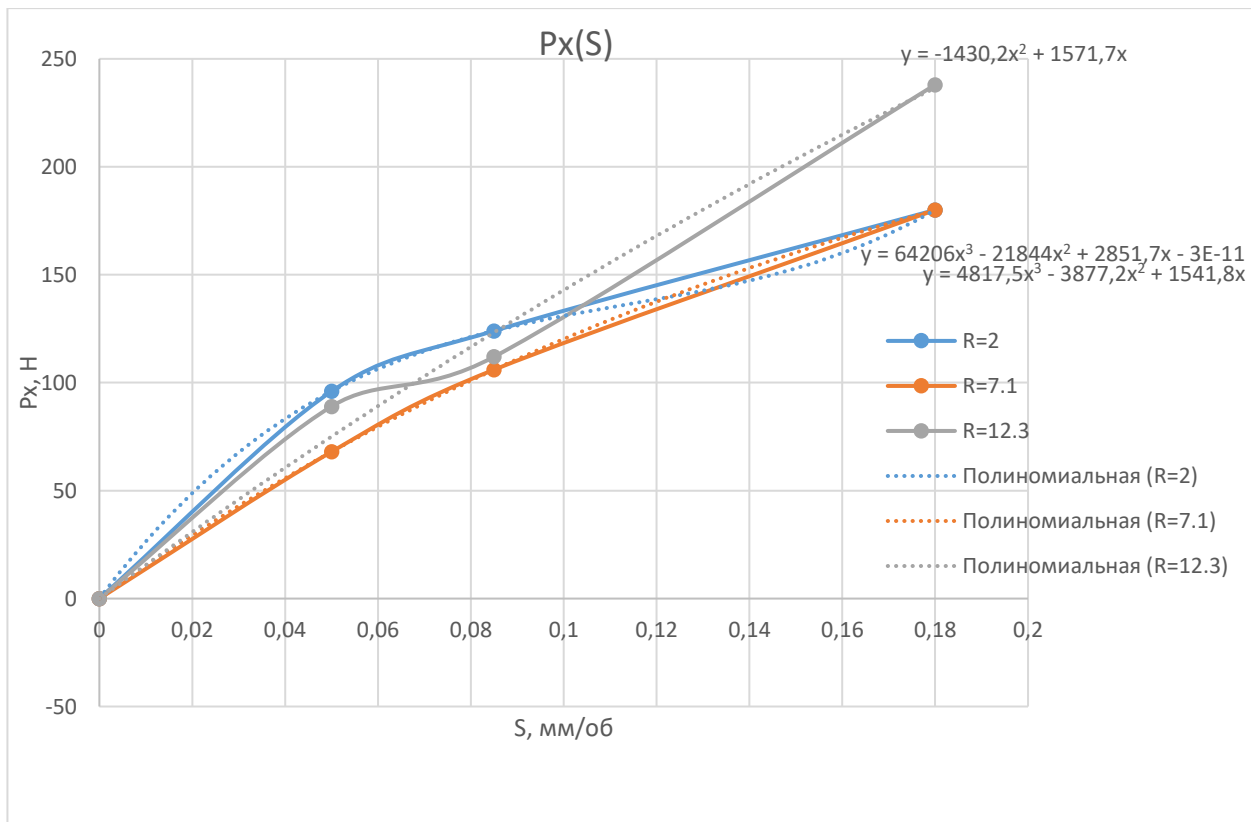


Рисунок 59

**Force system acting on BTA drill**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM92	Мезер И.А.		

Консультант ОМ ИШНПТ:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ким. А.Б.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
доцент	Айкина Т.Ю.		

In order to conduct research, it is necessary to draw up a force system for the instrument. There are two variants of the force system:

1. Force system presented as a harmonic system
2. Simplified force system

### Force system presented as harmonic system

According to [1] there is one variant of the force system. Рисунок 5 shows the drill head of a BTA drilling tool and forces which act on cutting edge and guiding pads.

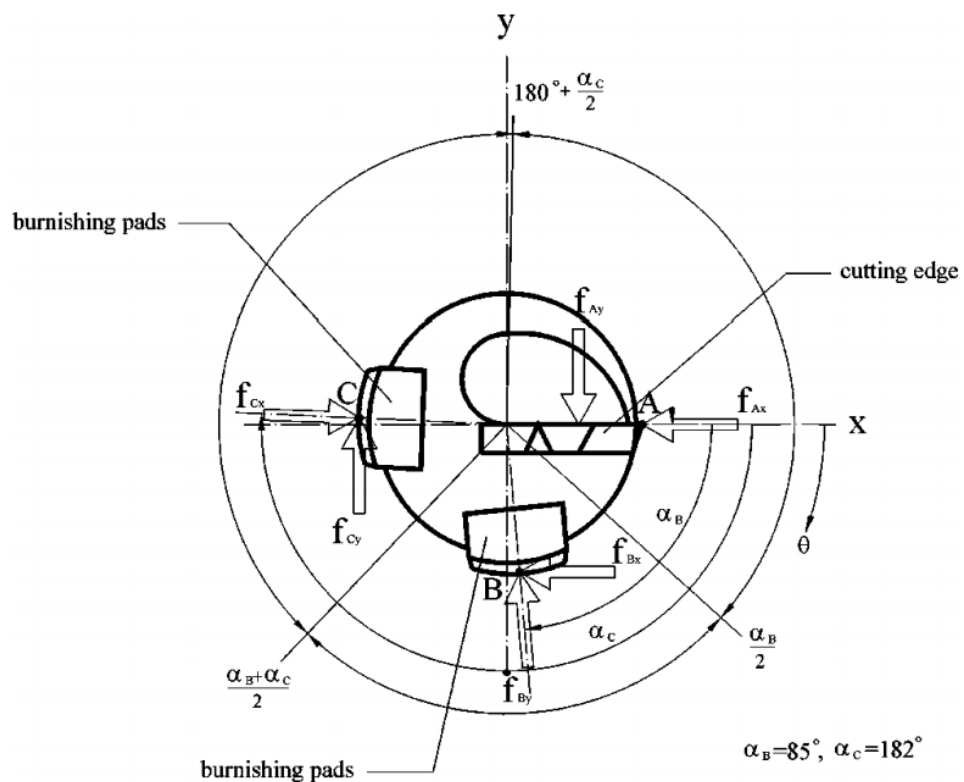


Fig. 60

The cutting force system includes forces from the cutting edge at point A and two burnishing pads at points B and C. The cutting force system is balanced in radial direction with machined hole surface, so the radial force  $f(t)$  on a tool can be expressed as:

$$f_t = f_A + f_B + f_C \quad (26)$$

, where

$f_t$  - net force;



$f_A$  - force applied to a point A;

$f_B$  - force applied to a point B;

$f_C$  - force applied to a point C.

In the selected method, the forces at points A, B, C are resolved into harmonic components. The method is different from the traditional one, where a force was represented as a vector acting on a certain point.

Matin and Rahman [2] were the first to express the force as a Fourier series. Based on a similar idea, the cutting force on the cutting edge and the burnishing pads along the axis can be presented by harmonic functions in complex form as follows:

$$f_A = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos(m\theta) + b_{mA} \sin(m\theta) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (27)$$

$$f_B = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) + b_{mB} \sin m(\theta + \alpha_B) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (28)$$

$$f_C = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}, \quad (29)$$

where  $m$  – is the harmonic number;

$a_{0A}$ ,  $a_{0B}$ ,  $a_{0C}$ ,  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$  – are Fourier coefficients;

$j = \sqrt{-1} = \pi / 2$  - is an imaginary unit;

$t$  – is time;

$\omega$  – is the angular speed of the tool;

$c_w$  –  $w$  is the wave speed in the workpiece;

$c_w = \sqrt{E / \rho}$  Ошибка! Источник ссылки не найден.

Based on equations (2) - (4), forces  $f_{Ax}$ ,  $f_{Ay}$ ,  $f_{Bx}$ ,  $f_{Cx}$ ,  $f_{Cy}$  can be expressed by harmonics:

$$f_{Ax} = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mA} \cos(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (30)$$

$$f_{Ay} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mA} \sin(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (31)$$

$$f_{Bx} = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (32)$$

$$f_{By} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mB} \sin m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (33)$$

$$f_{Cx} = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (34)$$

$$f_{Cy} = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]; \quad (35)$$

At the midpoint between any two cutting edges, the Fourier coefficients are  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$ :

$$\begin{aligned} a_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta = \\ &= \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{\alpha_B}{2} \right) + \sin m \left( \frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2} \right) \right]; \quad (36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ay} \sin(m\theta) d\theta = \\ &= \frac{f_{Ay}}{m\pi} \left[ \cos m \left( \frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2} \right) + \cos m \left( \frac{\alpha_B}{2} \right) \right]; \quad (37) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{mB} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{Bx} \cos m(\theta + \alpha_B) d\theta = \\ &= \frac{f_{Bx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2} \right) + \sin m \left( \frac{3\alpha_B}{2} \right) \right]; \quad (38) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{mB} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{By} \sin m(\theta + \alpha_B) d\theta = \\ &= \frac{f_{By}}{m\pi} \left[ \cos m \left( \frac{3\alpha_B}{2} \right) + \cos m \left( \frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (39) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{mC} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cx} \cos m(\theta + \alpha_C) d\theta = \\ &= \frac{f_{Cx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{360^\circ + \alpha_C/2}{2} \right) + \sin m \left( \frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (40) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b_{mC} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cy} \sin m(\theta + \alpha_C) d\theta = \\
&= \frac{f_{Cy}}{m\pi} \left[ \cos m \left( \frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2} \right) + \cos m \left( \frac{360^\circ + 3\alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (41)
\end{aligned}$$

The constants in eqs.  $f_{Ax} = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mA} \cos(m\theta) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]$ ; (5) -

$f_{Bx} = \frac{a_{0B}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[ a_{mB} \cos m(\theta + \alpha_B) e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right]$ ; (7) can be obtained by equating m to zero in eqs.

$$\begin{aligned}
a_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta = \\
&= \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{\alpha_B}{2} \right) + \sin m \left( \frac{360^\circ - \alpha_C/2}{2} \right) \right]; \quad (11),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{mB} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B/2}^{\alpha_B + \alpha_C/2} f_{Bx} \cos m(\theta + \alpha_B) d\theta = \\
&= \frac{f_{Bx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{3\alpha_B + \alpha_C}{2} \right) + \sin m \left( \frac{3\alpha_B}{2} \right) \right]; \quad (13) \text{ and}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{mC} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_B + \alpha_C/2}^{360^\circ + \alpha_C/2} f_{Cx} \cos m(\theta + \alpha_C) d\theta = \\
&= \frac{f_{Cx}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{360^\circ + \alpha_C/2}{2} \right) + \sin m \left( \frac{\alpha_B + 3\alpha_C}{2} \right) \right]; \quad (15), \text{ from this we get:}
\end{aligned}$$

$$\frac{a_{0A}}{2} = \frac{f_{Ax}}{2\pi} \left[ \pi + \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} \right]; \quad (42)$$

$$\frac{a_{0B}}{2} = \frac{f_{Bx}}{2\pi} \left[ \frac{\alpha_C}{2} \right]; \quad (43)$$

$$\frac{a_{0C}}{2} = \frac{f_{Cx}}{2\pi} \left[ \pi - \frac{\alpha_B}{2} \right]; \quad (44)$$

$$\text{Equations (1), } f_A = \frac{a_{0A}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos(m\theta) + b_{mA} \sin(m\theta) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}; \quad (2)$$

$$f_C = \frac{a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mC} \cos m(\theta + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\theta + \alpha_C) \right] e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\}, \quad (4) \text{ describe the}$$

force  $f(z, t)$  as a harmonic.

Therefore,

$$\begin{aligned} f(z, t) = & \frac{a_{0A} + a_{0B} + a_{0C}}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \left[ a_{mA} \cos m(\omega t) + b_{mA} \sin m(\omega t) + \right. \right. \\ & \left. \left. + a_{mB} \cos m(\omega t + \alpha_B) + b_{mB} \sin m(\omega t + \alpha_B) + \right. \right. \\ & \left. \left. + a_{mC} \cos m(\omega t + \alpha_C) + b_{mC} \sin m(\omega t + \alpha_C) \right] + e^{jm\omega(t-z/c_w)} \right\} \end{aligned}; \quad (45)$$

where the Fourier coefficients  $a_{0A}$ ,  $a_{0B}$ ,  $a_{0C}$ ,  $a_{mA}$ ,  $a_{mB}$ ,  $a_{mC}$ ,  $b_{mA}$ ,  $b_{mB}$ ,  $b_{mC}$  are

$$\begin{aligned} a_{mA} &= \frac{1}{\pi} \int_{-(360^\circ - \alpha_C/2)}^{\alpha_B/2} f_{Ax} \cos(m\theta) d\theta = \\ &= \frac{f_{Ax}}{m\pi} \left[ \sin m \left( \frac{\alpha_B}{2} \right) + \sin m \left( \frac{360^\circ - \alpha_C / 2}{2} \right) \right] \end{aligned}; \quad (11)$$

determined by Eqs.

$$\frac{a_{0C}}{2} = \frac{f_{Cx}}{2\pi} \left[ \pi - \frac{\alpha_B}{2} \right]; \quad (19).$$

We can see that the considered force system can describe cutting force fluctuations during drilling process. With decomposition of cutting force into harmonic functions we can precisely describe cutting process and use it to design a new tool with certain improved parameters. But it demands a lot of time to make measurements, analysis and calculations. In addition, this system cannot determine the force which acts along the tool axis. In addition, it meant to describe cutting force oscillation during machining. We need only a mean value; the mathematical expression of force fluctuations is unnecessary.

There is one more option of a force system, which is described in [4]

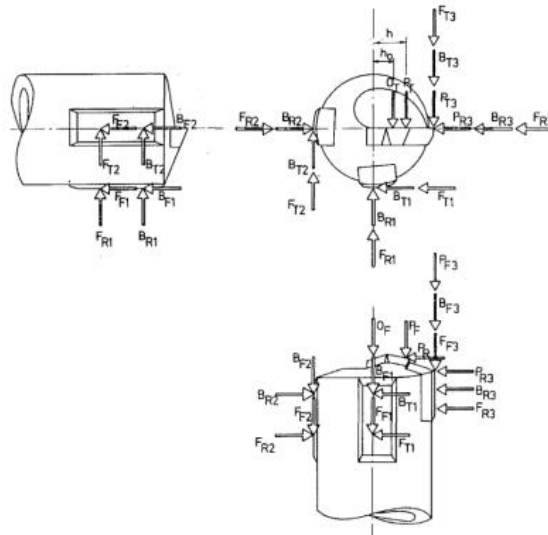


Fig. 61 Forces acting on a BTA drill during a drilling.

According to Fig. Рисунок 6, the force system can be simplified by dividing acting forces into 23 simple components, which are described below.

Cutting forces named  $P_T$ ,  $P_F$ ,  $P_{R_e}$  are forces acting on cutting edges. Burnishing forces named  $B_T$ ,  $B_F$ ,  $B_R$  act at the front of each guide insert and at the land face of the peripheral cutting insert. The value of burnishing force depends on the workpiece material, tool material, tool wear. Friction and rubbing forces  $F_T$ ,  $F_F$ ,  $F_R$  act along the pads. Oil forces  $O_T$ ,  $O_F$  are caused by the coolant circulation. These forces are not taken into account. Indexes T, F and R describe the direction of the forces:

1. F – axial component
2. T – tangential component
3. R - radial component

Forces acting on tool during drilling can be simplified as follows. There are three main acting forces on the inserts:

1. the radial force,
2. the tangential force,
3. the axial force.

The forces are presented in Fig.Рисунок 7 a and b. The green arrows show radial forces acting on inserts; the red arrows illustrate tangential forces acting on inserts. The yellow arrows illustrate the forces acting on the pads. The red marked area (b) illustrates the force zone on the pads during drilling.

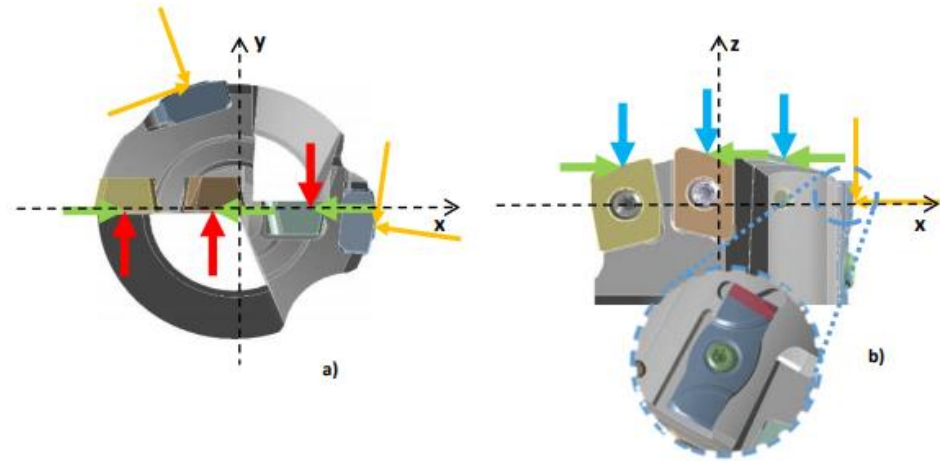


fig. 62 Force system.

The axial force, Eq. 21, is produced from feeding the tool into the workpiece. Simplified, the distribution of forces on each cutting plate depends on the width and angle of approach to each plate:

$$F_z = 0,65 \cdot k_c \cdot f \cdot a_n \cdot \sin \alpha_n ; \quad (46)$$

where,

$k_c$  - is the specific cutting force;

$f$  - is feed;

$\alpha_n$  - is the entering angle where index “n” represents the number of the cutting edge.

0.65 – is the empirical coefficient that takes into account the frictional forces created by the pads. It depends on material of workpiece, inserts, coating of inserts, as well as tool wear.

The entering angle, indexed as  $\alpha_n$ , of each insert affects the oscillations of the axial force that act on each insert. The axial force acting on each insert can be viewed as the force components on the Z- and X-axis, for example the radial force and the axial force. Value the radial force acting on each cutting plate is influenced by both the entry angle and the magnitude of the axial force. Both the entering angle and the vertex angle affect the torque. The large entry angle combined with the high feed increases the torque. Large nose angle results in low torque.

The active length of cut of each indexable insert is the length of the insert on which the material is machined. The distribution of the axial force on each insert depends on the cutting length of the insert.

The tangential force,  $F_t$ , (Equation 22), is the major cutting force component acting on the cutting plate; it is called the cutting force,  $F_c$ . The value of the cutting force is important for further calculations, it is used to calculate the required power, torque and shear force:

$$F_z = F_c = k_c \cdot f \cdot a_n ; \quad 47$$

The specific cutting force,  $k_c$ , is defined as the tangential force required to cut a chip with area of  $1 \text{ mm}^2$ . Equation (23) shows the specific cutting force:

$$k_c = k_{c1} \cdot h_m^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right), \quad (48)$$

where

$k_{c1}$  - is a correction coefficient of the specific cutting force. The force needed to cut an area of  $1 \text{ mm}^2$  and with a mean chip thickness  $1 \text{ mm}$ ;

$h_m$  is an average chip thickness;

$\gamma_0$  is a rake angle;

$m_c$  is a non-dimensional constant which describes the increase in the specific cutting force as a function of the mean chip thickness, see Fig.Рисунок 8. It depends on workpiece material.

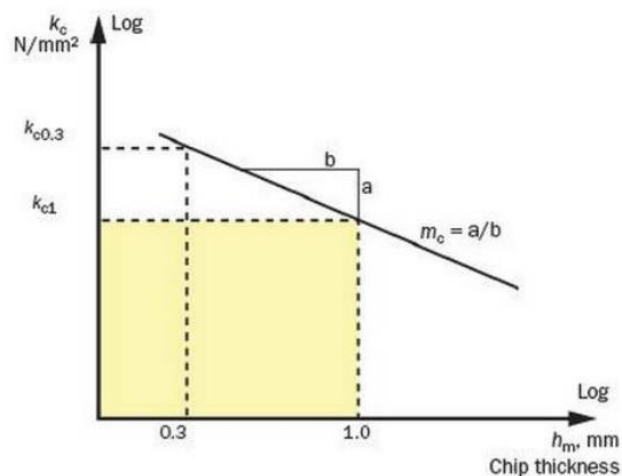


Fig. 63 Correction of the specific cutting force

The specific cutting force must be adjusted according to the rake angle. Therefore, the specific cutting force should be corrected by 1 percent for every degree of change in the rake angle. A greater rake angle makes specific cutting force smaller.

Correction of the specific cutting force for deviation from the average chip thickness is expressed in the following equation:

$$k_{sm} = k_c \cdot \left(1 - \frac{0.4}{h_m}\right)^{0.29}, \quad (49)$$

where  $k_{sm}$  is the corrected specific cutting force.

The calculated values are based on an average chip thickness,  $h_m$ , of 0.4 mm and a rake angle of 6 degrees. The specific cutting force varies depending on the insert on the drill head.

### **Specific cutting force**

The specific cutting force is dependent on the cutting speed. Speed is different for each insert. The cutting speed,  $v_c$ , is dependent on the drill diameter,  $D_c$ , and is decreased from the periphery inwards toward the drill center:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}, \quad (50)$$

where

$n$  is speed, [rpm]

$v_c$  - is cutting speed, [meters per min].

The cutting speed at the center of the drill head is zero. Consequently, the cutting edge does not work efficiently at the center of the drill.

### **Friction forces**

The supporting force acting on each of the pads depends on the value and direction of the resulting radial force. The pad against the cutting edge transfers some of the cutting force to the wall of the hole. This is due to the fact that the angular position of the generating radial force is closer to the support pad. The value and angular position of the resultant force on the pads can be performed as a function, which is related to parameters mentioned below:



6. tangential force;
7. radial force;
8. angular position;
9. friction coefficient;
10. angular position of the pads.

The combined drilling and polishing processes produce a plastically deformed surface of the machined hole. The friction of the backing plates is mainly responsible for the surface roughness. The pads polish the hole surface, making it smooth. In addition, the pads are tilted, which means that the cylindrical surface of the tool is inversely tapering. Thus, rear ends of the pads do not contact with the machined surface.

The location of the guiding insert have an impact on the stability of the drill. The configuration and position of the pads affect the roughness of the hole surface. If the position of the cutting edge, the guide and the support pads are not optimized, the drill will create spiral scratches on the machined surface. If the resultant radial force acts too close to the support pad, it will cause higher wear of pads. As the result, the diameter of a drilled hole will be beyond tolerance.

### **Coefficient of friction**

The friction forces, which arise due to the use of support pads, will give a torque further to the total drilling power. Friction force the power requirement. Net radial force

The value and angular direction of the net radial force influences the stability of the tool. The angular position of the resulting radial force should be closer to the pad next to the cutting edge, for example to the support pad, see Fig. 17 (1). The support pad transfers most of the cutting force to the wall of the hole. The pad opposite to the guide edge, the guide bar Fig. 9 (2), acts as a stabilizing plate.

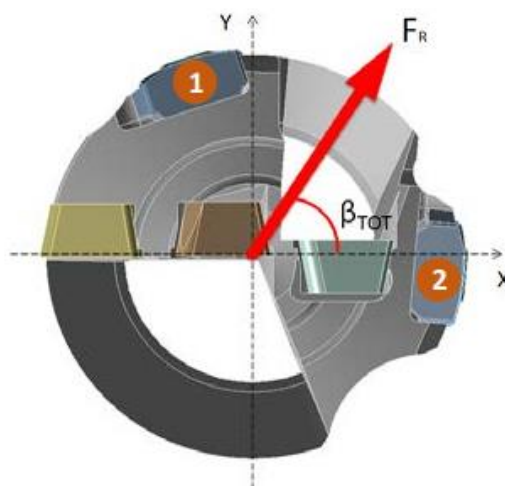


Fig. 64

The goal is to obtain the full radial force exerting sufficient pressure on the bore wall to prevent the following:

1. separation of the pads from the machined surface;
2. deviation;

An optimal distance between each block and the resulting radial force may not be accurate. Because of oscillations of the cutting force components, for example caused by the cutting edges variation while entering the workpiece, the direction and value of the radial force can change during entrance and exit. Change in direction of the resulting radial force is maintained within the angular range. The direction of the radial force is of great importance for the stability of the direction of the hole and the accuracy of the hole diameter.

The considered system describes the forces acting on each insert as projection into an every main axis (X,Y,Z). This method gives the opportunity to easy measure of cutting forces. In addition, it enables to turn drilling process to turning process, because of simplified cutting forces.

Thus, we can conclude that this force system is suitable for the set goals.

Рисунок 11, Рисунок. 10 show us the customized force system according to the set goals.

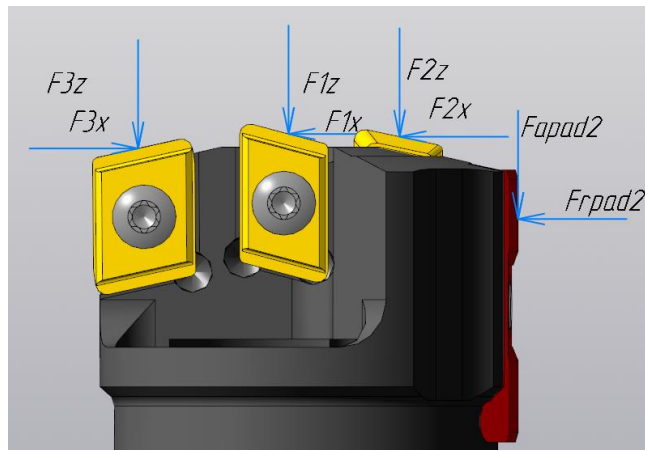


Fig. 65

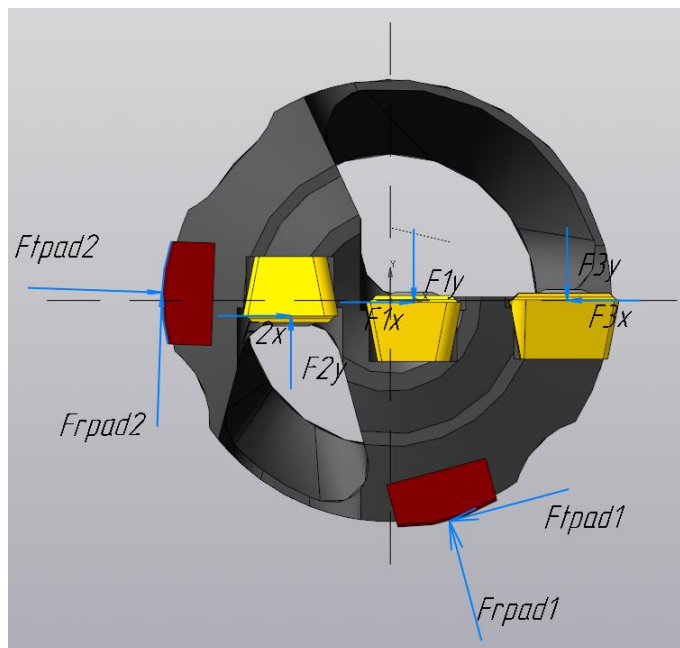


Fig. 66

Description of the figures shown above is presented in Таблица 2.

Table 38 Indexes soled in Рисунок. 10 and Рисунок 11.

Force title	Index	Description
Axial force	$F_{nz}$	Axial force acting on cutting insert, where “n” is number/No. of insert

Force title	Index	Description
Radial force	$F_{nx}$	Radial force acting on cutting insert, where “n” is number/No. of insert
Tangential force	$F_{ny}$	Tangential force acting on cutting insert, where “n” is number/No. of insert
Friction forces	$F_{padn}$	Force acting on burnishing pads, where “r”, “t” and “a” are radial, tangential and axial respectively.

According to the new system, there is a possibility to switch to a simpler scheme for conducting the experiment, in which, instead of drill process, turning process is used with each cutting insert separately. This will decrease the requirements to equipment, simplify the experimental procedure, and, probably, increase the accuracy of outgoing data.

### 13 Список литературы

1. Deng C., and Chin, J. Roundness Errors in BTA Drilling and a Model of Waviness and Lobing Caused by Resonant Forced Vibrations of Its Long Drill Shaft . [Журнал] // J. Manuf. Sci. Eng.. - [б.м.] : ASME, August 2004 г.. - 126. - стр. 524-534.
2. Matin M. A., and Rahman, M. Analysis of the Cutting Process of a Cylindrical Workpiece Clamped by a Three-Jaw Chuck [Журнал] // J. Manuf. Sci. Eng.. - [б.м.] : ASME, 1988 г.. - 110. - стр. 326-332.
3. Rahman M., Matin, M. A., and Seah, K. H. W. Study of the Vibrational Dynamics of an Endrill Clamped by Side-Locking. [Журнал] // J. Eng. Ind.. - [б.м.] : ASME, 1993 г.. - 114. - стр. 438-443.
4. Carmen Malave. Deep hole drilling. Cutting forces and balance of tools
5. А.П. Драгун Режущий инструмент: Лениздат, 1986. - стр. 271.
6. Дод общ. ред. Кирсанова С.В. Обработка глубоких отверстий в машиностроении : Машиностроение, 2010. - стр. 344.
7. Под редакцией Кирсанова С.В. Режущий инструмент: Машиностроение, 2010. - 2-е : стр. 258.
8. М.А. Минков Технология обработки глубоких отверстий. : Машиностроение, 1965. - стр. 176.
9. Н.С. Галдин Основы гидравлики и гидропривода. Учебное пособие - Омск : СибАДИ, 2006. - стр. 145.
10. Обработка глубоких отверстий / Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников и др.; под общ. ред. Н.Ф. Уткина. Л.: Машиностроение, 1988. 269 с.
11. Осман М.О.М., Латиневич В. Усовершенствование многолезвийного инструмента для расточки отверстий по способу БТА // Конструирование и технология машиностроения. 1976. № 2. С. 93–100.

- 12.Справочник конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В.А. Гре-чишникова и С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006. 542 с.
- 13.Каталоги конструкций головок БТАфирмVotek, Ingersoll, Iscar, SandvikCoromant, ВТАHeller, Unitac.
- 14.Чжоу Ухуэй Измерение силы резания при сверлении сверлами БТА: диссертация магистра. Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Томск, 2019.
- 15.Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — 178 с.
- 16.Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» ВКР магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 24 с.
- 17.Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» ВКР бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 24 с.
- 18.ГОСТ 22615-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
- 19.ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
- 20.ГОСТ EN 894-3-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления.

- 21.ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин. (VDT). Часть 2. Требования к производственному заданию.
- 22.ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком.
- 23.ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи.
- 24.ГОСТ Р ИСО 9355-3-2010. Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 3. Механизмы управления.
- 25.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- 26.ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
- 27.ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
- 28.СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»