

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки Приборостроение  
 Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
<b>Разработка устройства для испытания фрезерных станков</b>
УДК 621.914.3.08.620.179.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3А	Спасенко Вячеслав Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ФМПК	Мойзес Б.Б.	к.т.н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. МЕН	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ФМПК	Суржиков А.П.	д. ф.-м. н.		

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>		
Р1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10; ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-3,ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17),

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Институт Неразрушающего контроля  
Направление подготовки Приборостроение  
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Суржиков А.П.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БЗА	Спасенко Вячеславу Сергеевичу

Тема работы:

<b>Разработка устройства для испытания фрезерных станков</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: устройства и методы вибродиагностики Предмет – устройства для вибродиагностики фрезерных станков Режим нагружения – циклический Оборудование: мобильный диагностический комплекс «Виброрегистратор-У», имитационный стенд Закон изменения частоты – плавный Диапазон изменения частот – 0...3000 об/мин Вес в собранном виде – не более 40 кг; габариты – 40×40×80 мм; Свободный доступ к местам установки датчиков Простота и безопасность проведения вибродиагностики Вредного влияния на окружающую среду нет.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ источников информации по теме работы.</li> <li>2. Разработка имитационного устройства для вибродиагностики фрезерных станков</li> <li>3. Подготовка и проведение физического эксперимента по вибродиагностике фрезерного станка</li> <li>4. Разработка конструкции стенда</li> <li>5. Отладка стенда и выдача рекомендаций по первичной модернизации.</li> <li>6. Рассмотрение вопросов социальной ответственности и финансового менеджмента.</li> <li>7. Выводы о достижении поставленной цели.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<b>Презентация</b>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	9.09.2017
---	-----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФМПК	Мойзес Б.Б.	к.т.н.		9.09.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б3А	Спасенко Вячеслав Сергеевич		9.09.2017

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б3А	Спасенко Вячеславу Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	-Проект выполняется в Лаборатории гидро-, пневмоавтоматики. 16а, 102а -Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 220 тысяч рублей -В реализации проекта задействованы 2 человека руководитель проекта, студент-дипломник
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-Данная НИР новая, из этого следует, что нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют -Минимальный размер оплаты труда (на 2017 год) составляет 7500 руб
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению - Отчисления во внебюджетные фонды – 30 % от ФОТ

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследовательской работы</i>	-Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы - SWOT-анализ
<i>2. Планирование процесса управления НИР: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	-Планирование работ по научно-техническому исследованию;
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Оценка научно-технического уровня следования, - Оценка рисков

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НИР 2. Матрица SWOT 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИР
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	07.04.17
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			07.04.17

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Б3А	Спасенко Вячеслав Сергеевич		07.04.17

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БЗА	Спасенко Вячеславу Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является устройство для вибрационной диагностики фрезерных станков, а также разработка конструкторской документации
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul> <p>1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</p>	<p>1.1. Вредные факторы при работе с устройством:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– Повышенный уровень вибрации;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Повышенный уровень электромагнитных излучений</li> <li>– Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны</li> </ul> <p>1.2. Опасные факторы при работе с устройством:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, а также привести к пожарам;</li> <li>– Наличие движущихся механизмов, подвижных частей оборудования;</li> <li>– Умственное перенапряжение</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Во время проведения разработки и

2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду; 2.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования; 2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды;	исследования устройства и по его окончанию не существуют источников загрязнения окружающей среды.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> 3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований; 3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований; 3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС;	Возможные чрезвычайные ситуации: возникновение пожара; ЧС природного характера
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства; 4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя;	Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	07.04.17
---	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н		07.04.17

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БЗА	Спасенко Вячеслав Сергеевич		07.04.17

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц, 28 рисунков, 21 таблицу, 34 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: вибрация, параметры вибрации, вибродиагностика, устройство для испытаний, имитация процесса резания, конструкция, фреза, шпиндельный узел, фрезерный станок

Объектом исследования является устройство вибродиагностики.

Предметом разработки является конструкция устройства для вибродиагностики фрезерных станков

Цель работы – разработка конструкции имитационного стенда для вибродиагностики фрезерных станков.

В процессе исследования и разработки были проанализированы методы вибродиагностики металлорежущих станков, нагрузочно-имитирующие устройства, выявлены достоинства и недостатки реализации нагрузочно-имитирующих систем.

В результате исследования и разработки была разработана конструкторская документация и создана конструкция имитационного стенда.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: вес в собранном виде – не более 40 кг; габариты – 40\*40\*80 мм; закон изменения частоты – плавный; диапазон изменения частот – 0...3000 об/мин; свободный доступ к местам установки датчиков; простота и безопасность проведения вибродиагностики.

Степень внедрения: стенд создан, прошел процедуру отладки, используется в учебном процессе.

Область применения: учебный процесс в рамках изучения вопросов вибродиагностики фрезерных металлорежущих станков.

Значимость работы заключается в создании устройства как для использования в учебном процессе, так и для создания в дальнейшем промышленных образцов.

Экономическая эффективность заключается в создании экспериментального стенда, как возможного прототипа промышленных образцов стенда.

В будущем планируется патентование и создание промышленных образцов стенда.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	16
1.1. Техническая диагностика .....	16
1.2. Вибрационный контроль. Вибродиагностика .....	17
1.3. Вибродиагностика металлорежущих станков .....	19
1.4. Обзор нагрузочно-имитирующих устройств .....	22
1.5. Расчет жесткости шпиндельного узла .....	26
2. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ. КОНСТРУКЦИЯ. ОПИСАНИЕ .....	32
2.1. Вибродиагностика фрезерного станка .....	32
2.2. Кинематическая схема .....	33
2.3. Конструкция устройства .....	34
2.4. Внешний вид устройства .....	43
3. ПРОВЕДЕНИЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ .....	45
3.1. Вибродиагностика на стенде .....	45
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	46
4.1. Технико-экономическое обоснование НИР .....	46
4.2. Планирование работ по научно-техническому исследованию .....	50
4.2.1. Определение трудоемкости этапов НИР .....	52
4.2.2. Техническая готовность темы .....	54
4.2.3. Построение графика работ .....	56
4.3. Смета затрат на разработку проекта .....	57
4.4. Оценка целесообразности исследования .....	60
4.4.1. Оценка научно-технического уровня исследования .....	60
4.4.2. Оценка возможных рисков .....	61
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	63
5. Производственная безопасность .....	63
5.1.1. Анализ вредных факторов, которые может создать эксплуатации объект исследования .....	64

5.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований и эксплуатации объекта .....	66
5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	66
5.2. Экологическая безопасность.....	68
5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	68
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований .....	69
5.3.2. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	70
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
5.4.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	71
5.4.2. Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	71
Заключение .....	73
Список публикаций студента.....	75
Список использованных источников .....	76
Приложения .....	79

## **Введение**

При перемещении механической системы под воздействием наружных сил в ней могут возникать механические вибрации или колебания. Причинами появления вибраций могут быть периодические изменения сил (силовые возмущения), перемещений (кинематические возмущения) или инерционных характеристик (параметрическое возмущение).

Даже если ударные или вибрационные воздействия не разрушают объект, речь все же может идти о нарушении его работы. Например, вибрации корпуса электрического прибора могут приводить к нарушению целостности контактов прибора, замыканию некоторых электропроводов.

При работе станка под действием сил резания, инерции, трения не уравновешенных вращающихся деталей или узлов, имеющих возвратно-поступательное движение, воздействия на систему приводного двигателя и, наконец, от толчков и колебаний, передаваемых извне через фундамент, возникают деформации упругой системы, вибрации что отрицательно влияет на точность обработки деталей, шероховатость обрабатываемой поверхности, а также на стойкость инструмента, долговечность деталей станка. Приведённый в действие станок независимо от того, производится ли на нём резание или нет, представляет собой активную энергетическую систему с точки зрения динамики. [1]

При воздействии двигателя, а также, под влиянием сил трения и резания упругие элементы станка подвергаются деформации. Возникшие деформации станка, в свою очередь, изменяют условия резания и трения, или условия работы двигателя. Вследствие этого происходит взаимное влияние процессов резания и деформации станка, которое приводит к периодическому изменению относительного положения инструмента и детали, т.е. к колебанию системы. Поэтому динамическую систему станка можно представить, как систему с обратной связью, где упругая система станок – приспособление – инструмент – деталь взаимодействуют с

рабочими процессами резания, трения и др., происходящими при работе станка.

Таким образом, возникновение быстропротекающих колебательных процессов в станках оказывает отрицательное влияние на чистоту и точность поверхности обрабатываемых фрезерованием деталей, а также, уменьшает жизненный цикл станка и снижает его технологические характеристики и возможности. Следовательно, повышение показателей динамического качества станков и, в первую очередь их виброустойчивости, является весьма актуальной задачей.

**Цель работы** – разработка конструкции имитационного стенда для вибродиагностики фрезерных станков

**Проблема исследования:** существует ряд методов для установления параметров вибрации, влияющих на точность работы металлорежущего оборудования, которые условно разделяются на два вида:

- вибродиагностика при осуществлении резания
- вибродиагностика при имитации процесса резания

В первом случае необходимо учитывать жесткость всей системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД), что в ряде случаев не позволяет отстроиться от конкретных ненужных параметров вибрации, мешающих установлению истинной «картины».

Второй способ позволяет избежать точного анализа вибрации технологической системы. Существуют не мало способов имитации процесса резания, но каждый обладает своими достоинствами и недостатками, на данный момент не существует универсальной конструкции устройства диагностирования и метода диагностики.

**Задачи:**

- проанализировать устройства вибродиагностики;
- разработать кинематическую схему устройства;
- провести необходимые прочностные и жесткостные расчеты

- разработать конструкторскую документацию;
- оценить социальную ответственность в аспекте проекта;
- проанализировать эффективность финансовой стороны реализации проекта.

**Объект исследования** – устройство вибродиагностики.

**Предмет разработки** – конструкция устройства для вибродиагностики фрезерных станков

**Практическая новизна** работы заключается в разработке конструкции универсального устройства вибродиагностики фрезерного станка, которая будет обладать относительно простой по конструкции и простой в эксплуатации. Универсальность устройства заключается в потенциальном применении для других типов станков.

# **1 Литературный обзор**

## **1.1 Техническая диагностика**

Техническая диагностика[2] служит для определения технического состояния объекта.

Цель технической диагностики состоит в том, чтобы повысить надежность изделий.

Одним из важных показателей надежности можно считать безотказность функционирования изделия, потому что отказ объекта может привести к неблагоприятным последствиям в производстве. Благодаря возможности обнаруживать неисправности и дефекты на ранних стадиях появления, техническая диагностика позволяет устранить отказы различного рода в процессе ремонта и технического обслуживания, что, в свою очередь, повышает эффективность эксплуатации и надежность оборудования и изделий.

Техническое диагностирование решает широкий спектр задач, значительная часть которых являются смежными с задачами других научных дисциплин. Главной задачей технического диагностирования можно считать определение технического состояния объекта в условиях недостаточной информации. Анализирование состояния изделия происходит в условиях эксплуатации, в таком случае крайне трудно получить достаточное количество информации и сделать однозначный вывод, поэтому приходится использовать статистические методы.

Для решения главной задачи технической диагностики, как теоретический фундамент, стоит считать общую теорию распознавания образов. Техническая диагностика изучает алгоритмы распознавания применительно к задачам диагностики, которые обычно могут рассматриваться как задачи классификации

Алгоритмы распознавания в технической диагностике частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между техническими состояниями изделия и их отображениями в пространстве

диагностических признаков. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений (решающие правила).

Решение диагностических задач, таких как отнесение изделия к разряду исправных или неисправных, почти всегда связано с риском ложной тревоги или пропуска цели. Чтобы принять обоснованное решение, привлекаются методы теории статистических решений. Решение задач технического диагностирования связано с прогнозированием надёжности изделия на период эксплуатации до следующего технического осмотра. Здесь решения основываются на моделях отказов, изучаемых в теории надёжности.

Качество изделий – это совокупность свойств и характеристик, которые определяют их пригодность для эксплуатации. Надёжность является важнейшим технико-экономическим показателем качества любого технического устройства, в частности электрической машины, определяющим её способность безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного промежутка времени при определённых условиях эксплуатации. Проблема обеспечения надёжности связана со всеми этапами создания изделия и всем периодом его практического использования. Надёжность технического оборудования или изделия начинает закладываться в процессе его конструирования и расчёта. Сохранить и контролировать надёжность работы оборудования можно путем лучшего выбора технологии производства, контроля поставляющегося исходного сырья, полуфабрикатов. Путем правильного хранения, бережного отношения, правильной эксплуатации, периодического профилактического контроля и ремонта изделия или оборудования происходит поддержание надёжности.

## **1.2 Вибрационный контроль. Вибродиагностика**

Вибрационная диагностика – метод технического диагностирования оборудования и систем, основанный на анализе параметров вибрации,

создаваемых самим оборудованием, либо путем внешнего возбуждения объекта диагностирования.

Главной задачей вибрационного контроля состояния машин[3] является представление необходимой информации о техническом состоянии работающей машины для последующего технического обслуживания. Составной частью этого процесса является оценка вибрационного состояния машины в период ее работы. В противоположность процедурам диагностирования и приемочных испытаний контроль состояния включает в себя сбор данных на всем периоде эксплуатации машины, что позволяет сопоставлять данные, полученные в разные моменты времени. При этом более важно знать не текущее вибрационное состояние машины, а изменение этого состояния.

Изменения вибрационного состояния обычно бывают вызваны:

- изменением дисбаланса вращающихся частей;
- изменениями взаимного расположения вращающихся валов;
- износом или дефектом подшипников скольжения и качения;
- повреждениями сопряжений, в том числе в зубчатых передачах;
- формированием трещин в ответственных элементах машин;
- работой машины в переходном режиме;
- возмущениями в потоке жидкости гидравлических машин;
- возмущениями электромагнитного поля в электрических машинах;
- трением движущихся частей;
- ослаблением механических соединений.

Информация, получаемая в процессе вибрационного контроля состояния машин, может быть использована в целях:

- защиты оборудования;
- усиления безопасности обслуживающего персонала;
- улучшения качества технического обслуживания машин;
- выявления дефектов на ранней стадии их зарождения;
- предотвращения опасных поломок машин;

- продления срока эксплуатации машин;
- усовершенствования качества работы машин.

Замеры вибрации в ходе контроля состояния машин могут быть как простыми, так и сложными, проводиться как в непрерывном режиме, так и в фиксированные моменты времени, однако общая цель этих замеров остается неизменной - получение конкретных и достоверных данных о техническом состоянии машины.

Замер вибрации в целях контроля состояния выполняются на подшипниковых опорах либо на корпусе машины, кроме того её вращающихся составляющих.

При вибродиагностике анализу подвергаются:

- виброперемещение;
- виброскорость;
- виброускорение.

В качестве основных параметров диагностики выступают:

- пик – максимальное значение сигнала за определенный период времени;
- скз – среднеквадратическое значение или действующее значение сигнала для определенной полосы частот;
- размах – разница между максимальным и минимальным значением сигнала на определенном временном интервале;

Спектр вибрационного сигнала при анализе виброперемещения, виброскорости и виброускорения[4] может кардинально изменяться, поэтому трудно выбрать лишь один параметр для принятия решения о наличии и характере дефекта.

### **1.3 Вибродиагностика металлорежущих станков**

Надёжность металлорежущих станков определяется надёжностью каждого в отдельности узла. Поэтому при создании станка предусматриваются меры для повышения надежности, такие как

- применение высоконадежных систем управления;
- повышение надежности функционирования механических элементов металлорежущих станков, при использовании новых материалов и покрытий, надежной защиты узлов от СОЖ и стружки;
- снижение динамических нагрузок уменьшением перемещающихся масс, применением разнообразных демпферов;
- использование надежных систем смазывания трущихся пар и мощных систем фильтрации СОЖ;
- использование эффективной системы диагностики и индикации отказов, обеспечивающей существенное снижение времени профилактики и устранении отказов;
- осуществление своевременных профилактических и регламентных работ по поддержанию нормального функционирования металлорежущих станков.

При эксплуатации технологического оборудования в следствии износа, вибрации, ударных нагрузок (например, при фрезеровании), других отрицательных факторов надежность его снижается. В связи с этим стоит задача периодической диагностики станка для определения степени отклонения параметров оборудования от первоначальных.

Объектами диагностики могут стать как отдельные узлы, так и оборудование в целом. Одним из видов диагностики является вибродиагностика – метод диагностирования технологического оборудования, основанный на определении и анализе параметров вибрации, обычно создаваемой работающим оборудованием.

Существует ряд методов, позволяющих установить параметры вибрации, но все можно условно разделить на два вида – вибродиагностика:

- при осуществлении резания [7, 8];
- при имитации процесса резания [5, 9].

Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки.

При первом способе требуется учитывать влияние на результаты жесткость всей технологической системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД), степень износа инструмента и другие факторы.

Второй способ позволяет избежать точного анализа параметров технологической системы.

Имитацию процесса резания можно несколькими способами: механическим, электрическим, магнитным, пневматическим или гидравлическим и т.д. [5].

При механическом воздействии [7, 5] идет прямой контакт нагрузочного элемента с элементов системы СПИД, что требует надежных приспособлений для проведения испытаний.

Применение пневматических и гидравлических устройств требует наличия специального оборудования: компрессоров, гидравлических станций и т.д.

Устройства, относящиеся к электрическим и магнитным, обладают зачастую сложной конструкцией [9].

## 1.4 Обзор нагрузочно-имитирующих устройств

Стенд для испытания фрезерных шпинделей[9] с электромагнитным НИУ.

Электромагнитное НИУ предназначено для имитации процессов фрезерования и способно генерировать как постоянную, так и пульсирующую радиальную нагрузку на фрезерном шпинделе одновременно. При испытаниях на место ножевой головки фрезы или проушечного диска на шпиндель 4 (рис 1.4.1 а, б) устанавливается шпиндельная насадка 3, имеющая втулку, вращающуюся вместе со шпинделем, подшипники и корпус, к которому прикреплен динамометрический стакан, заканчивается ярмом – пластиной 2. Перед ярмом установлен вибратор 1 с двумя независимыми обмотками. Обмотка подмагничивания питается постоянным током и служит для создания постоянной составляющей радиальной нагрузки, обмотка возбуждения питается переменным током и генерирует пульсирующую составляющую радиальной нагрузки. Частота тока устанавливается в зависимости от числа ножей или зубьев инструмента в имитирующем процессе. Развиваемые вибратором усилия контролируются посредством датчиков усилителя и электронно-лучевого осциллографа. Тензодатчики наклеиваются на цилиндрические поверхности динамометрического стакана, нагружающего шпиндель через насадку. Регулировка величин  $P_m$  и  $P_a$ , осуществляется посредством суппорта, позволяющего менять зазор между ярмом и вибратором. Суппорт состоит из кронштейна 5 с неподвижной направляющей 6 и подвижной плиты 7, перемещающейся при вращении рукоятки 8.

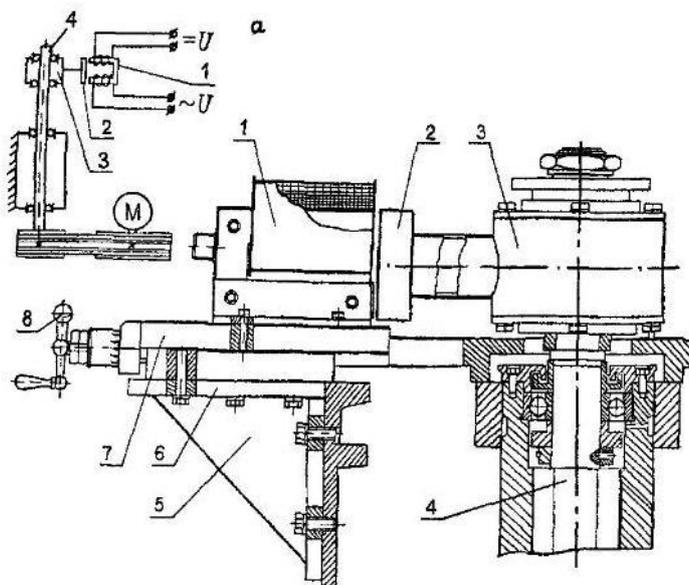


Рисунок 1.4.1 – Электромагнитное нагрузочное устройство для испытаний фрезерных шпинделей  
 а – электрокинематическая схема, б – сборочный чертеж

Рассмотрим следующее устройство, представленное на рисунке 1.4.2.

Нагрузочное устройство [10] работает следующим образом. Включается привод вращения шпинделя 5. За счёт наличия подшипников в подшипниковом узле корпус 1 остаётся неподвижным. С помощью винтов 16 и 19 уточняется установка электромагнитов 7 и 12 относительно друг друга с заданным зазором. Включается механизм подачи станка и подаётся напряжение на клеммы обмоток 8, 9 и 14. Создание сил затягивания или отжима обеспечивается электромагнитными силами притяжения или отталкивания между сердечниками 6 и 13 электромагнитов 7 и 12 за счёт изменения полярности обмотки постоянного тока 14 электромагнита 12. Вращение шпинделя 5 необходимо для моделирования дисбалансных сил от неуравновешенности фрез.

Нагрузочное устройство для испытаний фрезерных станков рассмотренное выше предназначено для создания сил, имитирующих рабочие нагрузки, действующие на механизмы резания и подачи фрезерных

станков при испытаниях станков без реальной обработки заготовок, при этом расширены возможности нагрузочного устройства за счёт имитации как сил затягивания заготовки при фрезеровании, так и сил отжима.

Однако проведённые испытания показали [1], что более эффективным является нагрузочное устройство [4], изображённое на рис. 3, отличающееся тем, что электромагниты 7 и 12, оборудованные сердечниками 6 и 13 соответственно, выполнены одинаковой в сечении Ш-образной формой (рис. 3, разрез А-А). Что повышает в процессе испытаний величину электромагнитных сил по сравнению с другим нагрузочным устройством, и позволяет при тех же энергозатратах расширить диапазон имитирования сил резания, возникающих в условиях реального фрезерования.

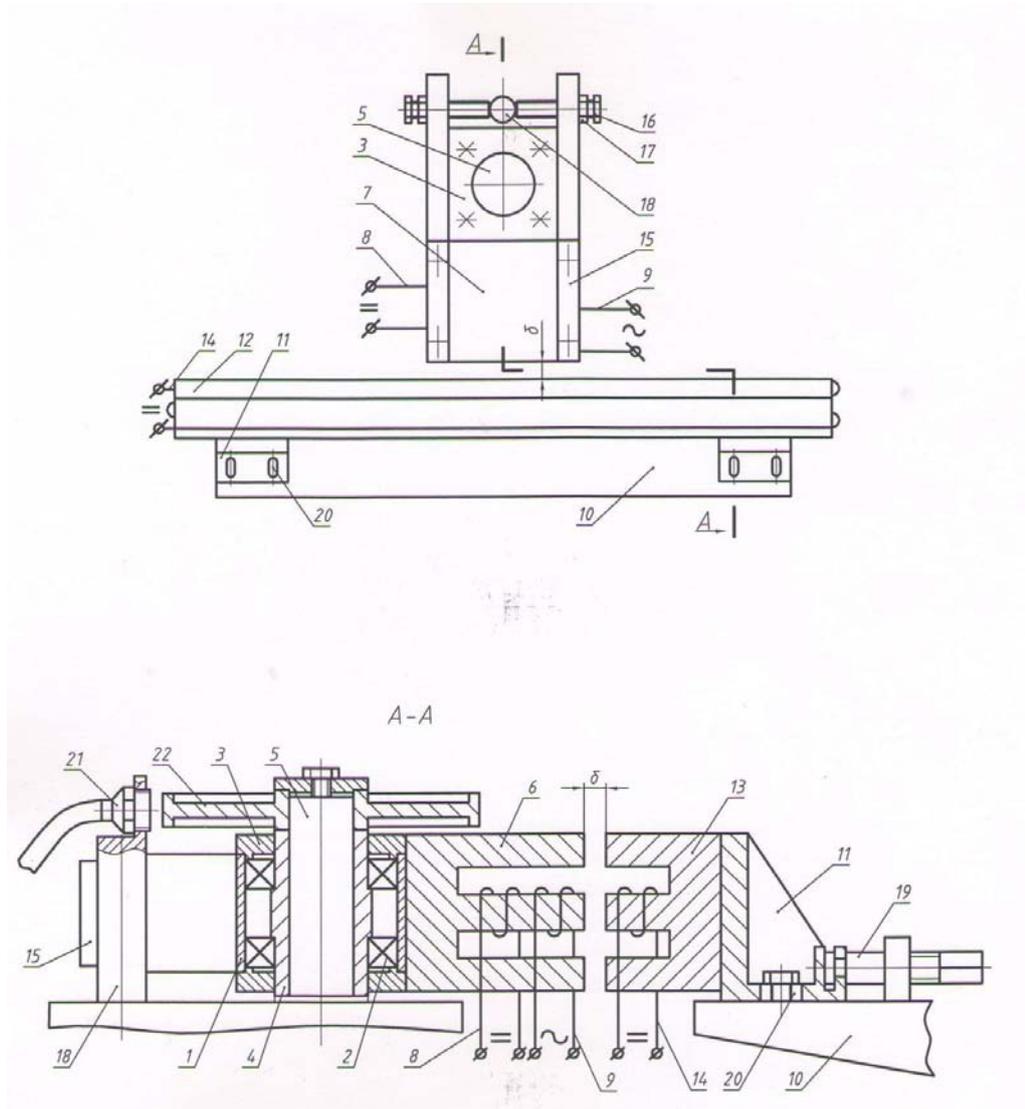


Рисунок 1.4.2 – Нагрузочное устройство для испытания фрезерных станков

Последним в рамках обзора устройств будет ознакомление с Патентом SU 1547971 «Устройство для нагружения фрезерных станков»

Устройство [12] (рис 1.4.3; приложение Б) состоит из оправки 1, закрепленной на шпинделе 2 фрезерного станка, которая снабжена державкой 3 с вращающимся роликом 4, контактирующим с нагрузочным элементом 5, выполненным выпуклым, установленным на столе 6 фрезерного станка. Для создания контакта ролика 4 с нагрузочным элементом 5 между оправкой 1 и державкой 3 размещена пружина 7.

Нагружение оправки 1 и шпинделя 2 станка осевой нагрузкой, имитирующей однозубое фрезерование, производится путем обкатывания ролика 4 по выпуклому нагрузочному элементу 5, установленному на столе 6 станка, при вращении оправки 1 и шпинделя 2 станка. Величина выпуклости нагрузочного элемента 5 рассчитывается из условия создания необходимой осевой силы, возникающей при реальном торцовом фрезеровании.

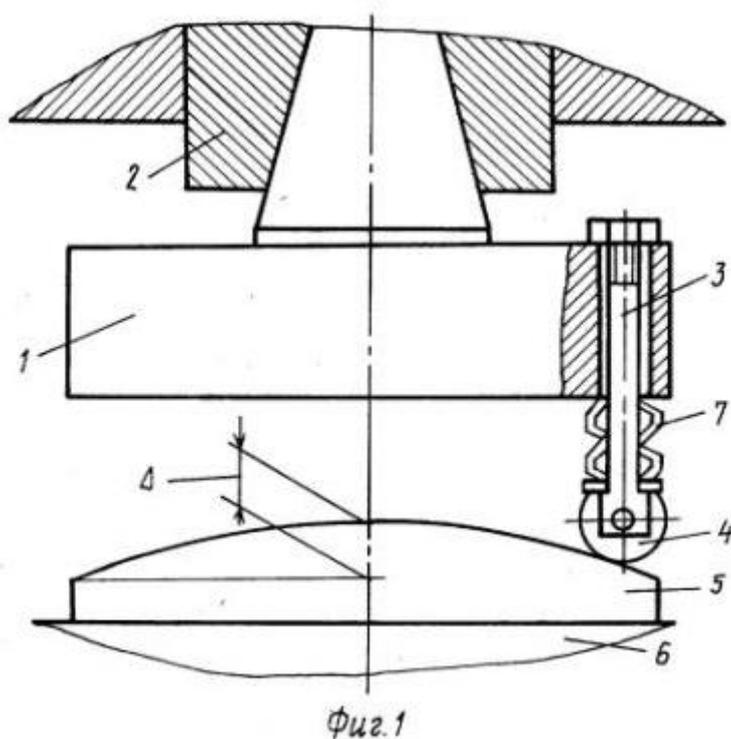


Рисунок 1.4.3 – Устройство для нагружения фрезерных станков.

Проведя обзор уже имеющихся устройств для имитации процесса резания и нагружения, можно сделать следующие выводы:

- НИУ обладают сложной конструкцией, что затрудняет работу с устройством;
- Необходим непосредственный контакт с фрезерным станком, который требует специальных приспособлений;
- Отсутствие универсальной конструкции и метода, что ограничивает область применения устройства;
- Невозможность регулировки жесткостных характеристик системы, что, в свою очередь, и помогает добиться универсальности устройства;
- Требуется наличие специального оборудования.

Из вышеперечисленных выводов было сформировано решение создать новое устройство для испытания металлорежущих станков, обладающих следующими достоинствами:

- Простота и дешевизна конструкции;
- Легкость в эксплуатации;
- Возможность регулировки жесткостных и прочностных характеристик;
- Стационарность;
- Относительная безопасность в использовании.

### **1.5 Расчет жесткости шпиндельного узла**

На жесткость рассчитывают шпиндельные узлы [13] всех типов.

В перемещении учитывают только деформации тела шпинделя и его опор. Собственные деформации обрабатываемой детали, режущего инструмента, конического или другого соединения инструмента со шпинделем определяют другими расчетами, не относящимися к расчету шпиндельного узла на жесткость.

Находят радиальную и осевую жесткость. При расчете радиальной жесткости все силы приводят к двум взаимно перпендикулярным плоскостям Y и Z, проходящим через ось шпинделя. Вычисляют радиальное перемещение его переднего конца в этих плоскостях, а затем суммарное перемещение

$$\delta = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2}$$

Необходимо учитывать существенное влияние осевой опоры на перемещение переднего конца, что является следствием заземляющего (реактивного) момента, возникающего в осевой опоре и противоположного по знаку моменту нагрузки. Дополнительное радиальное перемещение представляет собой сдвиг переднего конца под действием силы, которая возникает благодаря заземляющему моменту. В таблице 1.5.1 приведены значения коэффициента, который учитывает наличие в передней опоре заземляющего момента при расчете жесткости шпинделя.

Таблица 1.5.1 – Значения коэффициентов заземления

Тип установленных подшипников				
Схема шпиндельного узла	В передней опоре	В задней опоре	Коэффициент заземления	
		3182100; 8000	3182100	0,45...0,65
		697000	7200	0,30...0,45
		3182100; 178800	3182100	0,30...0,45
		36100	36100	0,20...0,30

		36100	36100	0,15...0,20
---	---	-------	-------	-------------

Радиальное перемещение шпинделя в заданном сечении, например, плоскости Y,

$$\delta_y = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4,$$

где  $\delta_1$  - перемещение, вызванное изгибом тела шпинделя;

$\delta_2$  - перемещение, вызванное податливостью опор;

$\delta_3$  - сдвиг, вызванный заземляющим моментом;

$\delta_4$  - перемещение, вызванное податливостью контакта между кольцами подшипника и поверхностями шпинделя и корпуса, определяемое по зависимости (если используются подшипники скольжения, это перемещение не учитывается)

$$\Delta_c = \frac{4 \cdot 10^{-8} \cdot P \cdot K_1}{\pi \cdot d \cdot b} \left( 1 + \frac{d}{D} \right),$$

где  $P$  - нагрузка на опору, Н;

$K_1 = 1 \dots 2,5$ ;

$d$  - внутренний диаметр подшипника, м;

$b$  и  $D$  - ширина и наружный диаметр подшипника, м.

Смещение переднего конца шпинделя зависит не только от его размеров, жесткости опор, нагрузок, но и от схемы нагружения.

СХЕМА 1. Приводной элемент шпинделя расположен между его опорами (рис. 1.5.2). Эта схема типична для токарных и фрезерных станков, а так же для многооперационных станков с ЧПУ. Радиальное упругое перемещение шпинделя в расчетной точке складывается из следующих перемещений:  $\delta_{1Q}$  тела шпинделя под действием силы  $Q$  на приводном элементе;  $\delta_{2Q}$ , вызванное деформацией опор от силы  $Q$ ,  $\delta_{1P}$  тела шпинделя под действием силы резания  $P$ ;  $\delta_{2P}$ , вызванное деформацией опор от силы  $P$ .

Примем обозначения:  $l$  - расстояние между передней А и задней В опорами шпинделя;  $a$  - вылет переднего конца (консоль);  $b$  - расстояние от приводного элемента до передней опоры;  $J_1$  - среднее значение осевого момента инерции сечения консоли;  $J_2$  - среднее значение осевого момента инерции сечения шпинделя в пролете между опорами;  $S_1$  и  $S_2$  - площади сечения переднего конца и межопорной части шпинделя;  $E$  - модуль упругости материала;  $G$  - модуль сдвига материала шпинделя;  $j_A$  и  $j_B$  - радиальная жесткость передней и задней опор;  $\epsilon$  - коэффициент защемления в передней опоре.

Упругое перемещение переднего конца шпинделя, слагающееся из всех названных выше перемещений с учетом действия защемляющего момента в передней опоре

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = \\ &= P \left[ \frac{a^3}{3EJ_1} + \frac{a^2l(1-\epsilon)}{3EJ_2} + \frac{j_A a(1-\epsilon) + j_B [l + a(1-\epsilon)]^2}{j_A j_B l^2} \right] \\ &\pm Q(1-\epsilon) \times \left[ \frac{j_A(l+a) - j_B(l-b)}{j_A j_B l^2} + \frac{a(b^2 + 2bl^2 + 3b^2l)}{3EJ_2 l} \right] \end{aligned}$$

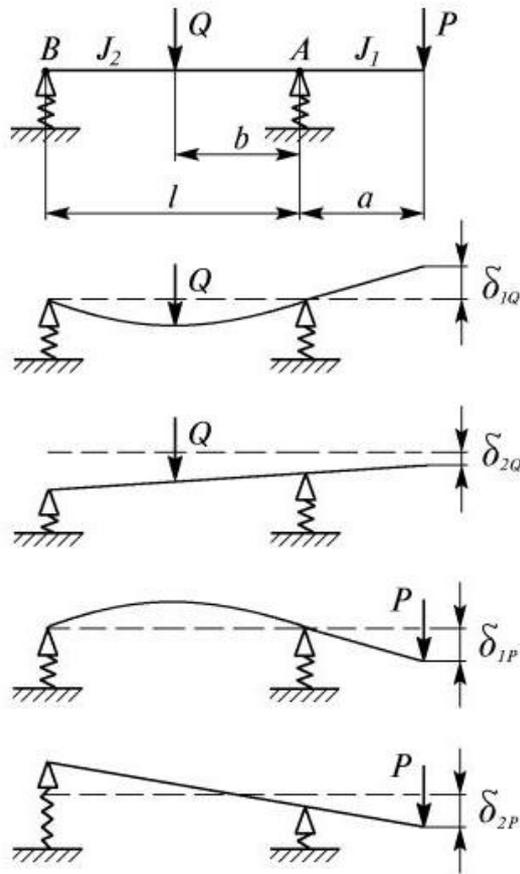


Рисунок 1.5.2 - Составляющие перемещения шпинделя в расчетном сечении

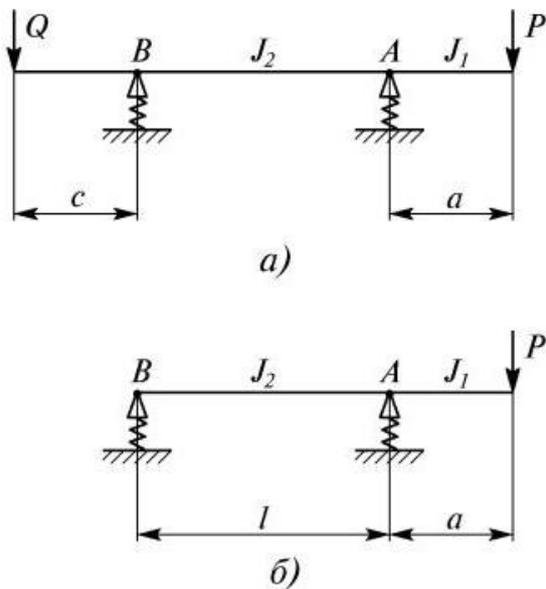


Рисунок 1.5.3 - Схемы расчета шпиндельного узла на жесткость

Угол поворота (рад) в передней опоре

$$\theta_A = \frac{1}{3EJ_2} [P_a l - \frac{Q}{2l} (b^3 + 2bl^2 + 3b^2 l)].$$

СХЕМА 2. Приводной элемент расположен на задней консоли на расстоянии  $C$  от задней опоры (рис. 1.5.3, а). Этот случай характерен для внутришлифовальных и отделочно-расточных головок. Перемещение переднего конца шпинделя с учетом защемляющего момента в передней опоре

$$\begin{aligned} \delta_y = \delta_y + \delta_y + \delta_y = & \frac{Pa^2}{3E} \left[ \frac{a}{J_1} + \frac{l(1-\epsilon)}{J_2} \right] + \\ + \frac{Qlac(1-\epsilon)}{6EJ^2} + P \left\{ \frac{1}{j_A} \left[ \frac{l+a(1-\epsilon)}{l} \right]^2 + \frac{a^2(1-\epsilon)}{jbl^2} - \right. \\ & \left. - Q(1-\epsilon) \left[ \frac{(l+a)c}{j_A l^2} + \frac{(l+c)a}{j_b l^2} \right] \right\} \end{aligned}$$

Перемещение переднего конца шпинделя при отсутствии защемляющего момента вычисляют по вышеприведенной формуле при  $\epsilon = 0$ .

СХЕМА 3. В данном случае на шпиндель действуют только силы резания  $P$  (рис. 1.5.3, б). Такие шпиндельные узлы часто применяют в прецизионных станках. Перемещение переднего конца шпинделя с учетом защемляющего момента в передней опоре

$$\begin{aligned} \delta_y = \delta_y + \delta_y + \delta_y = P \left\{ \frac{a^2}{3E} \left[ \frac{a}{J_1} + \frac{l(1-\epsilon)}{J_2} \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{j_A} \left[ \frac{l+a(1-\epsilon)}{l} \right]^2 + \frac{a^2(1-\epsilon)}{j_B l^2} + \frac{a}{GS_1} + \frac{a^2(1-\epsilon)}{GS_2 l} \right\} \end{aligned}$$

Угол поворота шпинделя в передней опоре

$$\theta = \frac{Pal}{3EJ_2}$$

#### **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в разработке конструкторской документации, на основе которой будет создано устройство имитации процесса резания. Объектом исследования при ее выполнении является устройство имитации процесса резания фрезерных станков.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НТИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

##### **4.1. Технико-экономическое обоснование НИР**

В настоящее время трудно представить выпуск высококачественной и конкурентоспособной продукции без эффективного использования

технологического оборудования. При этом неперенным условием для достижения данного результата является обеспечение высокой и стабильной работоспособности используемых металлообрабатывающих станков. Работоспособное состояние станка определяется установленными значениями совокупности параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции в соответствии со значениями выходных параметров, определенных требованиями нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной документации). При этом под выходными параметрами станка следует понимать числовые показатели его технических характеристик, которые определяют состояние машины и её возможности по выполнению заданных функций.

Для эффективного использования металлообрабатывающего оборудования необходимо обладать информацией о его работоспособности не только в процессе эксплуатации, но и в некоторый момент времени в будущем, что составляет задачу прогнозирования работоспособности.

На данный момент у данного проекта отсутствует коммерческий потенциал, т.к. выполняется в рамках ВКР. Но будут приложены все усилия, чтобы вывести готовое устройство на рынки продаж.

В данном разделе будет также представлен SWOT-анализ, позволяющий оценить явления и факторы, способствующие и препятствующие продвижению проекта на рынок. [19] В таблице 4.4 описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НТИ, которые могут появиться в его внешней среде.

Таблица 4.4 – SWOT-анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Разработка конструкторской документации и самого устройства, является принципиально новым;</p> <p>С2. Конструкторская документация, как и само устройство, описанные в работе, довольно просты в создании и несут в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Большой спектр возможного применения применения данного устройства;</p> <p>С4. Наличие опытного руководителя;</p> <p>С5. Легкость и доступность конструкторской документации позволяет легко разобраться в работе с устройством, а значит не требуется долгое обучение персонала</p>	<p>В1. Возможность перевода документации и правил эксплуатации устройства на иностранные языки;</p> <p>В2. Огромный потенциал заинтересованности иностранных коллег в устройстве;</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Сложность доведения конструкции и характеристик устройства до логического завершения и вывода на рынки.</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на устройство;</p> <p>У2. Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.</p>

Далее выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.5 – сильные стороны проекта

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1		+	-	+	-
B2		+	+	+	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: В1С1С3С5, В2С1С2С3.

Таблица 4.6 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1
	B1	
B2		0

Таблица 4.7 – сильные стороны проекта

Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	0	-	0
	У2	+	0	0	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 4.8 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1
	У1	-
	У2	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить, что коррелирующих слабых сторон не имеется.

Наибольшей угрозой является отсутствие спроса на устройство, но в настоящее время аналогов устройства не существует, поэтому данная угроза не прогнозируется. Также среди угроз можно отмечается низкий темп роста отраслей машиностроения и станкостроения, что в свою очередь может привести к закрытию некоторых машиностроительных предприятий.

Слабой стороной является сложность доведения конструкции и характеристик устройства до максимально приемлемых. Для решения этой проблемы нужно лишь время, чтобы провести полный анализ конструкции и сделать модернизацию устройства.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что данное НИР будет пользоваться спросом на российских и зарубежных рынка, т.к. каждое предприятие заинтересованно в поддержании жизнеспособности и продлении срока службы деталей машин. Но, пока, разработка проводится лишь в рамках ВКР, поэтому не преследует коммерческого потенциала, а больше направлена на проведения тщательного анализа.

#### **4.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию**

Для правильного планирования, а также финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР необходимо ее разбить на

этапы. Под этапом понимается крупная часть работы, которая имеет самостоятельное значение и является объемом планирования и финансирования. НИР имеет:

1. Подготовительный этап. Сбор, изучение и анализ, имеющийся информации. Определение состава исполнителей и соисполнителей, согласование с ними частных задач. Разработка и утверждение задания.

2. Разработка конструкторской документации.

3. Проведение численного эксперимента

4. Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки.

5. Завершающий этап. Рассмотрение результатов исследования. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

Данную НИР можно разделить на следующие этапы (Таблица 4.1):

- а) Разработка задания на НИР;
- б) Выбор направления исследования;
- в) Теоретические и экспериментальные исследования;
- г) Обобщение и оценка результатов;
- д) Оформление отчета НИР.

Работу выполняло 2 человека: руководитель, студент-дипломник.

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 4.1:

Таблица 4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Мойзес Б.Б.– руководитель; Спасенко В.С. – студент- дипломник.
<b>Проведение НИР</b>			

Выбор направления исследования	2	Изучение конструкций нагрузочно-имитирующих устройств металлорежущих станков	Спасенко В.С.
	3	Разработка конструкторской документации, на основе целей, задач и полученной информации	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
	4	Календарное планирование работ	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения численных экспериментов	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
	6	Снятие показаний	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
	7	Обработка полученных данных	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы по доработке устройства	Спасенко В.С.
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.
Оформление отчета НИР	10	Составление пояснительной записки	Спасенко В.С.

#### 4.2.1 Определение трудоемкости этапов НИР

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5} \quad (1)$$

Где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4)$$

Где  $T_{кг}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$  – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_k$  нужно округлить до целых чисел. [15]

Результаты расчетов приведены в таблице 4.2.2.

#### 4.2.2 Техническая готовность темы

Определение технической готовности темы позволяет дипломнику точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа. Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $Y_i$  – удельное значение каждой работы в %;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$T_p$  – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы  $\Gamma_i$ , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $\sum T_{pi}$  – нарастающая продолжительность на момент выполнения  $i$ -той работы. [16]

Результаты расчетов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.2 – Временные показатели проведения НИР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		$t_{\min}$ чел-дн.	$t_{\max}$ чел-дн	$t_{\text{ож}}$ чел-дн	$T_p$ раб.дн	$T_k$ кал.дн	$Y_i, \%$	$\Gamma_i, \%$
1	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	1	5	2,6	1,3	2	1,92	1,92
2	Спасенко В.С.	7	18	11,4	11,4	17	16,81	18,73
3	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	20	36	26,4	13,2	20	19,47	38,20
4	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	3	10	5,8	2,9	5	4,28	42,48
5	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	9	16	11,8	5,9	9	8,70	51,18
6	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	6	12	8,4	4,2	7	6,19	57,37
7	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	6	9	7,2	3,6	7	5,31	62,68
8	Спасенко В.С.	10	16	12,4	12,4	18	18,29	80,97
9	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	7	15	10,2	5,1	8	7,52	88,49
10	Спасенко В.С.	5	12	7,8	7,8	12	11,50	100,00
ИТОГО					67,8	105		

### 4.2.3 Построение графика работ

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

[16]

Таблица 4.3 – Календарный график проведения НИР

Этапы	Вид работы	Исполнители	$T_k$	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	3	■				
2	Изучение методов диагностики металлорежущих станков	Спасенко В.С.	17	■				
3	Разработка метода диагностики, на основе имитирующего устройства	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	20		■			
4	Календарное планирование работ	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	5			■		
5	Планирование проведения численных экспериментов	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	9			■		
6	Снятие показаний	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	7			■		
7	Обработка полученных данных	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	7			■		
8	Анализ полученных результатов, выводы	Спасенко В.С.	18				■	
9	Оценка эффективности полученных результатов	Мойзес Б.Б. Спасенко В.С.	8				■	
10	Составление пояснительной записки, Сдача результатов НИР	Спасенко В.С.	12					■

■ - руководитель, ■ - студент-дипломник.

В результате видно, что для выполнения работы требуется всего 2 человека и работа выполняется в течении 105 дней.

### 4.3 Смета затрат на разработку проекта

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. [16]

В данной работе моделирование и конструирование происходит на компьютере, поэтому материальные затраты отсутствуют.

Для проведения научно-исследовательской работы требуется компьютер и пакет программного обеспечения для моделирования.

Срок полезного использования: компьютер – по третьей группе (техника электронно-вычислительная): 15 лет. Срок полезного использования программного обеспечения, как не материальных активов составляет 10 лет [18]

Рассчитываем материальные затраты используется один компьютер стоимостью 50000 рублей, и программное обеспечение на сумму 50000 рублей.

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в

последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. [16]

Рассчитаем амортизацию оборудования техники  $I_{\text{ам.обор}}$ , по следующей формуле

$$I_{\text{ам.обор}} = \left( \frac{T_{\text{исп.обор}}}{365} \right) \cdot K_{\text{обор}} \cdot H_a,$$

где:  $T_{\text{исп.обор}}$  – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$  – стоимость оборудования;

$H_a$  – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}},$$

где  $T_{\text{с.с.обор}}$  – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам.комп}} = \left( \frac{T_{\text{исп.комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot H_a = \left( \frac{100}{365} \right) \cdot 50000 \cdot \frac{1}{15} = 913$$

$$I_{\text{ам.нем.акт}} = \left( \frac{T_{\text{исп.нем.акт}}}{365} \right) \cdot K_{\text{нем.акт}} \cdot H_a = \left( \frac{100}{365} \right) \cdot 50000 \cdot \frac{1}{10} = 1370$$

Так как для исследования нужен только компьютер и программное обеспечение, то  $I_{\text{ам.комп}} + I_{\text{ам.нем.акт}} = I_{\text{ам.обор}}$

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат. [18]

Примем, что полный фонд заработной платы ( $\Phi_{зп}$ ):

$$\Phi_{зп} = 30000 \text{ руб}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ( $I_{соц.отч.}$ ):

$$I_{соц.отч} = ЕСН = 0,3 \cdot \Phi_{зп} = 0,3 \cdot 30000 = 9000$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:

$$I_{накл.расх} = 2 \cdot \Phi_{зп} = 2 \cdot 30000 = 60000 \text{ руб}$$

Рассчитываем себестоимость проекта ( $K_{проекта}$ ).

$$K_{проекта} = I_{ам.обор} + I_{нем.акт} + \Phi_{зп} + I_{накл.расх} + I_{соц.отч} = 913 + 1370 + 30000 + 60000 + 9000 = 101283$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \cdot K_{проекта} = 0,3 \cdot 101283 = 30385$$

Рассчитываем стоимость проекта ( $Ц$ ):

$$Ц = K_{проекта} + ПР = K_{проекта} + ПР = 101283 + 30385 = 131668$$

Таблица 4.9 - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Амортизация оборудования	$I_{ам,обор}$	913

Амортизация нематериальных активов	$I_{ам,нем. акт}$	1370
Затраты на оплату труда	ЗП	30000
Отчисления на социальные нужды	$I_{соц.отч}$	9000
Накладные расходы	$I_{накл.расх}$	60000
Себестоимость проекта	$K_{проекта}$	101283
Плановые накопления (прибыль)	ПР	30385
Стоимость проекта (цена)	Ц	131688

Исходя из расчетов и полученных результатов приведенных в таблице 4, можно сделать вывод, что данная научно-исследовательская работа входит в обозначенные бюджетные ограничения, так как стоимость проекта равная 131168 рублей, меньше приблизительной суммы затрат равной 220 тысяч рублей.

#### 4.4 Оценка целесообразности исследования

##### 4.4.1 Оценка научно-технического уровня исследования

Для определения научно - технического уровня проекта, его научной ценности, технической значимости и эффективности необходимо, рассчитать коэффициент научно-технического уровня (НТУ).

Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок. Суть метода состоит в присвоении каждому из признаков НТУ определенного числа баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик.

Формула для определения общей оценки:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i * П_i$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$П_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 4.3.1 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,8
Теоретический уровень	0,6

Возможность реализации	0,5
------------------------	-----

Таблица 4.3.2 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 4.3.3 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Разработка конструкторской документации для нового устройства	10
Глубокий анализ возможных проблем	8
Разработка численных экспериментов	6
Элементарный анализ результатов исследования	3

Таблица 4.3.4 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	5
Свыше 10 лет	3

Расчет НТУ:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,6$ ;  $k_3 = 0,5$ ;

$\Pi_1 = 8$ ;  $\Pi_2 = 6$ ;  $\Pi_3 = 4$ ;

$$\text{НТУ} = 0,8*8+0,6*6+0,5*4 = 12.$$

По полученным значениям коэффициент научно-технического уровня (НТУ) можно сказать о достаточно высоком научно - техническом уровне исследования, его научной ценности, технической значимости и эффективности.

#### 4.4.2 Оценка возможных рисков

Оценка рисков – один из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков позволяет избежать опасных факторов, которые негативно отражаются на внедрении проекта в большой мир. Для этого проведем оценку возможных рисков.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления ( $P_i$ ). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10- балльной шкале  $b_i$ . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 4.3.5-4.3.9

Таблица 4.3.5 – Социальные риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация персонала	0	2	0,061	0
2	Непросвещенность предприятий о данном устройстве	50	4	0,168	8,4
3	Несоблюдение техники безопасности	25	6	0,23	5,75
4	Увеличение нагрузки на персонал	50	3	0,168	8,4
	Сумма		15	0,627	22,55

Таблица 4.3.6 – Экономические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	3	0,029	2,9
2	Экономический кризис	25	4	0,049	1,225
3	Непредвиденные расходы в плане работ	25	5	0,126	3,15
4	Сложность выхода на мировой рынок	75	6	0,136	10,2
	Сумма		18	0,34	17,475

Таблица 4.3.7 – Технологические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	6	0,24	6
2	Низкое качество программного обеспечения	25	8	0,313	7,825
	Сумма		14	0,553	13,825

Таблица 4.3.8 – Научно-технические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных устройств в этой области	50	5	0,135	6,75
2	Отсутствие результата в установленные сроки	25	6	0,123	3,075
3	Несвоевременное патентование	25	7	0,176	4,4
	Сумма		18	0,434	14,225

Таблица 4.3.9 – Общие риски

№ п/п	Риски	$b_i$	$w_i$	$b_i \cdot w_i$
1	Социальные	15	0,627	9,405
2	Экономические	18	0,34	6,12
3	Технологические	14	0,553	7,742
4	Научно-технические	18	0,434	7,812
Итого				31,079

Итоговая оценка при расчете рисков 31,079. Это говорит о том, что проект имеет право на существование, но при этом не лишен вероятных препятствий.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования на примере SWOT-анализа, результат которого показал большой потенциал применения конструкторской документации для дальнейшей модернизации и самого устройства для испытания фрезерных станков.

2) Определен полный перечень работ, проводимых при компьютерном моделировании. Определена трудоемкость проведения работ. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя и студента-исполнителя составила 104 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 105 календарных дней.

3) Суммарный бюджет затрат НИР составил – 131168 рублей.

4) Определена целесообразность и эффективность научного исследования путем оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического уровня и приемлемый уровень рисков.

Стоит отметить важность проведенных работ в данной главе для проекта, ведь это позволило объективно оценить эффективность научно-технического исследования.

### **Список публикаций студента:**

1. Бессонов Н.С., Спасенко В.С., Глиненко Е.В., Хайруллин, А.Р. Метод диагностики фрезерных станков // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: V Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — С. 42-43.

2. Спасенко В.С., Бессонов Н.С., Глиненко Е.В., Мельнов К.В. Устройство для испытания фрезерных станков // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: V Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. в 3 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — С. 205-206