

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра технологии машиностроения и промышленной роботизации

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование и исследование имитационного стенда для диагностики металлообрабатывающего оборудования

УДК 621.7.06.018.2 - 047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Глиненко Елена Викторовна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Вильнин А.Д.			

Томск – 2017г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,
профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИК ТПУ, кафедра ТМСР, руководитель ООП ИоппаА.В.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>нового</i> технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ПК-19, 20) ¹ , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<i>Разрабатывать и проектировать</i> новое оборудование и технологические машины и использовать <i>новое</i> оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5, 23, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i>

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств),

		<i>и FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, nano технологий.	Требования ФГОС ВО (ПК-21, 24, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 2, 4, 14, 15, 25), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ПК-7, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС ВО (ПК-6, 17, 18, ОК-10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности,	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5),

	компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 5), Критерий 5 АИОР (2.6), 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 кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра технологии машиностроения и промышленной роботизации

УТВЕРЖДАЮ
И.о. зав. кафедрой

Подпись дата ФИО

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ51	Глиненко Елене Викторовне

Тема работы:

Моделирование и исследование имитационного стенда для диагностики металлообрабатывающего оборудования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.04.2017 №699/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ **Исходные данные к работе**

Объект исследования: модель стенда и стенд для диагностики металлообрабатывающего оборудования
Предмет исследования: моделирование динамической системы металлообрабатывающего оборудования
Количество масс в динамической системе – 4
Ориентировочная жесткость шпиндельных узлов – $c_1=10 \cdot 10^6$ Н/м, $c_2=40 \cdot 10^6$ Н/м, $c_3=40 \cdot 10^6$ Н/м, $c_4=10 \cdot 10^6$ Н/м
Вес стенда не более – 10 кг, без учета рамы и двигателя
Габариты стенда не более – 510x120x120 (мм)
Режим нагружения - периодический.
Вредного влияния на окружающую среду нет.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор по источникам информации для выявления достижений науки и техники в области исследований динамической системы металлообрабатывающего оборудования Разработка и исследование модели станда для диагностики металлообрабатывающего оборудования Диагностика технического состояния станка-прототипа модели станда. Проверка модели на адекватность. Моделирование процессов диагностики технического состояния станка на стенде проверка модели на адекватность. Разработка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность», раздела «Расчеты и аналитика» на английском языке Заключение по работе
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	3D модель Сборочный чертеж станда (первая итерация)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Пустовойтова М.И.
Английский язык	Куркан Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Глиненко Е.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 111с., 19 рис., 22 табл., 29 источников, 2 прил.

Ключевые слова: вибрация, оперативная диагностика, технологическое оборудование, информационно-измерительные средства и технологии, мобильный комплекс, устройство имитации, разработка метода.

Объект исследования - модель станда и стенд для диагностики металлообрабатывающего оборудования.

Цель работы – разработка метода диагностики технического состояния металлообрабатывающего оборудования на основе созданного устройства имитации процесса резания.

В процессе исследования проводились: разработка математической модели станда для исследования металлообрабатывающего оборудования, а также исследование математической модели и экспериментальное определение ее адекватности.

В результате проведения работы создана и исследована математическая модель станда, проведены физические эксперименты на станке-прототипе и непосредственно на стенде.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- закон нагружения – циклический
- реализуемые частоты вращения – 0..3000 об/мин. С плавным регулированием частот
- вес - не более 10 кг, без учета рамы и двигателя
- габариты 510x120x120 (мм), без учета рамы и двигателя.

Степень внедрения: результаты исследования будут использоваться при разработке и эксплуатации фрезерных станков.

Область применения: станкостроение

Экономическая эффективность/значимость работы определена путем оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического уровня и приемлемый уровень рисков.

В будущем планируется произвести исследование станка в рамках применимости к другим типам оборудования, с целью расширения номенклатуры исследуемого технологического оборудования.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины и основные понятия с соответствующими определениями:

Вибрация - это механические колебания, сопровождающие работу практически любого механизма. Как правило, она возникает под действием центробежных сил, вызываемых либо дисбалансом вращающихся узлов, либо большой разницей масс движущихся деталей.

Динамика - раздел механики, посвящённый изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил.

Колебание - процесс поочередного возрастания или убывания какой-либо величины.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	12
<i>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</i>	14
<i>2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</i>	21
2.1. Цели проводимой работы	21
2.2. Обоснование для разработки	21
2.3. Основное содержание работы	21
2.4. Методы исследования	21
2.5. Источники разработки	22
2.6. Основные технические характеристики установки	22
<i>3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА</i>	23
3.1. Постановка задачи исследования	23
3.2. Разработка первой итерации структурной схемы стенда	26
3.3. Создание математической модели	28
3.4. Исследование математической модели.	30
3.5. Экспериментальная часть	35
3.5.1. Физический эксперимент на станке - прототипе	35
3.5.2. Физический эксперимент на стенде	41
3.6. Сравнение результатов. Оценка адекватности созданной математической модели.	46
<i>4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ</i>	48
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.	49
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений	51
4.1.2. SWOT– анализ	52
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	54
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	54
4.2.2. Определение трудоемкости выполняемых работ	55
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	56
4.2.4. Бюджет научно-технического исследования	59
4.2.5. Расчет материальных затрат НТИ	59

4.2.6. Основная заработная плата исполнителей	60
4.2.7. Дополнительная заработная плата исполнителей	62
4.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды	63
4.2.9. Контрагентные расходы	64
4.2.10. Накладные расходы.	66
4.2.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.	67
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	69
5.1. Анализ производственной среды	69
5.2. Практическая значимость работы	70
5.3. Организация рабочего пространства	70
5.4. Микроклимат	71
5.5. Освещение на рабочем месте	73
5.6. Анализ пожаро-взрывоопасности	76
5.7. Охрана окружающей среды	80
5.7.1. Региональная безопасность	80
5.7.2. Защита атмосферы	81
5.7.3. Защита от шума	81
5.7.4. Защита от электромагнитных полей	82
5.8. Организация рабочего места	82
5.8.1. Организация рабочего места оператора ПЭВМ	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	87
СПИСОКИСПОЛЬЗУЕМЫХИСТОЧНИКОВ	89
Нормативная литература	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А	92
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	116
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.2	118

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций развития машиностроения является постоянное увеличение производительности при механообработке деталей и повышение точности и качества поверхности получаемых деталей. Для получения высокой производительности применяется в том числе и высокоскоростное резание, которое, зачастую сопровождается явлениями резонанса в элементах конкретной технологической системы (ТС). Эксплуатация в условиях резонанса не только ускоряет процесс изнашивания инструмента, но и сокращает долговечность элементов системы *станок - приспособление - инструмент - деталь (СПИД)*, но и приводит к увеличению числа брака, а кроме того, к снижению качества и точности обработки. В то же самое время, обнаружение частотных зон, в которых появление резонансных зон наиболее вероятно, весьма затруднено без использования специального оборудования.

Имитация (физическое моделирование) рабочих процессов технологического оборудования применяется для воспроизведения в машине тех же самых явлений, что возникают в процессе эксплуатации оборудования (в частности рассматривается процесс резания) в реальности.

Именно имитационные методы позволяют в лабораторных испытаниях искусственно воссоздавать условия и спектр статических и динамических нагрузок, регистрировать переменные параметры динамической системы, определять ее передаточные функции. [1]

Такие методы исследования позволяют оценить надежность системы, если рассматривать этот термин, как способность технологического оборудования в допустимых пределах (нагрузки и упругие перемещения не превышают допустимых показателей).

Имитации при стендовых испытаниях подлежат силовые, тепловые и иные воздействия окружающей среды. Силовые воздействия в механической системе реализуются:

- прямым воспроизведением равнодействующих сил рабочих процессов
- воссозданием откликов системы, идентичных откликам на внешние воздействия при реальных рабочих процессах, то есть методом косвенного воздействия
- совмещенным (комбинированным) методом, когда часть нагрузок воспроизводится прямым способом, а часть - косвенным. [1]

Подход, рассматриваемый в данной работе, основан на моделировании процессов в ТС при обработке заготовки (метод косвенного воздействия). Моделирование процессов позволит в дальнейшем построить спектральные и амплитудно-частотные характеристики элементов технологической системы, тем самым определить диапазоны частот с повышенным уровнем вибрации и избежать работы в них при реальной механической обработке.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Одна из главных тенденций в машиностроении это снижение уровня брака и увеличение производительности при механической обработке деталей. И если на оборудовании, применяются режимы резания возбуждающие колебания, которые совпадают с собственными частотами оборудования, то возникает повышенная вибрация, нарушающая нормальную работу станка. За периоды обнаружения, нахождения причины вибрации, нахождения безвибрационных режимов резания оборудование простаивает, производительность падает, количество брака растет. Таким образом, вибрационный анализ применяется в первую очередь для определения оптимальных режимов работы.

Методы диагностики технологического оборудования

Работа по обеспечению надежности должна носить комплексный характер, охватывая все стадии жизненного цикла оборудования. При этом необходимо исходить из принципа, что надежность закладывается при проектировании оборудования, обеспечивается при изготовлении, восстанавливается и поддерживается при эксплуатации и ремонте. Относительно способа получения исходных данных методы определения показателей надежности подразделяются на расчетные, экспериментальные и расчетно-экспериментальные. Расчетные методы являются наиболее надёжным источником получения информации о будущем поведении машины.

Однако расчетный метод, получил большую популярность для радиоэлектронных устройств, в машиностроении не оформить в инженерный вид, ввиду сложности проблемы, потому что не высокая точность определения износных, динамических и усталостных параметров происходящих в машине, в связи с отсутствием необходимого объема опытных данных о влиянии процессов.

В экспериментальных методах используются статические данные для определения показателей надёжности, полученных при стендовых испытаниях. Основные методы для определения и контроля численных показателей надёжности во всех случаях – экспериментальные методы.

Вся информация, которую получают как в процессе эксплуатации машин, так и на различных этапах создания и отработки механизмов, является основой знаний, относительно которых базируется проектная и производственная деятельность предприятия. Разработка ускоренных методов для определения количественных значений показателей надёжности сейчас является одной из основных задач для проведения испытаний на надёжность при помощи стендов.

Расчетно-экспериментальные методы основываются на вычислении количественных показателей надёжности по исходным данным, которые определяются экспериментальным путем. По существу это сочетание двух рассмотренных выше методов. Данный метод применяется, когда по техническим, экономическим или организационным причинам невозможно контролировать показатели надёжности экспериментальными методами с заданной точностью. Техническая диагностика, как средство поддержания надёжности.

«Эксплуатационные и стендовые испытания -основные источники получения информации о надёжности, цель которых — определение уровня надёжности машины и выявление причин, снижающих этот уровень. В ходе испытаний определяют фактические сроки службы основных узлов машины и, для менее долговечных устанавливают причины отказов машины и их физическую сущность, исследуют динамику износа деталей и узлов, рассчитывают показатели надёжности и закономерности их изменения во времени, проводят сравнительный анализ работоспособности альтернативных вариантов конструкции»

Вибрационный анализ при имитации процессов резания.

Имитация процессов резания и исследование имитационных моделей позволяет сделать более полные выводы при комплексной диагностике станков, не прибегая при этом к эксплуатации непосредственно самих сложных технологических систем.



Рисунок 1. Вредные факторы, возникающие при контакте инструмента с заготовкой.

В процессе механического воздействия происходит контакт возмущающего устройства с заготовкой напрямую, в результате чего, возникает снижение надежности данной технологической системы.

Примером проведения вибрационного анализа при имитации процесса работы металлообрабатывающего оборудования можно считать учебный стенд для вибродиагностики и балансировки ДИАМЕХ СУ2013. Это оборудование позволяет производить исследования горизонтально-ориентированных роторных машин. Данный стенд используется в учебных целях, для изучения процесса вибрационного анализа и дальнейшей настройки оборудования. Кроме того, для учебных стендов ДИАМЕХ СУ2013 есть адаптированное программное обеспечение, выводящее в графической форме на ПК данные полученные в процессе имитации.

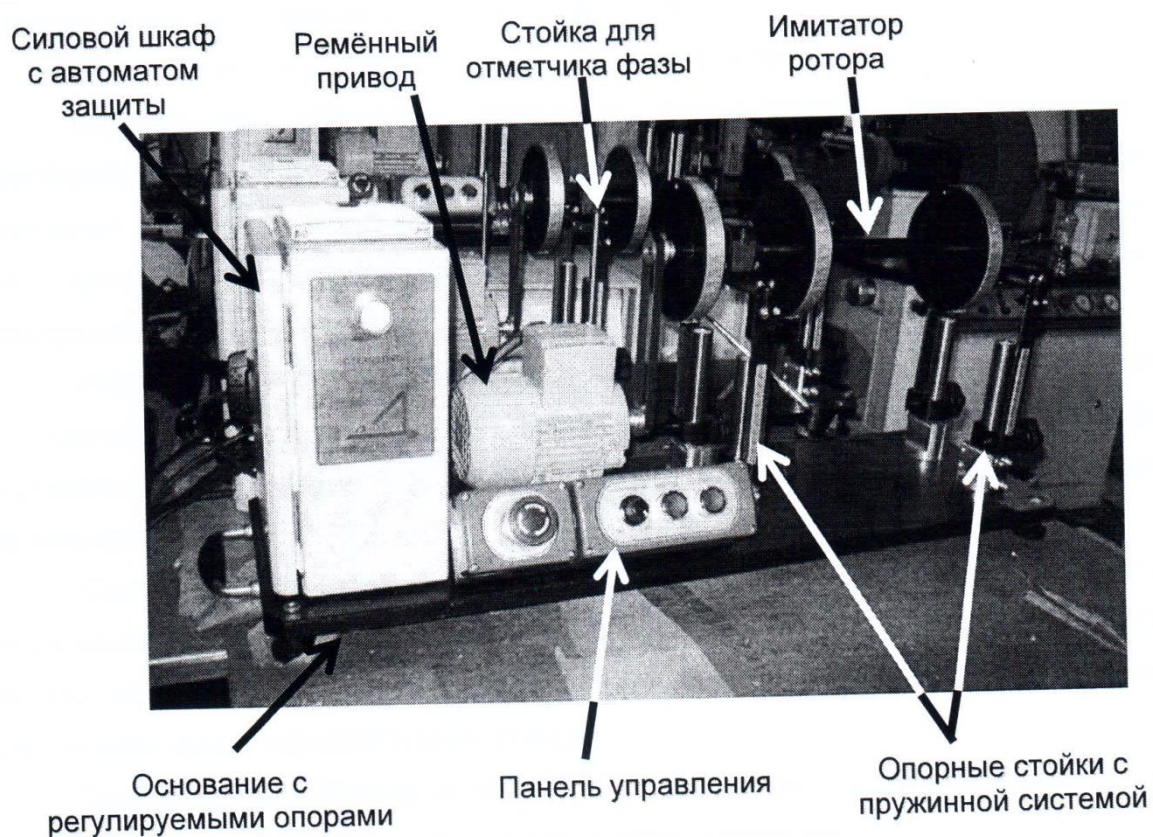


Рисунок 2. Учебный стенд ДИАМЕХ СУ 2013.

Учебное оборудование ДИАМЕХ позволяет производить имитацию процесса работы технологического оборудования. При этом, стенд содержит в себе ряд минусов:

- узкий спектр исследуемого технологического оборудования (горизонтально-фрезерные и токарные станки);
- узкий спектр нагрузок (возмущающее колебание может быть задано в диапазоне 75-125 Гц).

Выбег. 10.04.17 17:36:01 32 (П)
Время 138.28с Об/мин 1354.8 Амплитуда 171.05мкм Фаза 250.1°

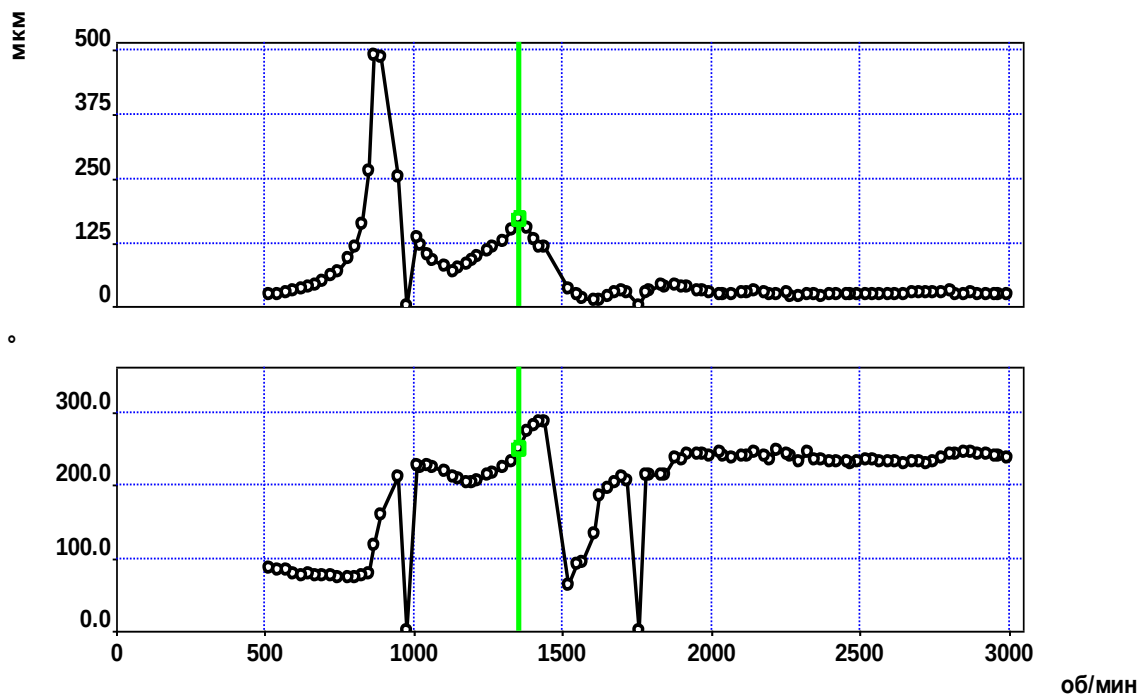


Рисунок 3. Пример данных получаемых на учебном стенде ДИАМЕХ
СУ2013

Виброизмерительное и балансировочное оборудование применяется практически во всех отраслях современной промышленности.

На сегодняшний день, список инструментов и методов вибрационного анализа регулярно пополняются. Сочетание различных методик и средств измерения открывает все новые и новые перспективы в вибрационном анализе. Исследования проводятся и в статическом состоянии, и при динамических нагрузках. Кроме того, на сегодняшний день посредством вибрационного анализа изучаются всевозможные методы обработки материалов: микрообработка материалов, обработка тонкостенных металлов, встречное фрезерование, бурение различными инструментами и так далее.

Все существующие методы, так или иначе, являются интеграцией программного обеспечения, инструментов для измерения уровня вибраций и методом измерения. В любом случае, существующие средства виброанализа требуют больших умственных, физических и временных затрат. Исследуемый же стенд позволяет проводить исследования комплексно с меньшими временными и энерго- затратами, так как он имитирует процесс

резания, а значит не требует непосредственного запуска оборудования в работу.

Предлагаемый метод основан на спектральном анализе математической модели оборудования и позволяет определить безвибрационные режимы резания. Полученные спектры узлов оборудования позволяют определить частоты, на которых вибрации минимальны и, соответственно, определить режимы резания для заданного типа технологического оборудования.

Для реализации диагностики расчетно-экспериментальным методом в качестве дополнительного оборудования использован переносной комплекс для оперативной диагностики элементов технологической системы. Данный комплекс является разработкой ученых ТПУ совместно с «ООО ВиТэк». Оборудование включает в себя:

- датчики-акселерометры;
- измерительный модуль NI-9234;
- ноутбук с установленным специализированным программным обеспечением «Виброрегистратор-Ф2».

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Цели проводимой работы

Создание и исследование математической модели имитационного стенда для определения его параметров при дальнейшем проектировании.

2.2. Обоснование для разработки

Актуальность работы обусловлена отсутствием имитационного оборудования, дающего полную комплексную диагностику. Разрабатываемый на кафедре ТМСПР стенд позволяет реализовать простую и понятную методику исследования. Для полноценной отладки комплекса и его эксплуатации необходимо произвести дополнительные исследования и определить реальность применения его на практике.

2.3. Основное содержание работы

Создание математической модели проектируемого стенда и ее анализ с целью определения оптимальных параметров работы.

2.4. Методы исследования

В качестве метода исследования выбран расчетно-экспериментальный метод. Именно этот метод включает в себя и эмпирическое и теоретическое исследование, что позволяет представить более полную картину о работе имитационного стенда.

Математическое исследование проводится в программе MatLAB.

Экспериментальная часть проводится на станке – прототипе и на первой испытательной модели имитационного стенда для исследования металлообрабатывающего оборудования.

2.5. Источники разработки

- 2.5.1. результаты, полученные при выполнении научно-исследовательских работ;
- 2.5.2. исходные данные на моделирование испытательного стенда, разработанных с заказчиком: станок – прототип для проведения физического эксперимента, физические параметры для исследования математической модели.

2.6. Основные технические характеристики установки

- Закон нагружения – циклический
- Реализуемые частоты вращения – 0..3000 об/мин. С плавным регулированием частот
- Вес - не более 16 кг, без учета рамы и двигателя
- Габариты – 510x120x120 (мм)

3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

3.1. Постановка задачи исследования.

Предварительная работа обосновала актуальность разработки относительно простого имитационного вибродиагностического устройства. Имеющиеся устройства для вибродиагностики довольно сложны как с конструктивной стороны, так и в реализации методики поведения испытаний, кроме того, они требуют наличия реального оборудования в исследовании, что влечет дополнительные трудо- и энергозатраты.

Коллективом студентов кафедры ТМСПР была предложена разработка стенда для исследования металлообрабатывающего оборудования. Данный диагностический комплекс является разносторонним проектом, каждый из аспектов которого разрабатывается отдельно ответственным исполнителем.

В данной выпускной квалификационной работе представлено математическое и экспериментальное исследование данного оборудования на жизнеспособность и применимость его в реальной жизни для проведения вибрационного анализа технологического оборудования посредством имитации. Совместными усилиями всех членов команды, занимающихся разработкой имитационного стенда для исследования металлообрабатывающего оборудования создана первая итерация 3D модели стенда, на которой базируется дальнейшее построение и исследование математической модели.

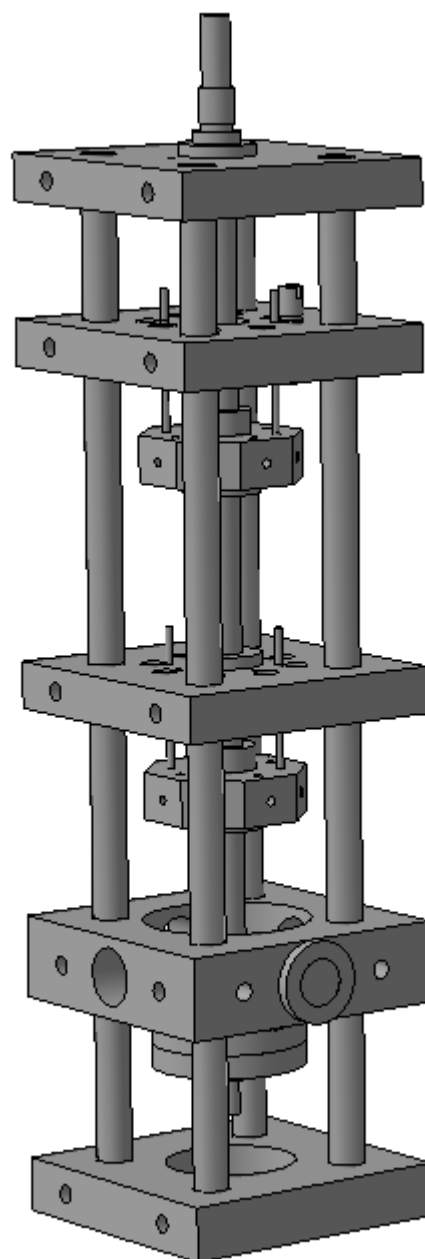


Рисунок 4. Имитационный стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования. 3Dмодель.

Далее, представлена приблизительная кинематическая схема стенда.

Стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования представляет собой систему, состоящую из двухопорного вала 1, в данных подпружиненных опорах которого установлены подшипники скольжения 2. Вращение от электродвигателя 3 на вал передаётся через муфту 4. Изменение

частоты вращения электродвигателя осуществляется частотным преобразователем 5. Сам станд жёстко закреплён на четырёх опорах 6. Внешняя нагрузка на фрезу 7, задаётся устройством нагружения 8 при помощи генератора 9. Вибрация на подпружиненных опорах вала и электродвигателя измеряется пьезоэлектрическими акселерометрами 10, сигналы с которых, совместно с сигналом датчика оборотов 11, измеряющим скорость вращения вала, передаются на согласующий вход виброанализатора 12, в дальнейшем он направляет сигнал на персональный компьютер 13.

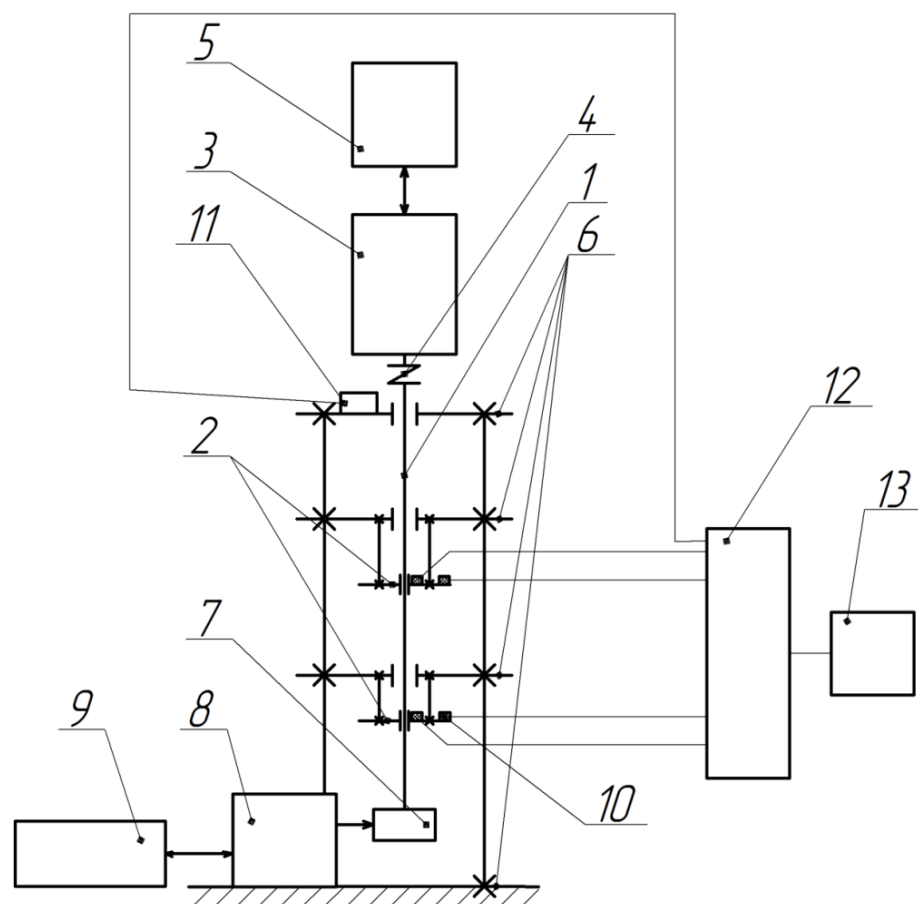


Рисунок 5. Кинематическая схема станда

Для проведения дальнейшего исследования встает задача разработки первой итерации структурной схемы станда.

3.2. Разработка первой итерации структурной схемы станда.

Анализ конструкции фрезерных консольных станков, а также, станка - прототипа, предложенного заказчиком, позволил определить количество "масс" (основных элементов системы) для математической модели - 4. Анализ количества масс будущей системы позволил построить структурную упрощенную схему станда. Структурная схема станда для имитации процессов резания, которая будет исследована в данной работе, представлена на рисунке ниже.

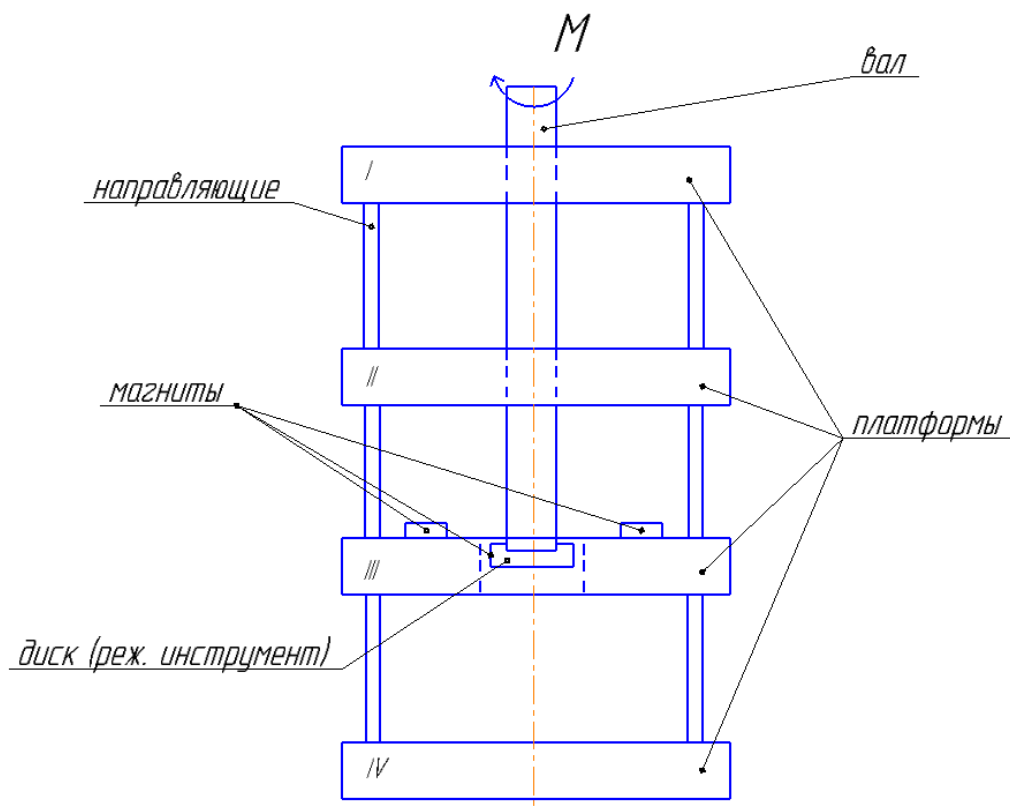


Рисунок 6. Структурная схема станда для исследования металлообрабатывающего оборудования.

В упрощенном виде, стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования состоит из каркаса (4 платформы, закрепленных на неподвижных направляющих); вращающегося вала; магнитов, датчиков.

В верхних платформах вал закреплен в подвижных опорах. Вал приводится в движение двигателем. На свободном конце вала закреплен

диск, имитирующий режущий инструмент при фрезеровании. Этот диск погружен в отверстие в третьей платформе. На диске и третьей платформе располагаются магниты, что позволяет имитировать нагрузки, возникающие в процессе механической обработки материалов.

Для проведения дальнейшего математического исследования узлы станда можно условно принять соответствующими некоторым узлам фрезерного станка: платформы I и II имитируют динамику фрезерной бабки (при исследовании играют роль одного объекта, m_2), платформа III играет роль заготовки (m_1); платформа IV представляет собой основание станда, аналогична основанию станка в исследовании (m_3); и, наконец, вал, с закрепленным на нем диском представляет собой режущий инструмент (m_4).

Таким образом, на данном этапе осуществлена подготовка к построению математической модели, и возможно построение математической модели станда для исследования металлообрабатывающего оборудования.

3.3. Создание математической модели.

Анализ источников информации, навык исследования динамики тел и определенное количество элементов исследуемой системы позволили создать математическую модель станда. Первым этапом создается расчетная схема, после чего, создается система уравнений, представляющих собой математическую модель динамики исследуемого оборудования.

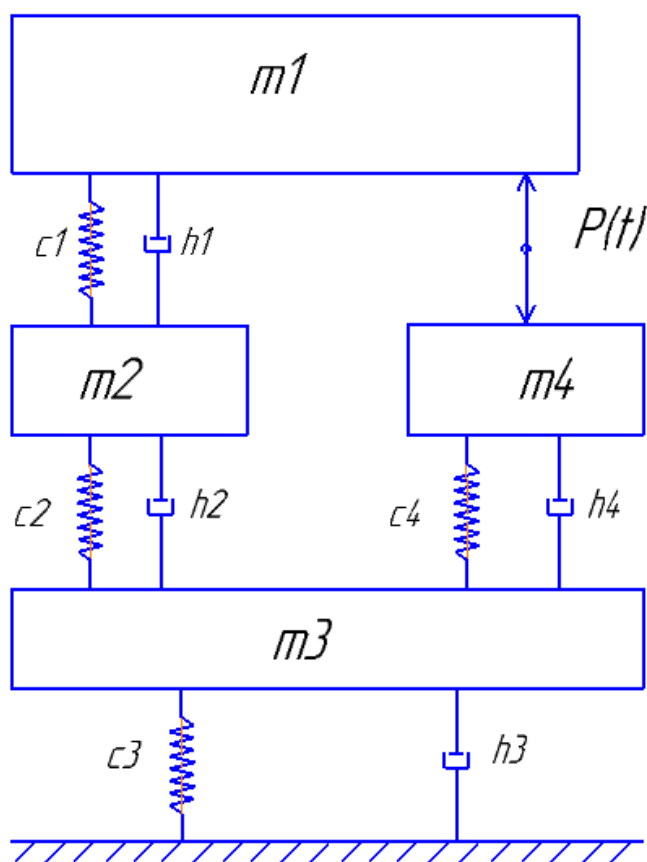


Рисунок 7. Расчетная схема.

При механической обработке возникают силы резания, которые воспринимаются в первую очередь режущим инструментом и заготовкой, соответственно.

По расчетной схеме, представленной на рисунке 7, составим систему уравнений динамики для каждой массы:

$$\begin{aligned}
Fm1 + Fh12 + Fc12 &= P(t) \\
Fm2 - Fh32 + Fh12 - Fc32 + Fc12 &= 0 \\
Fm3 - Fh34 + Fh23 - Fh43 - Fc34 + Fc23 - Fc43 &= 0 \\
Fm4 + Fh43 + Fc43 &= P(t)
\end{aligned}$$

Далее, проведем преобразование

$$\begin{cases}
m1 \cdot a1 + h1 \cdot (V2 - V1) + c1 \cdot (x2 - x1) = P(t) \\
m2 \cdot a2 - h2 \cdot (V2 - V3) + h1 \cdot (V1 - V2) - c2 \cdot (x2 - x3) + c1 \cdot (x1 - x2) = 0 \\
m3 \cdot a3 + h3 \cdot V3 - h2 \cdot (V3 - V2) - h4 \cdot (V4 - V3) + c3 \cdot x3 - c2 \cdot (x3 - x2) - c4 \cdot (x4 - x3) = 0 \\
m4 \cdot a4 + h4 \cdot (V4 - V3) + c4 \cdot (x4 - x3) = P(t)
\end{cases}$$

или:

$$\begin{cases}
m1 \cdot \ddot{x1} + h1 \cdot (\dot{x2} - \dot{x1}) + c1 \cdot (x2 - x1) = P(t) \\
m2 \cdot \ddot{x2} - h2 \cdot (\dot{x2} - \dot{x3}) + h1 \cdot (\dot{x1} - \dot{x2}) - c2 \cdot (x2 - x3) + c1 \cdot (x1 - x2) = 0 \\
m3 \cdot \ddot{x3} + h3 \cdot \dot{x3} - h2 \cdot (\dot{x3} - \dot{x2}) - h4 \cdot (\dot{x4} - \dot{x3}) + c3 \cdot x3 - c2 \cdot (x3 - x2) - c4 \cdot (x4 - x3) = 0 \\
m4 \cdot \ddot{x4} + h4 \cdot (\dot{x4} - \dot{x3}) + c4 \cdot (x4 - x3) = P(t)
\end{cases}$$

3.4. Исследование математической модели.

Метод исследования

Для проведения дальнейшего исследования выбрана среда MatLab. Метод проведения исследования - метод Рунге– Кутта, используя решатель ode45. Выбранный метод позволяет построить схему интегрирования дифференциального уравнения любого порядка.

Определение начальных условий

Следует отметить, что значения коэффициентов (таблица) при моделировании приняты согласно значениям реальной ТС, предоставленной предприятием - заказчиком.

Таблица 1. Значения физических параметров, коэффициентов математической модели.

	1	2	3	4
Масса m , Н·с ² /м	8	80	220	35,2
Коэффициент жесткости c , 10^6 Н/м	10	40	40	10
Коэффициент демпфирования h , Н с/м	100	100	120	85
Амплитудное значение силы P_{0z} , Н	400			

Для дальнейшего сравнения произведем подсчет собственных частот всех составляющих системы, для предупреждения резонанса.

$$\omega_{\text{собств}} = \frac{\sqrt{\frac{c}{m}}}{2\pi};$$

Таблица 2. Собственные частоты тел 1-4

Тело	$\omega_{\text{собств, Гц}}$
1	205,5
2	113
3	68
4	85

Построение плана моделирования

При моделировании принят гармонический закон изменения силы $P(t)$, которая содержит постоянную P_{0x} и переменную P_0 составляющие [3]

$$P(t) = P_{0z} \cdot \sin(Z \cdot \omega \cdot t);$$

где P_{0z} — амплитудное значение переменной возмущающей силы;

$\omega = 2 \pi f$ — угловая

частота (частота), рад/с, f (Гц);

t — время, с;

P_{0z} — составляющая силы резания.

Z -число зубьев фрезы.

Для проведения исследования, угловую частоту примем равной 7 Гц, что соответствует частоте вращения шпинделя (мотора) 400 об/мин, а число зубьев фрезы-2.

$$\omega = 7 \text{ Гц} = 50 \text{ рад/с};$$

$$Z=2;$$

Далее, производим анализ системы при помощи компонента MatLab. Производим исследование по методу Рунге-Кутты, с использованием решателя ode45.

Результаты математического моделирования

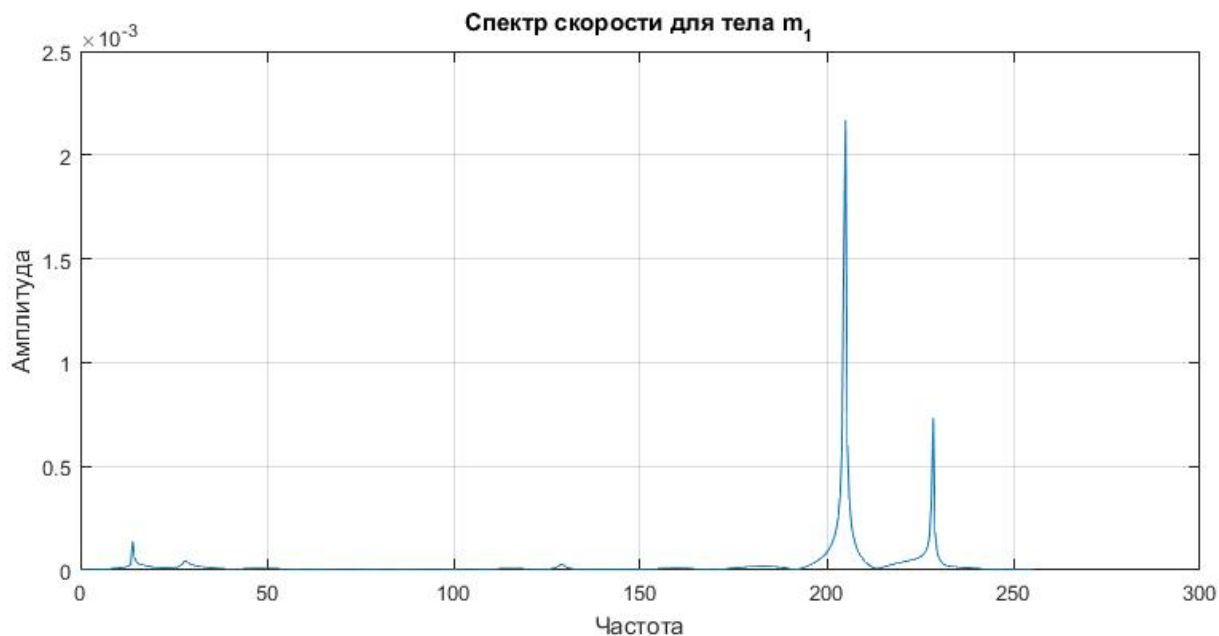


Рисунок 8. Характеристики, полученные для тела m_1 .

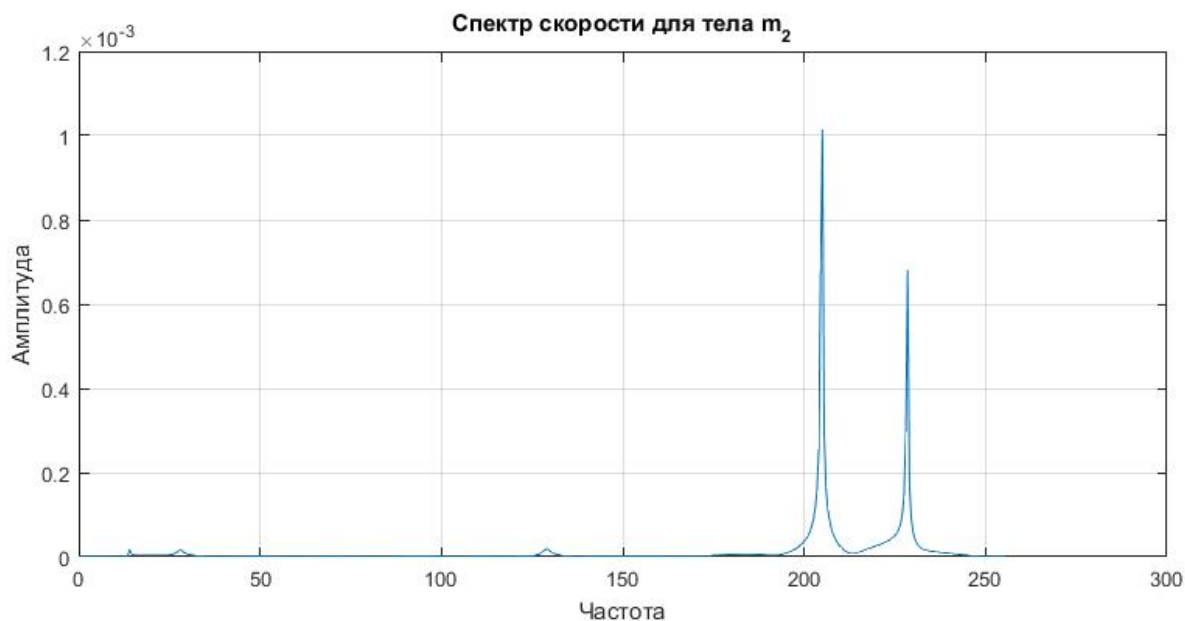


Рисунок 9. Характеристики, полученные для тела m_2 .

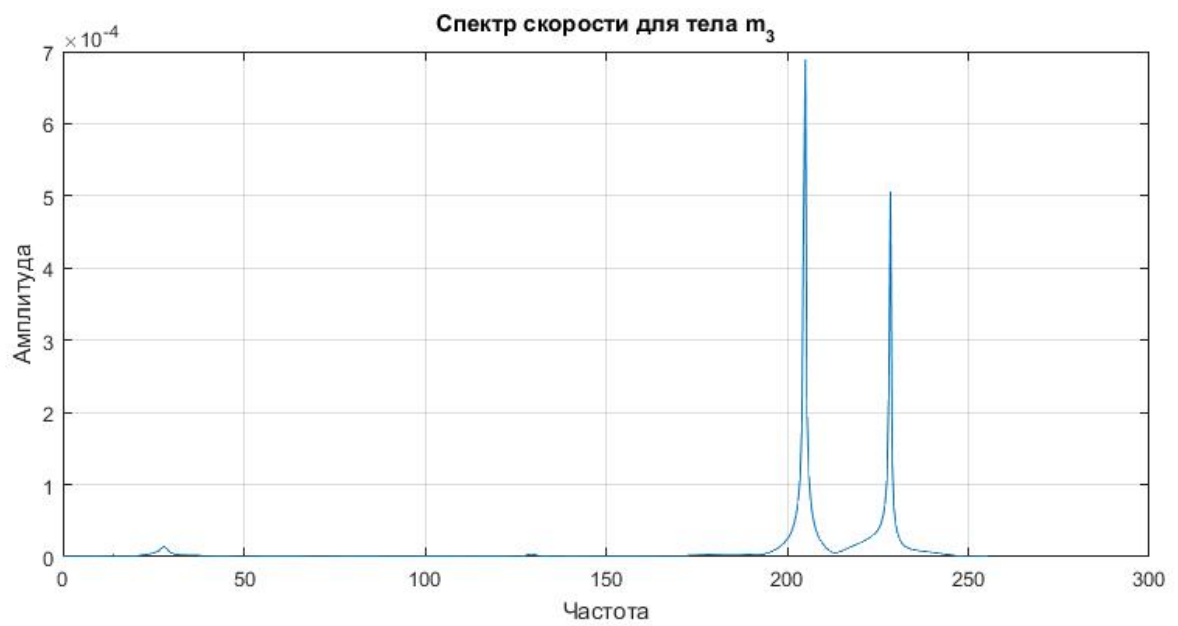


Рисунок 10. Характеристики, полученные для тела m_3 .

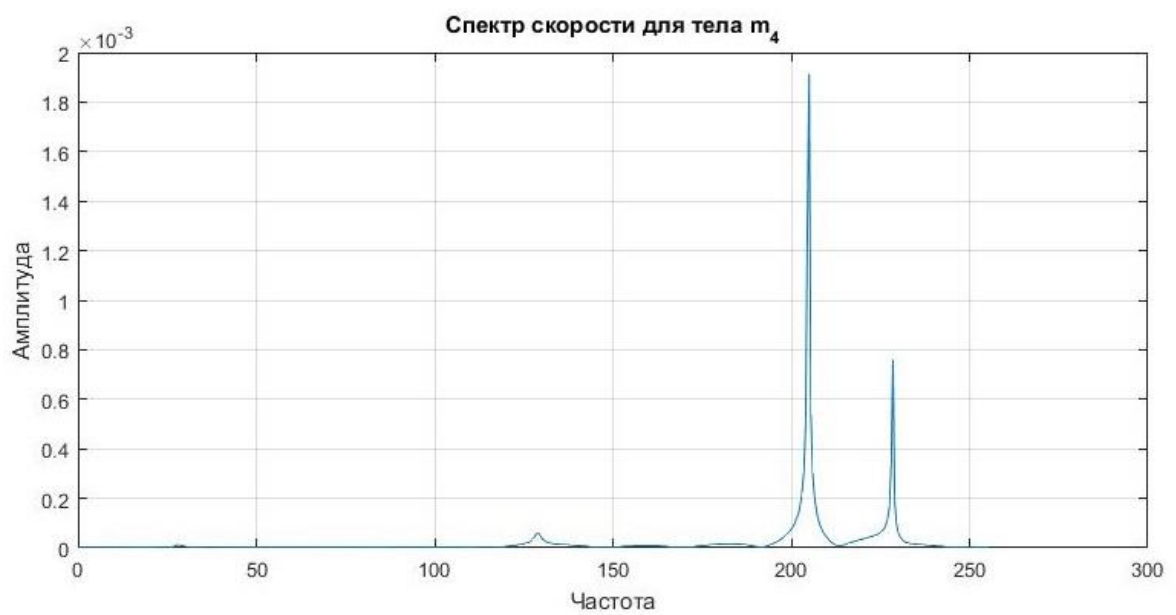


Рисунок 11. Характеристики, полученные для тела m_4 .

Каждое из четырех тел системы обладает собственной (резонансной) частотой.

Всплески, выявленные на спектрограммах при частоте вращения 400 об/мин. исследовании математической модели (оборотная частота 6,6 Гц):

- 14 Гц
- 28 Гц
- 71 Гц
- 128 Гц
- 210 Гц

Для подтверждения или опровержения адекватности математической модели стенда для исследования металлообрабатывающего оборудования необходимо проведение дополнительного исследования. В качестве такого исследования выбрано проведение экспериментов на реальном оборудовании

3.5. Экспериментальная часть

3.5.1. Физический эксперимент на станке - прототипе

Цель физического эксперимента - проверка математической модели станда на адекватность станку.

Для проверки математической модели на адекватность проведен физический эксперимент. Эксперимент произведен на фрезерном станке 675П.

Разработка плана эксперимента

В ходе исследования, решено провести двухфакторный эксперимент. Переменными станут:

- частота вращения шпинделя $N=100; 200; 400$.
- подача $s=63, 40, 20$.

При этом, глубина резания будет величиной постоянной для всех 9 запусков обработки $t=0.5$ мм.

Наладка станка и мобильного диагностического комплекса

Осуществляется подключение датчиков-акселерометров к стенду, как и при проведении физического эксперимента. Запускается специализированное программное обеспечение «Виброрегистратор – Ф2». Кроме того, необходимо идентифицировать каналы датчика на компьютере и настроить программную оболочку.

Настройка оболочки ПО: выбор фиксируемой величины (виброперемещение, виброскорости, виброускорение), инструмента, типа фильтра и его параметров и т.д.

- Красный – ось X
- Синий – ось Y
- Бирюзовый – ось Z
- Зеленый – биение шпинделя

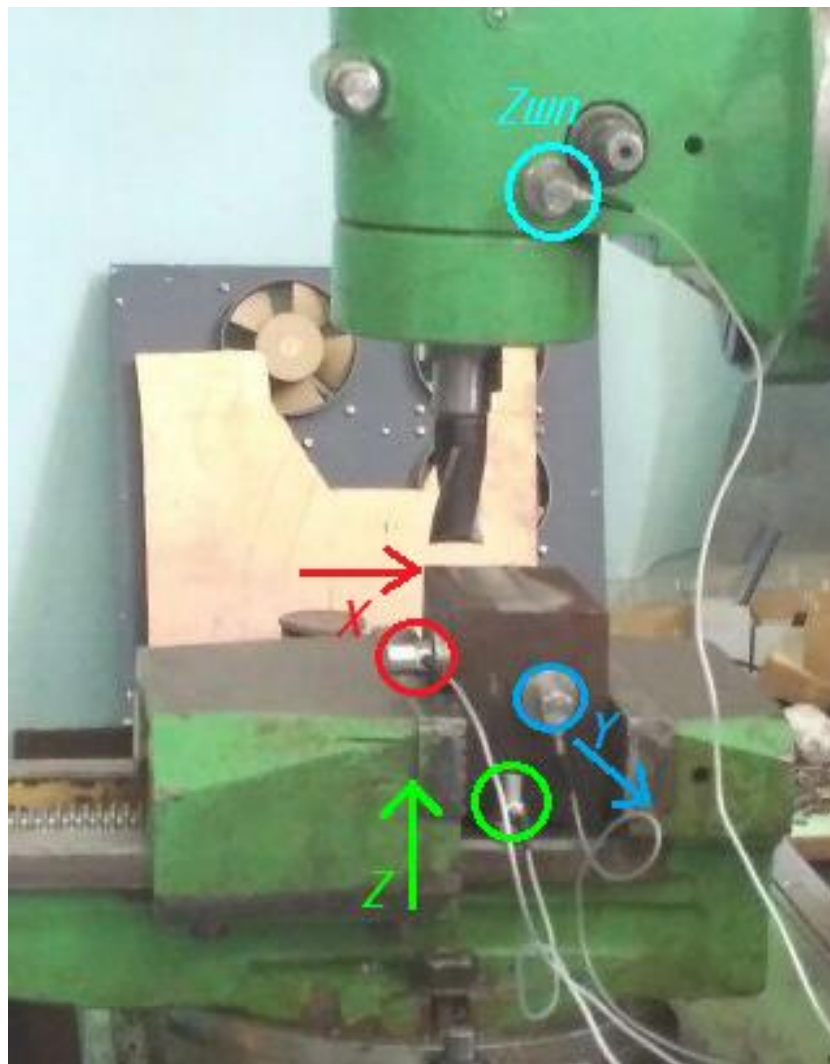


Рисунок 12. Расположение датчиков "Виброрегистратор - Ф2" во время эксперимента.

В Шпиндель станка установлена двузубая концевая фреза.

Далее, поверхность заготовки была предварительно зачищена, для обеспечения чистоты эксперимента.



Рисунок 13. Подготовленная поверхность заготовки.

Далее, для каждого набора параметров производится замер вибропоказателей (50 секунд после врезания фрезы). В итоге эксперимента, получены 9 протоколов экспериментов.

Анализ результатов эксперимента

Результат обработки данных приведен в таблице 3:

Таблица 3. Результаты эксперимента.

	n	s	СКЗ	ПИК	Мощность	Крест-фактор
Канал 1 (Y)	100	20	3,68	22,55	12,95	6,127717391
	100	40	7,34	48,4	1309	6,59400545
	100	63	12,4	57,8	1448	4,661290323
	200	20	6,78	34,34	959,9	5,064896755
	200	40	10,23	24,5	8437	2,394916911
	200	63	13,55	37,5	22169	2,767527675
	400	20	5,5	90	303	16,36363636
	400	40	6,95	42,7	679,7	6,143884892
	400	63	7,76	45,5	1136,8	5,863402062
Канал 2 (X)	100	20	3,18	18,6	6,3	5,849056604
	100	40	9,9	35	3953	3,535353535
	100	63	12,4	42,5	9184	3,427419355
	200	20	7,9	45	1291,5	5,696202532
	200	40	11,3	43	11298	3,805309735
	200	63	15,2	48	37130	3,157894737
	400	20	8,8	31,8	2420	3,613636364
	400	40	10,9	49,4	4540	4,532110092
	400	63	13,6	80,3	12336	5,904411765
Канал 3 (Z)	100	20	1,22	8,6	0,07	7,049180328
	100	40	4,4	12,2	159	2,772727273
	100	63	4,65	15,8	247,7	3,397849462
	200	20	2,7	10,7	12	3,962962963
	200	40	3,8	11,5	103	3,026315789
	200	63	3,6	17,3	58,3	4,805555556
	400	20	4,46	39,2	80,2	8,789237668
	400	40	4,15	11,12	111,8	2,679518072
	400	63	4,5	14,2	208,6	3,155555556
Канал 4 (Zшп)	100	20	3,95	25,4	16,6	6,430379747
	100	40	5,6	16,7	620	2,982142857
	100	63	6,7	27,3	1204	4,074626866
	200	20	3,15	38	14,8	12,06349206
	200	40	3,6	25,8	20,6	7,166666667
	200	63	4,5	18,7	49,6	4,155555556
	400	20	3,9	38,8	82,2	9,948717949
	400	40	5,3	49,6	445	9,358490566
	400	63	6,6	48	1273	7,272727273

По результатам эксперимента построены графики:

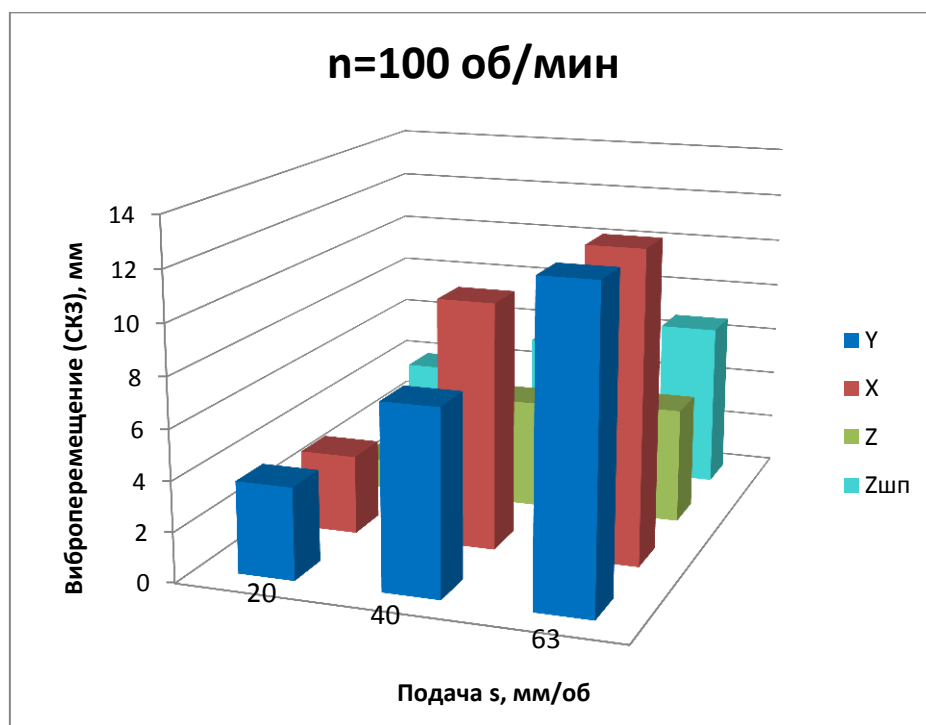


Рисунок 14. Диаграмма зависимости виброперемещения от подачи по осям при $n=100$

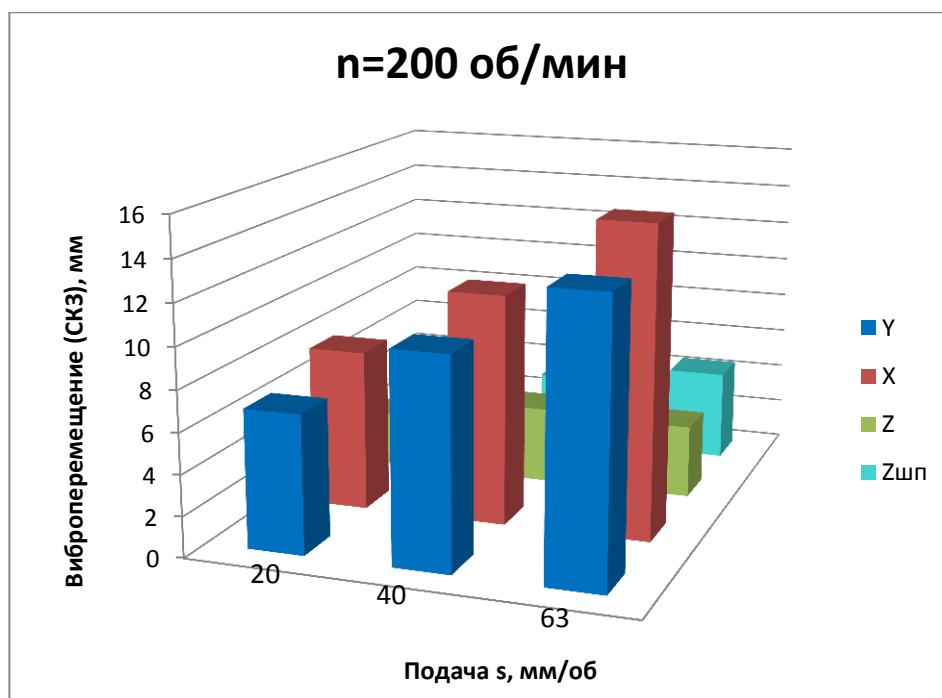


Рисунок 15. Диаграмма зависимости виброперемещения от подачи по осям при $n=200$

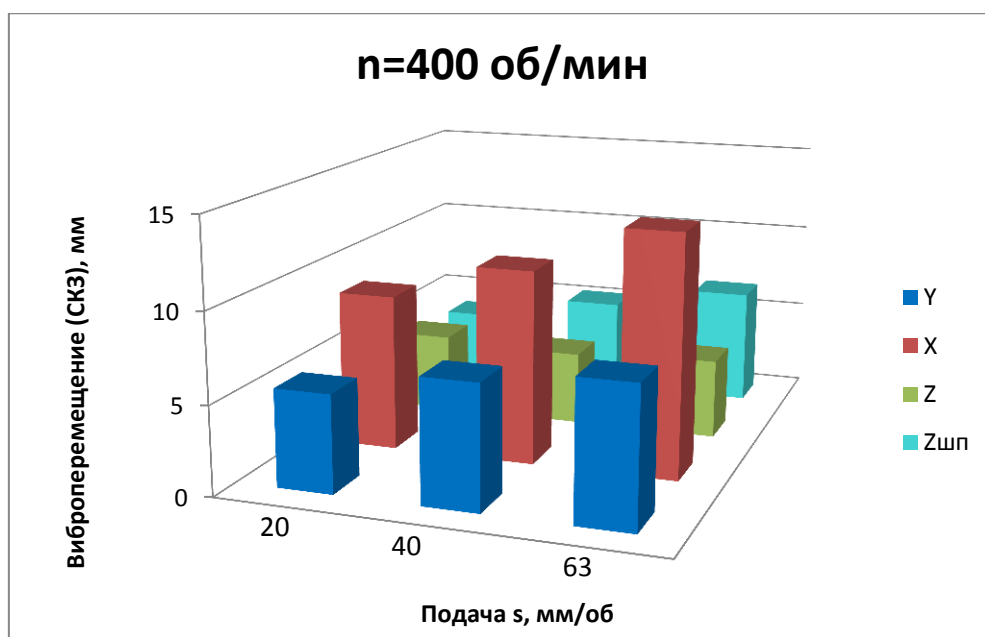


Рисунок 16. Диаграмма зависимости виброперемещения от подачи по осям при $n=400$

Из полученных графиков видно, что наибольшие биения по всем осям наблюдаются при меньшей частоте вращения шпинделя. Из выбранных режимов последний наиболее оптимален для работы, наибольшее виброперемещение наблюдается по оси X, что вызвано воздействием составляющей силы резания.

Для определения интересных нас частотных диапазонов работы технологического оборудования проведен более полный анализ спектрограмм для каждого из девяти протоколов эксперимента. Полученные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты исследования спектрограмм физического моделирования

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	n=100 об/мин			n=200 об/мин			n=400 об/мин		
Частота на которой возникает всплеск, Гц	7	7	3	6,71	7	7	7	6,7	6,9
	13,7	10,55	7	13,7	10,5	10,5	13,6	10,48	13,7
	14	13,7	13,7	25	13,7	13,7	20,8	20,8	20,8
	20,9	20,85	21,1	41	20,8	20,8	28	28	28
	28	28	24,85	82,2	25	41	34,9	34,9	34,9
	41	41,8	41	128,2	41	80,2	41	41	41
	41,8	83,75	42	207,5	128	128	83,7	83,8	83,8
	128,3	128,2	128,2		208	207,1	128,2	128,2	128
							208,3	207,9	208

3.5.2. Физический эксперимент на стенде

Цель эксперимента - проверка математической модели стенда на адекватность станку.

Для проведения данного физического эксперимента используется непосредственно стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования.

План эксперимента

Физический эксперимент на стенде заключается в проведении нагружения, аналогично физическому эксперименту на станке - прототипе при $n=100, 200, 300$ об/мин. Стенд настраивается на показатели, характерные для исследуемого оборудования.

Для каждого из режимов работы стенда производится исследование спектрограммы и выявляются частотные всплески.

Определение начальных условий

Начальными условиями для проведения имитационного эксперимента являются жесткостные характеристики опор стенда.

Жесткость стенда определяется опытным путем: с добавлением/убавлением подпружиненных шпилек, а также, при перемещении верхней и нижней опоры жесткостные параметры уменьшаются или увеличиваются. Пример изменения жесткостных параметров представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Изменение параметров жёсткости

Кол-во	4 подпружиненных шпильки				8 подпружиненных шпилек			
Опора	Верхняя опора		Нижняя опора		Верхняя опора		Нижняя опора	
Натяг, Н	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0,5	1	0,5	1	0,1	1	0,2
4	1	1,9	2	1,2	1	0,3	1,2	0,5
6	1,6	2,2	3	2,7	1	0,5	1,3	0,7
8	2,3	3,7	4	4	1	0,8	1,5	0,8
10	3,9	4,3	5	5	1,5	1	1,6	1
	Расчитанная жёсткость каждого узла, Н/мм							
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	400	200	4	200	2000	200	1000
4	400	211	200	333	400	1333	333	800
6	375	272	200	222	600	1200	462	857
8	349	216	200	200	800	1000	533	1000
10	256	233	200	200	667	1000	625	1000

Перемещением опор и шпилек удалось добиться жесткости выходного конца вала (шпиндельного узла) имитационного стенда, соответствующей жесткости шпиндельного узла испытуемого станка, в масштабе, учитывающем габаритные характеристики станка и стенда, вылет шпинделя и т.д.

Настройка стенда и мобильного диагностического комплекса

Первый этап проведения имитационного эксперимента – настройка стенда. Для этого, перемещением опор по направляющим вала, настраивается жесткость стенда. Жесткость настраивается согласно заданным параметрам исследуемого оборудования, в масштабе принятом 1:10. Осуществляется подключение датчиков-акселерометров к стенду, как и при проведении физического эксперимента.

Запускается специализированное программное обеспечение «Виброрегистратор – Ф2». Кроме того, необходимо идентифицировать каналы датчика на компьютере и настроить программную оболочку. Настройка оболочки ПО: выбор фиксируемой величины (виброперемещение, виброскорости, виброускорение), инструмента, типа фильтра и его параметров и т.д.

Далее, согласно плану физического эксперимента, производится нагружение при режимах вращения вала: 100, 200 и 400 об/мин.

Проведение эксперимента



Рисунок 17. Стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования. Имитационный эксперимент.

На панели управления, задается частота вращения входного вала. Стенд запускается. В интерфейсе программного обеспечения задается проведение эксперимента, устанавливается время снятия показаний (в частности, 30 секунд), исследуются полученные спектрограммы.

Как и при проведении физического эксперимента, при вращении вала 100 и 200 об/мин система показывает неустойчивое состояние, малую общую жесткость системы. Система восприимчива к посторонним вибрациям, соответственно данные не являются достаточно справедливыми. Таким образом, интересующие резонансные частоты системы будут выявлены на

спектрограмме полученной в ходе эксперимента с частотой вращения вала $n=400$ об/мин.

Наиболее активные всплески, выявленные на спектрограмме, полученной в ходе имитационного эксперимента, наблюдаются на следующих частотах:

- 14,6 Гц
- 20,8 Гц
- 30,2 Гц
- 50 Гц
- 73,85 Гц
- 94,6 Гц
- 122 Гц
- 203 Гц

Для осуществления выводов об адекватности математической модели стенда для исследования металлообрабатывающего оборудования необходимо провести совокупный анализ всех данных, полученных в исследованиях.

3.6. Сравнение результатов. Оценка адекватности созданной математической модели.

При проведении математического исследования и физического и имитационного экспериментов получены некоторые схожие данные. Сравним полученные частоты, предполагаемые резонансными с собственными частотами, рассчитанными для математической модели и всплесками, выявленными в спектрограммах при проведении исследования модели и экспериментов. Для этого, обозначим рассчитанные резонансные частоты каждого из элементов системы и подберем наиболее соответствующие каждой из них экспериментальные значения. Результаты представлены в таблице 6:

Таблица 6. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Частотные всплески, Гц			
Собственные частоты элементов системы	Математическое исследование	Физический эксперимент	Имитационный эксперимент
68	41	41	50
85	71	83	73,85
113	128	128	122
205,5	210	208	203

В спектрах системы для каждого конкретного тела наблюдаются всплески, соответствующие этим резонансным частотам. Так как моделирование допускает погрешность, а тел в системе несколько, то некоторые показатели могут накладываться друг на друга. Соответственно, резонансные частоты, на спектрах отличаются, от расчетных.

Различие результатов теоретических и экспериментальных математических исследований объясняется также и такими факторами как:

- нелинейность системы
- упрощение представления о возмущающей силе (принято гармоническое колебание вместо полигармонического).

Соответственно, поэтому же наблюдается различие результатов теоретических расчетов и физического эксперимента. При этом, между показателями математического моделирования и полученными экспериментальными данными разница не столь существенна, расхождение, в среднем, не превышает 15%. Таким образом, разработанную математическую модель можно считать адекватной и возможной для использования в дальнейших исследованиях подобного технологического оборудования.

4.ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Разрабатываемый стенд может использоваться при создании станков, для проверки технологических систем; а также, для имитаций процессов металлообработки, осуществление которых на практике опасно или может иметь непредвиденные последствия. Сфера использования готового стенда довольно широка: это может быть абсолютно любое металлообрабатывающее производство, кроме того, стенд может быть использован в целях вибродиагностики технологического оборудования в нефтедобывающей сфере.

В процессе выполнения ВКР решается задача по исследованию динамических параметров технологического оборудования. Возможность исследования различного оборудования при использовании минимального

количества дополнительной аппаратуры - ключ ресурсоэффективной работы. Исследуемый имитационный стенд обладает гибкостью задаваемых параметров. Чем шире диапазон параметров - тем шире спектр оборудования, работа которого может быть имитирована при помощи данного приспособления.

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти те области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Для проведения сравнительного анализа выбран один конкурент – производитель максимально приближенного по функциональным возможностям оборудования. Разрабатываемый стенд для имитации процессов резания является, по сути, уникальным оборудованием, так как исследование параметров технологической системы, которые возможно изучить на данном стенде в случае без него достигается интеграцией различных методов диагностики оборудования и применением более простых приспособлений.

1. Стенд вибродиагностики ДИАМЕХ СУ2013.

Стенд для вибродиагностики и балансировки ДИАМЕХ СУ2013 позволяет производить исследования горизонтально-ориентированных роторных машин. Данный стенд используется в учебных целях, для изучения процесса вибрационного анализа и дальнейшей настройки оборудования.

Виброизмерительное и балансировочное оборудование применяется практически во всех отраслях современной промышленности. В числе заказчиков компании ДИАМЕХ числятся

- Газпром
- Транснефть

- Росатом
- Русгидро
- Роснефть
- Российские железные дороги
- Лукойл
- Норильский Никель
- ТНК-ВР
- Сибур

Учебное оборудование ДИАМЕХ позволяет производить имитацию процесса работы технологического оборудования. При этом, стенд содержит в себе ряд минусов:

- узкий спектр исследуемого технологического оборудования (горизонтально-фрезерные и токарные станки);
- узкий спектр нагрузок (возмущающее колебание может быть задано в диапазоне 75-125 Гц).

Таблица 7. Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования	
		Диамех	Стенд
Размер компании	Крупные		+
	Средние	+	+

По карте сегментирования, таблица 7, видно, что наименьшая конкуренция для разрабатываемого приспособления наблюдается на рынке крупных предприятий. Это связано с меньшими функциональными возможностями аналогичных устройств конкурентов, что в свою очередь, не удовлетворяет требованиям крупных предприятий.

4.1.1. Анализ конкурентных технических решений

На сегодняшний день на рынке промышленного оборудования и испытательных стендов можно найти большое количество испытательного наименований. Тем не менее аналогов исследуемого приспособления на рынке на сегодняшний день нет. Для анализа выбрано лишь одно конкурентное решение.

Таблица 8. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _с	Б _{кл}	К _с	К _{кл}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	10	10	6	100	60
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	5	64	40
3. Энергоэкономичность	6	4	5	24	30
4. Надежность	9	9	7	81	63
5. Уровень шума	7	7	4	49	28
6. Безопасность	8	8	4	64	32
7. Простота эксплуатации	7	7	6	49	42
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	10	10	8	100	80
2. Уровень проникновения на рынок	9	0	9	0	81
3. Цена	7	3	5	21	35

4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	6	5	36	30
5. Послепродажное обслуживание	7	7	4	49	28
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	0	36
Итого:	100	79	74	637	585

Новая модель стенда имитации процессов резания, технически эффективней конструкций и без того немногочисленных конкурентов, за счет того, что диапазон задаваемых параметров в разы шире, а значит и спектр исследуемого оборудования может быть шире, чем у конкурентов. Экономическая оценка разрабатываемого продукта несколько выше, чем у основного конкурента, значит, данное устройство будет конкурентоспособным.

4.1.2. SWOT– анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 9. Матрица SWOT

	Сильные стороны научно- исследовательского проекта:	Слабые стороны научно- исследовательского проекта:
	С1. Имитация разных процессов резания (фрезерование, токарная обработка) –	Сл1. Продукт не продавался. Сл2. Более высокая стоимость, по

	уникальность оборудования C2. Возможность задания возмущающих усилий позволяет расширить диапазон исследуемых нагрузок в разы	сравнению с моделью конкурента, что может отпугнуть менее крупные предприятия.
Возможности: B1. Низкая конкуренция, т.к. полностью аналогов данного устройства не представлено на рынке. B2. Увеличение спроса в виду последних событий и вводом санкций по отношению к России.	B1B2C1C2. высокий спрос в связи с возможностью имитации разных процессов на одном и том же стенде, как следствие уменьшение дополнительной аппаратуры для исследований.	B1Cл2. конкуренты технически устарели, но их цена несколько ниже.
Угрозы: У1. Спрос на испытательный стенд может быть ниже ожидаемого. У2. Финансовый кризис		У2Cл2. В условиях кризиса повышенная цена стенда негативно скажется на уровне продаж.

Таблица 10. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта			
Возможности проекта		C1	C2
	B1	+	+
	B2	+	-

На основании SWOT-анализа составляем интерактивную матрицу проекта, дающую общее представление о возможных вариантах стечения благоприятных и негативных факторов.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Разбиваем проект на основные этапы работы и назначаем исполнителей. Все это необходимо для дальнейшего расчета заработной платы.

Таблица 11. Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели стенда	Студент
	7	Разработка математической модели	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	Студент
	9	Исследование математической модели	Студент
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	Студент

4.2.2. Определение трудоемкости выполняемых работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5};$$

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.

t_{min} – минимальная возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

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

$$T_p = \frac{t_{ож}}{ч};$$

T_p – продолжительность одной работы, рабочихдн.

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

Таблица 12. Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	$t_{ож}$, чел/дн
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	1,4
	3	Проведение патентного обзора	2
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	4,2
	5	Выполнение расчетов	4,2
	6	Построение модели стенда	4,6
	7	Разработка математической модели	4,6
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	6,4
	9	Исследование математической модели	11,4
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	2,8
Итого:			42,6

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Строится график проведения научного исследования в форме диаграммы Гранта.

Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}};$$

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

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

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году

Таблица 13. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполни-тели	Длительность работ в рабочих днях T_p	Длительность работ в календарных днях T_k
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$			
Составление и утверждение ТЗ	1	1	1	Руководитель	1	2
Изучение материала по теме	1	2	1,4	Студент	1,4	2
Проведение патентного обзора	2	2	2	Студент	2	3
Составление принципиальной схемы	3	6	4,2	Студент	4,2	6
Выполнение расчетов	3	6	4,2	Студент	4,2	6
Построение модели стенда	3	7	4,6	Студент	4,6	7
Разработка математической модели	3	7	4,6	Студент	4,6	7
Разработка сборочных чертежей	6	7	6,4	Студент	6,4	9
Исследование математической модели	9	15	11,4	Студент	11,4	16
Заполнение пояснительной записки	2	4	2,8	Студент	2,8	4

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47;$$

Таблица 14. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб.	Вид работ	Испол.	T_k	Продолжительность выполнения работ							
				Март	Апрель			Май			Июнь
				30	10	20	30	10	20	30	10
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2								
2	Изучение материалов по теме	Студент	2								
3	Проведение патентного обзора	Студент	3								
4	Составление принципиальной схемы	Студент	6								
5	Выполнение расчетов	Студент	6								
6	Построение модели стенда	Студент	7								
7	Разработка математической модели	Студент	7								
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	6								
9	Исследование математической модели	Студент	16								
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	4								

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.2.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{pac.xi};$$

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

$N_{pac.xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт, кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб/шт, руб/кг, руб/м, руб/м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

4.2.6. Основная заработная плата исполнителей

В таблице 15 приведены основные этапы работы, их исполнители и затраты на оплату их труда.

Таблица 15. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	1	1356	1356
2	Изучение материалов по теме	Студент	1,4	879	1230
3	Проведение патентного обзора	Студент	2	879	1758
4	Составление принципиальной схемы	Студент	4,2	879	3691,8
5	Выполнение расчетов	Студент	4,2	879	3691,8
6	Построение модели стенда	Студент	4,6	879	4043,4
7	Разработка математической модели	Студент	4,6	879	4043,4
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	4,2	879	3691,8
9	Исследование математической модели	Студент	11,4	879	1020,6
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	2,8	879	2461,2

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп};$$

$З_{осн}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p;$$

$З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_{\partial}};$$

$З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 16. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	199

Для руководителя:

$$З_{\text{дн. рук}} = \frac{27500 \cdot 11}{223} = 1356 \text{ руб};$$

Для студента:

$$З_{\text{дн. студ}} = \frac{17500 \cdot 10}{199} = 879 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн. рук}} = 1356 \cdot 1 = 1356 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн. студ}} = 879 \cdot 41,6 = 36566 \text{ руб};$$

$$З_{\text{зн. рук}} = 1356 + 1356 \cdot 0,12 = 1518 \text{ руб};$$

$$З_{\text{зн. студ}} = 36566 + 36566 \cdot 0,12 = 40953 \text{ руб};$$

4.2.7. Дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{дон}} = k_{\text{дон}} \cdot З_{\text{осн}};$$

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

$$З_{доп.рук} = 0,12 \cdot 1356 = 163 \text{ руб};$$

$$З_{доп.студ} = 0,12 \cdot 36566 = 4388 \text{ руб};$$

4.2.8. Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп});$$

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 17.

Таблица 17. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	1356	163
Студент	36566	4388
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого:	11509	

После расчета суммы отчислений во внебюджетные фонды, не стоит забывать о том, что их необходимо учитывать при общем подсчете затрат на научно-техническое исследование.

4.2.9. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ сторонними организациями:

Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- Выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- Проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- Контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- Ремонт основных производственных средств;
- Проверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее;
- Транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цеха (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления.
- Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными предприятиями по контрагентским договорам на создание научно-технической продукции, головным исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется их условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Изготавливаться модель станка будет в рамках кафедры ТМСПР, материалы и амортизация для оборудования посчитаны, нужно подсчитать стоимость работ.

В таблице 18 представлены исполнители операций по изготовлению сепаратора.

Таблица 18. Сторонние исполнители

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь	8	1	2
2	Оператор гидрорежущего станка	14	1	2

Заказ будет выполняться на кафедре ТМСПР. Оклад операторов станков с ЧПУ принимаем равным 20000 тыс.руб.

На выполнение работ по изготовлению деталей сепаратора отводится 3 дня. Это время необходимое на написание УП, подготовки оборудования, его наладки и на изготовление сборочных единиц и деталей.

Подсчитаем зарплату за 3 дня рабочих на кафедре ТМСПР. Результаты расчетов представлены в таблице 19.

Таблица 19. Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Заработная плата, руб
Токарь	2208
Оператор гидрорежущего станка	3312
Отчисления во внебюджетные фонды	1596
Итого:	7118

Основная зарплата токаря:

$$З_{он.1,2} = \frac{20000 \cdot 11}{223} = 986 \text{ руб};$$

$$З_{осн.1} = 986 \cdot 2 = 1972 \text{ руб};$$

Основная зарплата оператора гидрорежущего станка:

$$З_{осн.2} = 986 \cdot 3 = 2952 \text{ руб};$$

Зарплата токаря:

$$З_{зн.1} = 1972 + 1972 \cdot 0,12 = 2208 \text{ руб};$$

Зарплата оператора гидрорежущего станка:

$$З_{зн.2} = 2958 + 2958 \cdot 0,12 = 3312 \text{ руб};$$

Отчисления для токаря:

$$З_{внеб.1} = 0,3 \cdot (1972 + 1972 \cdot 0,12) = 662 \text{ руб};$$

Отчисления для оператора гидрорежущего станка:

$$З_{внеб.2} = 0,3 \cdot (2958 + 2958 \cdot 0,12) = 993 \text{ руб};$$

4.2.10. 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. Их величина определяется по следующей формуле:

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

4.2.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 20.

Таблица 20. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
Материальные затраты НТИ	135798	Пункт 3.4.1.
Затраты по основной заработной плате исполнителей	42852	Пункт 3.4.2.
Зарплаты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5142	Пункт 3.4.3.
Отчисления во внебюджетные фонды.	11613	Пункт 3.4.4.
Контрагентские расходы	7118	Пункт 3.4.5.
Накладные расходы	32403	16% от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	234926	Сумма ст. 1-6

Разработка НТИ проводится полностью при поддержке НИ ТПУ и кафедры ТМСР. Математическая модель и экспериментальный образец создаются и исследуются непосредственно на кафедре ТМСР.

При внедрении разработки в газо-нефте-добывающую промышленность могут быть выделены дополнительные ресурсы финансирования на производство и исследование в рамках гранта ВР (Britishpetroleumcorporation).

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В этом разделе ВКР будут рассмотрены вопросы по определению и назначению условий работы инженера-конструктора. Рабочее место находится в офисном помещении, преимущественно за ЭВМ.

Целью этого раздела является создание условий для работника, общества и окружающей среды, полностью удовлетворяющих технике безопасности, нормам санитарии, эргономики, экологической и пожарной безопасности.

5.1. Анализ производственной среды

Как показывает практика, создание новых функциональных элементов, предназначенных для работы в тяжелых условиях, невозможно без большого объема экспериментальных работ. Преимуществом испытаний на стенде, имитирующего реальные условия работы изделия, дает возможность оценки реакции образца на определённый тип и величину нагрузки при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки. При данных испытаниях объекты подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях. Целью подобных испытаний является выяснение реакции объекта на специфические условия работы. При этом создание испытательных установок может оказаться не менее сложной и трудоемкой задачей, чем создание нового изделия.

Данная работа направлена на создание и дальнейшее исследование математической модели стенда для имитации процессов резания, с целью определения оптимальных параметров работы на этапе его разработки.

Основными факторами, представляющими опасность для персонала, эксплуатирующего данное устройство, являются наличие подвижных элементов конструкции (вращающийся вал), а также относительно большие массогабаритные показатели испытуемого объекта (вес комплекса оборудования может составлять до 20кг). Для исключения вероятности

получения травм, следует ограничить доступ к устройству во время его работы.

К другим, менее вредным факторам, относится наличие шума, вызванного работой испытательного стенда. Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих повышенного внимания, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения заданий. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Согласно техническому заданию, уровень шума на рабочем месте не должен превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003-2014. Но, с учетом массы и габаритов комплекса, а также относительно небольших размеров приводы, в процессе работы и исследования показатели шума не превышают установленных норм (86 дБ).

5.2. Практическая значимость работы

На сегодняшний день на рынке промышленного оборудования и испытательных стендов можно найти большое количество испытательного наименований. Тем не менее аналогов исследуемого приспособления на рынке на сегодняшний день нет. Для анализа выбрано лишь одно конкурентное решение. Таким образом, в данной работе исследуется уникальное по сути своей оборудование.

5.3. Организация рабочего пространства

Данная работа выполняется в Томском политехническом университете, на кафедре технологии машиностроения и промышленной роботизации.

Студенты кафедры имеют неограниченный доступ к компьютерным аудиториям, с полным набором необходимого программного обеспечения, более того в аудиториях непрерывно поддерживаются комфортные условия труда. Помимо всего прочего, на кафедре ТМСР имеются промышленные

лаборатории, включающие в себя станочное оборудование, а также учебно-практические стенды.

5.4. Микроклимат

Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье и на надежность работы средств вычислительной техники.

Повышенные или пониженные значения этих параметров выступают как опасные или вредные факторы производства. Показатели микроклимата согласно ГОСТ 12.1.005-88 приведены в таблице 21.

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещения должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20м^3 на человека – не менее 30м^3 в час на человека; при объёме помещения более 40м^3 на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Таблица 21. Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственных помещений.

<i>Период года</i>	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Оптимальная граница	Допустимый максимум	Оптимальная	Допустимый максимум
<i>Холодный</i>	22-24	24,5	21	40-60	75	0,1	0,1
<i>Теплый</i>	23-25	26	22	40-60	55	0,1	0,2

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период по СНиП-41-01-2003.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

5.5. Освещение на рабочем месте

Основными понятиями, характеризующими свет, являются световой поток, сила света, освещённость и яркость. Световым потоком называют поток лучистой энергии, оцениваемый глазом по световому ощущению.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу они близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Освещенность рабочего стола должна быть не менее $300 \div 500$ лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м^2 . Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Проектирование искусственного освещения рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

$H = 3 \text{ м}$ – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n = H - h_c = 2,5 \text{ м}$ – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p = 0,8 \text{ м}$ – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние между светильниками определяется как:

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

Необходимо изобразить в масштабе в соответствии с исходными данными план помещения, указать на нём расположение светильников и определить их число.

Рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м};$$

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$I = \frac{L}{3} = \frac{2,21}{3} = 0,7 \text{ м};$$

Размещаем светильники в 3 ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ШОД-2-40 (2 лампы по 40В в одном светильнике). План помещения и размещения в нём светильников изображен в масштабе на рисунке 18. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 12 \cdot 2 = 24$ лампы.

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{1,7 \cdot (8 + 6)} = 2;$$

По таблице определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,5;$$

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента

светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta};$$

E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95,лк;

S – площадь освещаемого помещения, м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{\text{ср.}} / E_{\text{мин.}}$.
Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,5} = 3960 \text{ Лм};$$

Рассчитав световой поток Φ , зная тип лампы, по таблице выбирается стандартная ближайшая лампа и определяется электрическая мощность всей осветительной системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников и либо высота подвеса светильников.

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛДЦ 80 Вт с потоком 3800 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\% \\ -10\% &\leq \frac{3800 - 3960}{3960} \cdot 100\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Получаем

$$-10\% \leq -0,04\% \leq +20\%$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников n либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega \cdot S = 80 \cdot 48 = 3840 \text{ Вт};$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_n = \frac{P}{n} = \frac{3840}{24} = 160 \text{ Вт};$$

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 80 = 1920 \text{ Вт};$$

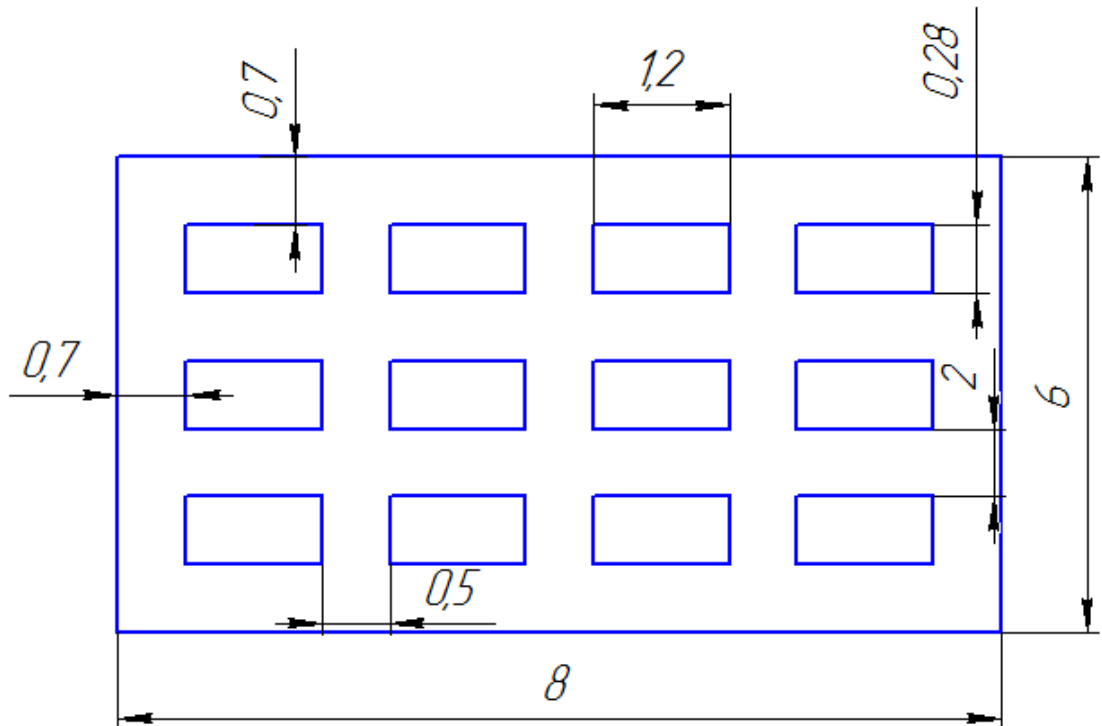


Рисунок 18 – План помещения и размещения светильников

5.6. Анализ пожаро-взрывоопасности

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

- предотвращение пожаров;
- возгорание;
- локализация возникших пожаров;
- защита людей и материальных ценностей;
- тушение пожара.

Пожаром называют неконтролируемое горение во времени и пространстве, наносящее материальный ущерб и создающее угрозу жизни и здоровью людей [6].

Горение представляет собой сложное, быстро протекающее химическое превращение, сопровождающееся выделением большого количества теплоты и свечением.

Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Пожар в лаборатории представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением ЭВМ, аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних лабораториях.

Возникновение пожара в рассматриваемом помещении обуславливается следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электrorаспределительных щитов; возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры; возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок.

Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- ограничение количества горючих веществ;
- максимально возможное применение негорючих веществ;
- устранение возможных источников возгорания (электрических искр, нагрева оболочек оборудования);

- применение средств пожаротушения;
- использование пожарной сигнализации;
- содержание электрооборудования в исправном состоянии, использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре, по окончании работ все установки должны обесточиваться;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;
- содержание путей и проходов эвакуации людей в свободном состоянии;
- проводить раз в год инструктаж по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения.

По степени взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории в соответствии с классификацией производств по пожарной безопасности относится к категории В (пожароопасные помещения), т.е. к помещениям с твердыми сгораемыми веществами. Поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного и организационного плана.

Необходимость строгого соблюдения мер пожарной безопасности при работе с оборудованием и бытовыми приборами требует регулярного проведения инструктажей работников по пожарной безопасности и их действий в случае возникновения пожара в помещении или в соседних комнатах. При возникновении пожара нужно, прежде всего, вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар. Вынужденная эвакуация при пожаре протекает в условиях нарастающего действия опасных факторов пожара. Поэтому безопасность людей находится в прямой зависимости от времени пребывания их в здании

при пожаре. Кратковременность процесса вынужденной эвакуации достигается устройством эвакуационных путей и выходов, их числом и размером.

Число эвакуационных выходов из здания с каждого этажа должно быть не менее двух. Ширину эвакуационного выхода (двери) устанавливают в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, но не менее 0,8 м. Высота прохода на эвакуационных путях должна быть не менее 2 м. План эвакуации изображен на рисунке 19.

После эвакуации людей необходимо принять меры по пожаротушению. На лестничных площадках каждого этажа здания находятся пожарные щиты. Каждый из этих щитов оборудован лопатами, ведрами, топором и двумя огнетушителями типа ОХВП - 10. Рядом со щитом расположен ящик с песком.



Рисунок 19. План эвакуации

5.7. Охрана окружающей среды

Правовую основу охраны окружающей среды в стране составляет закон РСФСР “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” (1991).

Требования охраны окружающей среды зафиксировано в Основах законодательства РФ “Об охране здоровья граждан” (1993) и в законе РФ “О защите прав потребителей” (1992) [3].

Основным видом нормативно-правовых актов по охране окружающей среды является система стандартов “Охрана природы”, имеющая номер 17 и состоящая из 10 комплексов [3].

5.7.1. Региональная безопасность

Очень важным аспектом организации производства является региональная безопасность. Ее задачей является сокращение, а по возможности исключение загрязнения окружающей среды.

Отходы, с которыми, в основном, связана деятельность конструктора, являются списанное электронное оборудование (оргтехника). Списанная оргтехника представляет собой особый вид мусора т.к. содержит в себе различные материалы (в том числе и драгоценные) и не может утилизироваться без предварительного комплекса мер.

Этапы утилизации электронного оборудования:

Списание старой техники – комплекс мер по выявлению окончания эксплуатации и составлению соответствующего акта.

Разборка – комплекс мер по выявлению состава утилизируемого объекта, с целью выявления составляющих отходов, которые могут пойти на переработку и аффинаж.

Переработка – комплекс мер по возвращению в оборот составляющих отходов.

Аффинаж – комплекс мер по сбору и передачи драгоценных металлов и камней в государственный фонд драгоценных металлов и драгоценных камней.

Утилизация – утилизация составляющих отходов, не поддающегося переработке.

5.7.2. Защита атмосферы

Для защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий можно применять следующие меры:

- полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам;
- совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;
- экологическая экспертиза всех видов производств и промышленной продукции;
- замена токсичных отходов на нетоксичные;
- замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;
- последствия промышленного загрязнения окружающей среды.

5.7.3. Защита от шума

Шум в окружающей среде создается одиночными или комплексными источниками, находящимися снаружи или внутри здания [4].

Под воздействием шума, превышающего 85-90 дБ, снижается слуховая чувствительность. Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление и может привести к ухудшению слуха [8].

Для снижения шума можно использовать следующие методы:

- уменьшение шума в источнике;
- изменение направленности излучения;
- рациональная планировка предприятий и цехов;
- акустическая обработка помещений;
- уменьшение шума на пути его распространения. [8].

5.7.4. Защита от электромагнитных полей

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека, при воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, органов дыхания, органов пищеварения и некоторых биохимических показателей крови [8].

В результате выполненной выпускной квалификационной работы разработана математическая модель, которая функционирует на ЭВМ. Рассмотрим влияние ЭВМ на окружающую среду.

Ряд исследований, проводимых различными организациями здравоохранения, показал, что излучения, сопровождающие работу электронно-лучевого монитора компьютера, могут существенно сказываться на здоровье человека. Особенно вредным оказалось действие на человека излучения очень низкой частоты. Вероятнее всего, человеку никогда не удастся полностью избежать пагубного влияния передовых технологий на свое здоровье, но, безусловно, необходимой задачей в этом случае является сведение вредных факторов к минимуму.

5.8. Организация рабочего места

5.8.1. Организация рабочего места оператора ПЭВМ

Рабочее место - это часть рабочей зоны. Оно представляет собой место пребывания человека во время работы. И должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать удобство при совершении работ;
- варьироваться в зависимости от тяжести работ;
- учитывать эргономические требования рабочего;
- учитывать индивидуальные особенности работ.

Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной травмы или развития у него

профессионального заболевания. Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Конструкция оборудования и рабочего места при выполнении работ в положении сидя должна обеспечивать оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности, высоты сидения, оборудованием пространства для размещения ног и высотой подставки для ног.

Оценка комфортности рабочей зоны производится в зависимости от линейных параметров рабочего места, значение которого определяется ростом инженера.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, где даны общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ, при работе инженера за столом, конструкция стола и стула обеспечивает оптимальное положение тела работающего. Параметры рабочего места при работе с ПЭВМ, а также с нормативной и технической документацией приведены в таблице 22.

Таблица 22. Параметры рабочего места при работе

Параметры	Значение параметра	Реальные
Высота рабочей поверхности	От 600 до 800 мм	800
Высота клавиатуры	600-700, мм	550
Удаленность клавиатуры	Не менее 80 мм	100
Удаленность экрана	500-700, мм	600
Высота сидения	400-500, мм	500
Угол наклона монитора	0-30, град.	0
Наклон подставки ног	0-20, град.	0

Конструкция рабочего стула (кресла) поддерживает рациональную рабочую позу, позволяет изменять положение тела человека для снижения статического напряжения мышц. Поверхность сидения, спинки и других элементов стула (кресла) полумягкая с нескользящей поверхностью.

Не рекомендуется располагать компьютеры вблизи друг от друга в целях уменьшения действия переменного электрического поля.

Цветовое решение имеет большое значение при оформлении помещения.

Первый и наиболее важный фактор, который необходимо учесть при выборе цветового решения – это психофизическое воздействие цвета.

Организовать свое рабочее место каждый сотрудник может согласно своим наклонностям. Но при организации рабочего места надо выполнять некоторые правила:

- соблюдать чистоту и порядок на рабочем месте;
- не создавать шума;
- не нарушать инструкции по техники безопасности. Для того чтобы не уставали мышцы спины нужно соблюдать антропометрические размеры, приведенные выше.

Санитарные правила и нормы содержат ряд комплексов упражнений физкультурных минуток, которые способствует снятию локального утомления.

Окна должны быть снабжены солнцезащитными жалюзи. Освещение в помещении мягкое, интерьер окрашен в спокойные тона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы исследована кинематика станда для исследования металлообрабатывающего оборудования. Составлены структурная и расчетная схемы станда, построена математическая модель. Проведено математическое исследование модели, а также два физических эксперимента с оборудованием прототипом и тестовым образцом станда с целью определения адекватности математической модели и ее дальнейшей применимости в исследованиях.

В итоге проведения исследований по методу математическое моделирование + эксперимент установлено, что математическая модель адекватна и пригодна для дальнейшего применения в испытаниях. По имеющейся 3D модели станда создан сборочный чертеж (первая итерация).

В связи с возможностью универсального применения станда для исследования металлообрабатывающего оборудования, а не только к консольным фрезерным станкам, рекомендуется провести дополнительное исследование аналогичное проводимому, но применимо к токарным станкам и другим типам оборудования. В дальнейшем, при успешном проведении дополнительных исследований, стенд для исследования металлообрабатывающего оборудования может быть применим к любому технологическому оборудованию производств для проведения вибрационного анализа. Таким образом, существование подобного диагностического комплекса позволит сократить количество диагностического оборудования и трудо-временные затраты на осуществление проверок в разы.

В экономическом разделе ВКР был проведен подробный расчет себестоимости разрабатываемого приспособления, состоящей из затрат на проектирование, разработку и изготовление экземпляра устройства. Кроме того, рассмотрена конкурентоспособность разработки на российском рынке.

В разделе экологической безопасности рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности, проанализирована

социальная ответственность, выбран тип работ, оптимальные показатели микроклимата, освещенности, шума и вибрации на рабочем месте исполнителя ВКР, выполнены расчёты заземления, освещения и воздухообмена. Предоставлен порядок мероприятий, проводимых в случае чрезвычайной ситуации, техника безопасности на рабочем месте и требования по СанПин к рабочему месту.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

- Устройство гашения колебаний / Е. В. Глиненко ; науч. рук. Б. Б. Мойзес // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: IV Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 5-10 октября 2015 г.
- Исследование прецессии шпиндельных узлов фрезерных станков / Е. В. Глиненко, К. В. Мельнов, Р. Р. Хайруллин ; науч. рук. Б. Б. Мойзес, А. Н. Гаврилин // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : V Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г.
- Исследование пневматического гасителя колебаний / К. В. Мельнов, А. Р. Хайруллин, Е. В. Глиненко ; науч. рук.. А. Н. Гаврилин // Неразрушающий контроль: VI Всероссийская научно-практическая конференция "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.
- Метод вибрационной диагностики металлорежущего оборудования / ЧжанСяоян, Л. В. Ларионова, Е. В. Глиненко ; науч. рук. Б. Б. Мойзес , А. Н. Гаврилин // Неразрушающий контроль : VI Всероссийская научно-практическая конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.
- Метод диагностики фрезерных станков / Н. С. Бессонов, Спасенко В. С. Глиненко Е. В., Хайруллин, А. Р. ; науч. рук. Б. Б. Мойзес, А. Н. Гаврилин // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : V Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г.
- Пневматический гаситель колебаний / А. Р. Хайруллин, К. В. Мельнов, Е. В. Глиненко ; науч. рук. А. Н. Гаврилин , Б. Б. Мойзес // Неразрушающий контроль : VI Всероссийская научно-практическая конференция

"Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.

- Устройство для испытания фрезерных станков / В. С. Спасенко [и др.] ; науч. рук. , Б. Б. Мойзес , А. Н. Гаврилин // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : V Международная конференция школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г.
- ГаврилинА.Н., МойзесБ.Б., ЧеркасовА.И.,ДитенбергИ.А., ХайруллинА.Р., ГлиненкоЕ.В. Pneumatic device of the preload and dynamic loads balancing to reduce the intensity of thermal processes in the metal cutting process. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 168, Issue 1, 7 February 2017, Article number 012089

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев Н.В., Беляковский Н.Г., Доншанский В.К. Вибрации энергетических машин. Справочное пособие. М. Машиностроение 1974 г. 464 с.
2. Козочкин М.П., Порватов А.Н. Разработка переносного и интегрированного диагностического комплекса для анализа технологических процессов обработки деталей на металлорежущих станках // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 2. – С. 18-24
3. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С. Оперативная диагностика при металлообработке – проблемы и задачи // Вестник МГТУ Станкин. – 2008. – № 3. – С. 14-18.
4. Болсуновский С.А., Вермель В.Д., Губанов Г.А., Качарава И.Н., Леонтьев А.Е. Расчетно-экспериментальная оценка рациональных технологических параметров высокопроизводительной фрезерной обработки в составе автоматизированной системы технологической подготовки производства аэродинамических моделей самолетов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – №4 (2). – С. 374–379. 2.
5. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 9. – С. 81–84. 3.
6. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Черкасов А.И. Конструктивные методы повышения виброустойчивости металлорежущего оборудования // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 82–87. 4.
7. 4. Гаврилин А.Н. Метод снижения уровня вибраций при механической обработке // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 11. – С. 23–26.
8. Романова С.Ю. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов для нормирования работ, выполняемых на универсальных многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 1: нормативы времени – Машиностроение, 1990 г. 208 с.

9. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357с.
10. Гигиенические требования к ВДТ, ПЭВМ и организации работы. Санитарные правила и нормы 2.2.2.542 – 96. – М., 1996
11. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Высшая школа, 1991.
12. Основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.
13. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.
14. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР, 6-е издание – Энергоатомиздат, 1996. – 640с.
15. Ревкин А.И. Инженерные вопросы радиогигиены при проектировании и эксплуатации источников излучения. – М.: МЭИ, 1987. – 58с.
16. Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных задач по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей. – Томск, ТПУ, 1991. – 25с.
17. Назаренко О.Б. Дашковский А.Г. Безопасность жизнедеятельности «Расчёт искусственного освещения» методические указания к выполнения индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. Томск 2008.

Нормативная литература

18. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
19. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01.07.92).
20. ГОСТ 12.1.008-78 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования

21. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Электробезопасность
22. ГОСТ 12.1. 045 – 84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
23. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
24. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
25. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификации условий труда. М.: Минздрав России, 1999.
26. СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.:МинстройРоссии, 1995.
27. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".
28. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
29. Федеральный закон от 26.03.1998 N 41-ФЗ (ред. от 21.11.2011) "О драгоценных металлах и драгоценных камнях" (26 марта 1998 г.)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Section 4 CALCULATIONS AND ANALYSIS

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Глиненко Е.В.		

Консультант кафедры ТМСПР

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куркан Н.В.	к.ф.н.		

3. CALCULATIONS AND ANALYTICS

3.1. Statement on the research task.

Preliminary work justified the urgent need to develop a relatively simple imitation vibrodiagnostic device. Available devices for vibrodiagnostics are quite complex both on the constructive side and the introduction of the test behavior method, in addition, they require the availability of real equipment in the study, which entails additional costs for labor and energy.

The team of the students of the department of TMEIR (department of Technology of Mechanical Engineering and Industrial Robotics) offered to develop a stand for studying metalworking equipment. This diagnostic complex is a universal project, each of which is developed separately by the responsible executor.

This final qualification work is a numerical and experimental study of this equipment on the viability and applicability of it in real life for carrying out the vibration analysis of process equipment by modeling. Together, all the team members participating in the development of the simulation rack for studying metalworking equipment created the first iteration of the three-dimensional model of the stand, which became the basis for the further construction and study of the numerical model.

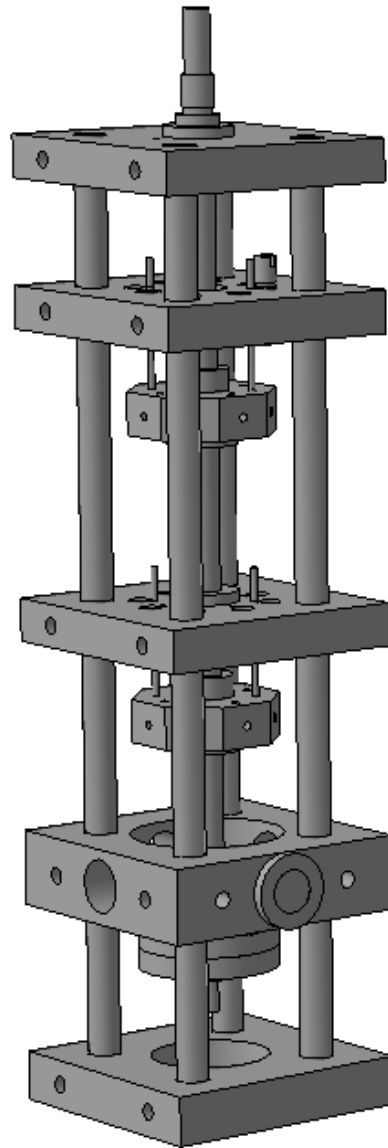


Figure 4. Simulation stand for the examination of metalworking equipment.
3D model.

Next, an approximate kinematic diagram of the stand is presented.

Simulation stand for diagnosis of metalworking equipment is a system consisting of two support rollers 1 which are equipped with spring-loaded support slide bearings 2. The rotation of the motor 3 is transmitted to the shaft through a clutch 4. The engine speed is changed by a frequency converter 5. The rack itself is rigidly attached to four supports 6. The external load on the drive (the cutter) is installed a load device 7 to 8 with 9. The vibration generator on spring loaded support shafts and motor izmeryaets piezoelectric accelerometers 10, the signals of

which, together with the signal velocity sensor 11 that measures the speed of shaft rotation is transmitted to the corresponding input of the vibration analyzer 12, and then send a signal to the personal computer 13.

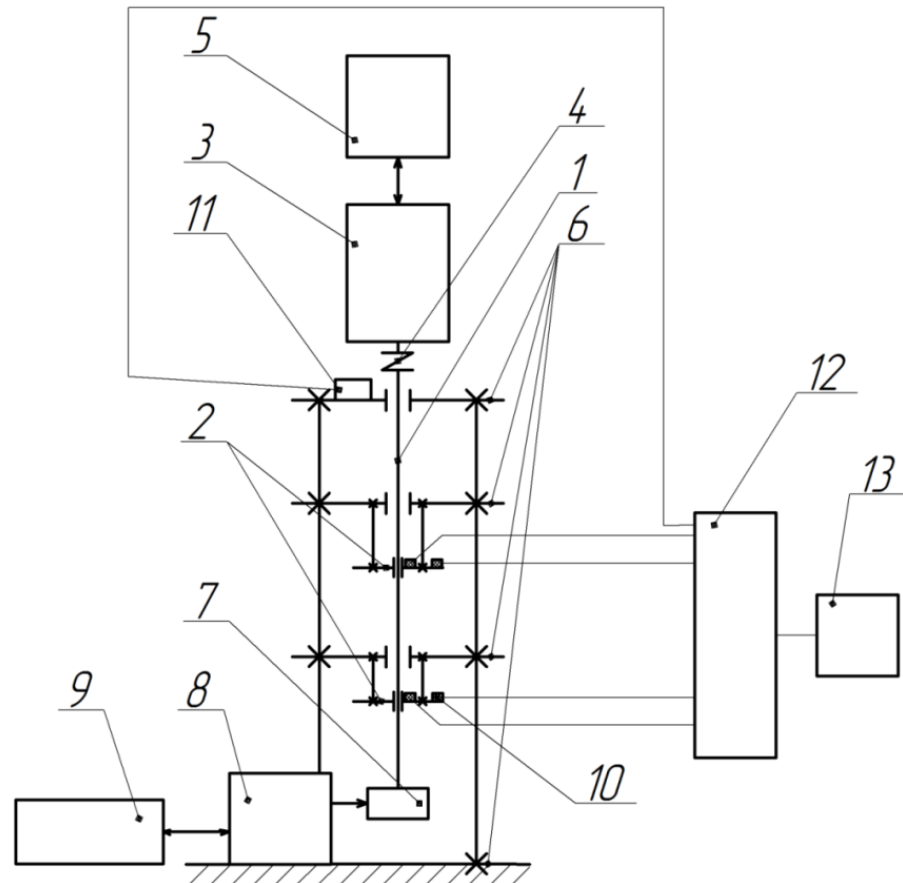


Figure 5. Kinematic scheme of the stand.

For further research, the task was to develop the first iteration of the structural diagram of the stand.

3.2. The device description.

The analysis of the design of the milling cantilever machines, and also of the prototype machine proposed by the customer, made it possible to determine the number of "masses" (basic elements of the system) for the mathematical model-4. An analysis of the mass of the future system made it possible to construct a

structural simplified scheme of the stand. Structural scheme of the stand for the diagnosis of metalworking equipment is shown below.

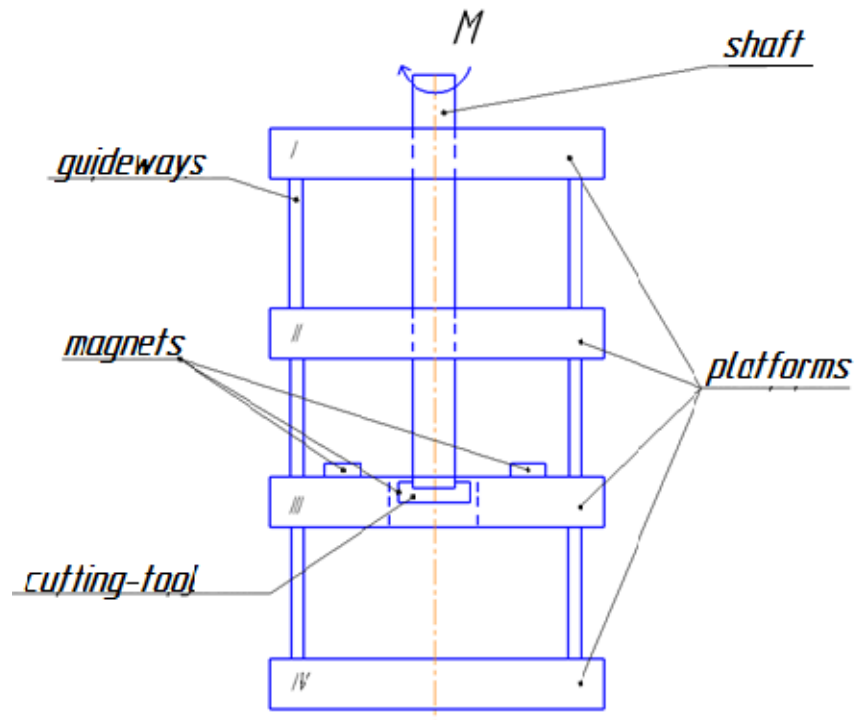


Figure 6. The stand for the diagnosis of metalworking equipment.

In a simplified form, the stand for the diagnosis of metalworking equipment is composed of a frame (4 platforms, mounted on fixed guideways); a rotary shaft, magnets, and sensors.

The shaft is fixed in movable supports in the upper platforms. It is set in motion by a motor. A disc, which imitates the cutting tool when milling, is attached to the shaft free point. This disk is immersed in the hole in the third platform. There are magnets, which simulate the loading that arise during the machining of materials on the disk and the third platform placed.

To carry out further mathematical research it is possible to hypothetically accept the stand modules appropriate to some modules of the milling machine: platforms I and II simulate the dynamics of the milling - head (in researching are one object, m_2), the platform III works as workpiece (m_1); platform IV is the stand

foundation is analogous machine foundation (m_3); and, finally, the shaft with the fixed disc is a cutting tool (m_4).

Thus, at this stage, the preparation for the construction of a mathematical model has been carried out, and it is possible to build a numerical model of the stand for the diagnosis of metalworking equipment.

3.3. Creating a numerical model.

The analysis of information sources, the ability to study the dynamics of bodies and a certain number of elements of the system under study made it possible to create a mathematical model of the stand. At the first stage a calculation scheme is created, after which a system of equations is created, which is a mathematical model of the dynamics of the equipment under study.

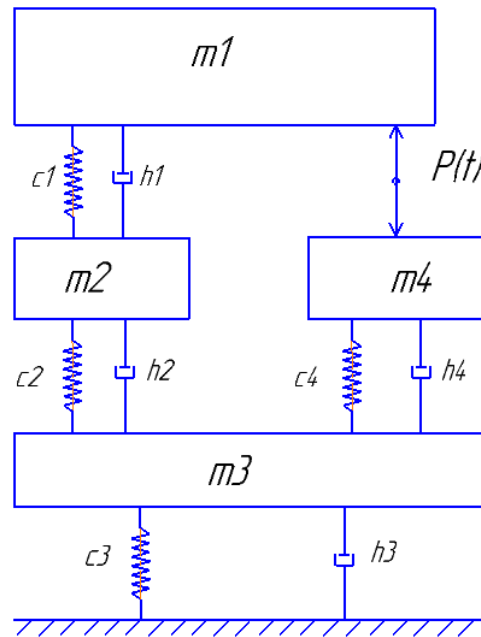


Figure 7. Calculation scheme.

There are cutting forces, which are first perceived by the cutting tool and the workpiece, during machining

According to the calculation scheme shown in figure 2, we write the equation of dynamics for each mass:

$$\begin{aligned}
Fm1 + Fh12 + Fc12 &= P(t) \\
Fm2 - Fh32 + Fh12 - Fc32 + Fc12 &= 0 \\
Fm3 - Fh34 + Fh23 - Fh43 - Fc34 + Fc23 - Fc43 &= 0 \\
Fm4 + Fh43 + Fc43 &= P(t)
\end{aligned}$$

Next, we carry out the converting:

$$\left\{ \begin{array}{l} m1 \cdot a1 + h1 \cdot (V2 - V1) + c1 \cdot (x2 - x1) = P(t) \\ m2 \cdot a2 - h2 \cdot (V2 - V3) + h1 \cdot (V1 - V2) - c2 \cdot (x2 - x3) + c1 \cdot (x1 - x2) = 0 \\ m3 \cdot a3 + h3 \cdot V3 - h2 \cdot (V3 - V2) - h4 \cdot (V4 - V3) + c3 \cdot x3 - c2 \cdot (x3 - x2) - c4 \cdot (x4 - x3) = 0 \\ m4 \cdot a4 + h4 \cdot (V4 - V3) + c4 \cdot (x4 - x3) = P(t) \end{array} \right.$$

or:

$$\left\{ \begin{array}{l} m1 \cdot \ddot{x}1 + h1 \cdot (\dot{x}2 - \dot{x}1) + c1 \cdot (x2 - x1) = P(t) \\ m2 \cdot \ddot{x}2 - h2 \cdot (\dot{x}2 - \dot{x}3) + h1 \cdot (\dot{x}1 - \dot{x}2) - c2 \cdot (x2 - x3) + c1 \cdot (x1 - x2) = 0 \\ m3 \cdot \ddot{x}3 + h3 \cdot x3 - h2 \cdot (\dot{x}3 - \dot{x}2) - h4 \cdot (\dot{x}4 - \dot{x}3) + c3 \cdot x3 - c2 \cdot (x3 - x2) - c4 \cdot (x4 - x3) = 0 \\ m4 \cdot \ddot{x}4 + h4 \cdot (\dot{x}4 - \dot{x}3) + c4 \cdot (x4 - x3) = P(t) \end{array} \right.$$

3.4. Numerical model research

Research method

MatLab was chosen for the further research. The research method is the Runge-Kutta`s method with using the ode45 solver. The chosen method makes it possible to construct a scheme for integrating a differential equation of any order.

Determination of initial conditions

It should be noted that the values of the coefficients (see Ttable 1) in the simulation are taken in accordance with the values of the real TS provided by the customer enterprise

Table 1.Values of physical parameters, coefficients of the numerical model.

	1	2	3	4
Mass m, H·sec ² /m	8	80	220	35,2
<u>Stiffness coefficient</u> c, 10 ⁶ H/M	10	40	40	10
Damping coefficient h, H sec/m	100	100	120	85
Amplitude value of force P _{0z} , H	400			

For further comparison, we calculate the natural frequencies of all components of the system, to prevent resonance.

$$\omega = \frac{\sqrt{\frac{c}{m}}}{2\pi}$$

Table 2. The natural frequencies of each components of the system

Mass number	$\omega, \Gamma_{\text{H}}$
1	205,5
2	113
3	68
4	85

Building a simulation plan

In the simulation, the harmonic law of the change in the force $P(t)$ is adopted, which contains a constant P_{0z} and variable $a P_0$:

$$P(t) = P_{0z} \cdot \sin(Z \cdot \omega \cdot t)$$

Where P_0 - the amplitude value of the variable of the perturbative force;

$\Omega = 2\pi f$ - the angular frequency (frequency), rad / s, f (Hz);

t - time, sec;

P_{0z} - the component of the cutting force.

z - the number of cutting teeth.

The angular frequency is estimated at 7 Hz, which corresponds to the rotation speed of the spindle (engine) of 400 rpm and the number of cutting teeth equal to 2.

$$\omega = 7\text{Hz} = 50\text{rad / s};$$

$$z=2.$$

Then, we perform the system analysis using the MatLab component. We use the Runge-Kutta's method using the ode45 solver.

Results of mathematical modeling.

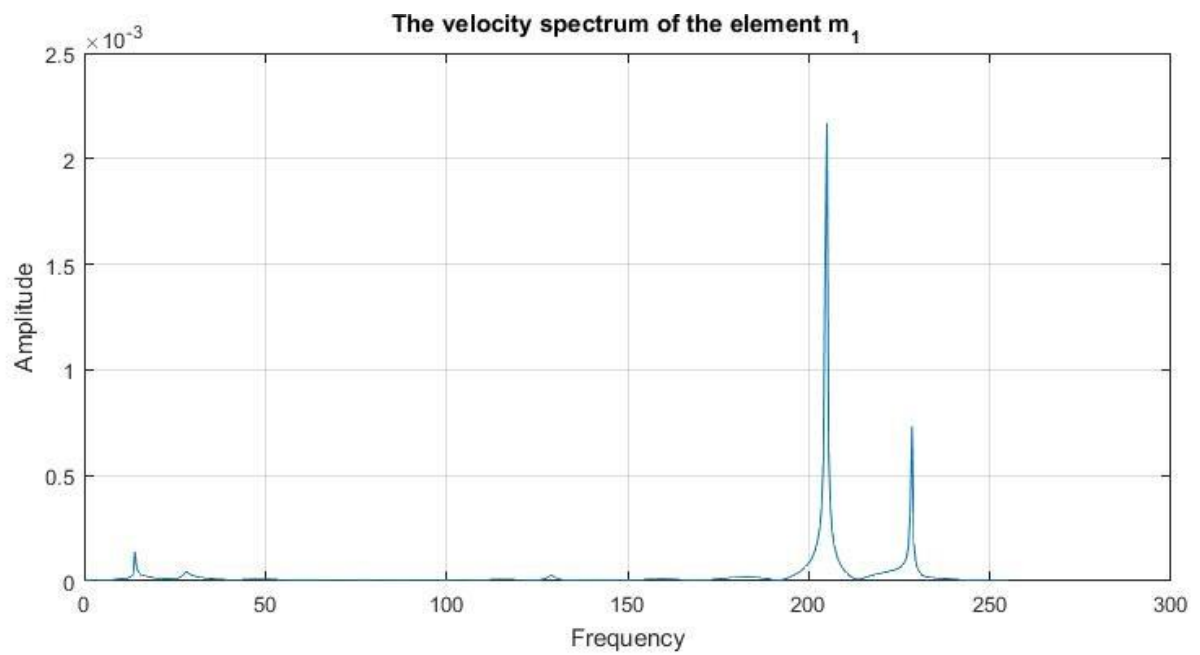


Figure 8. The characteristics obtained for the m_1 element.

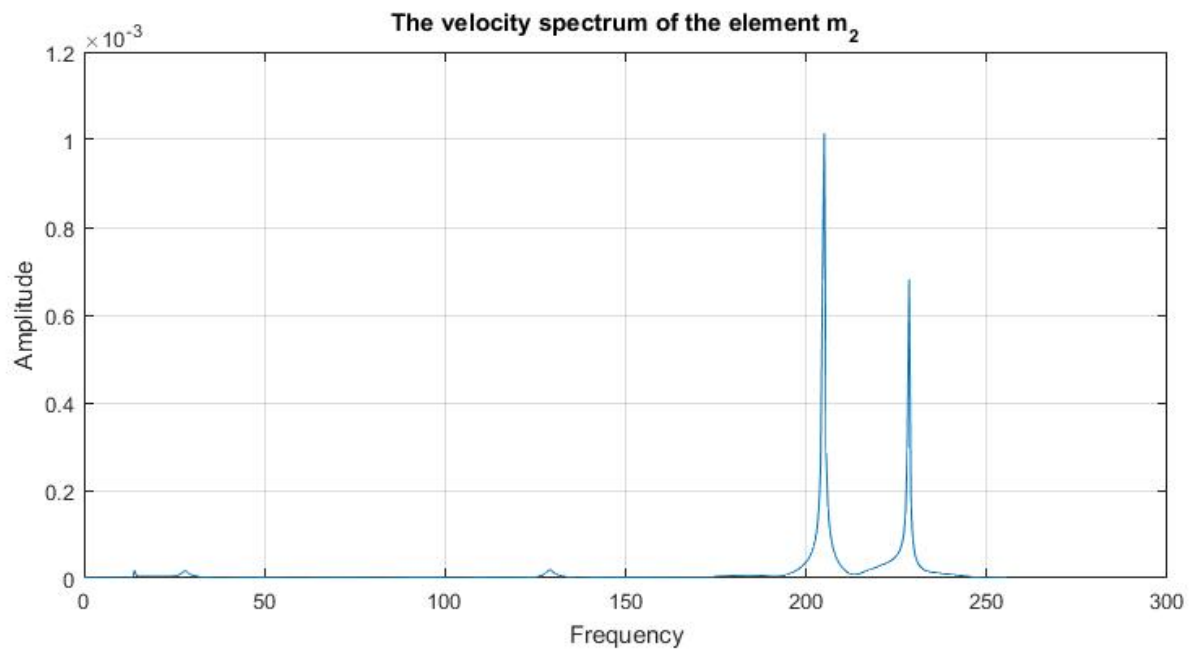


Figure 9. The characteristics obtained for them₂ element.

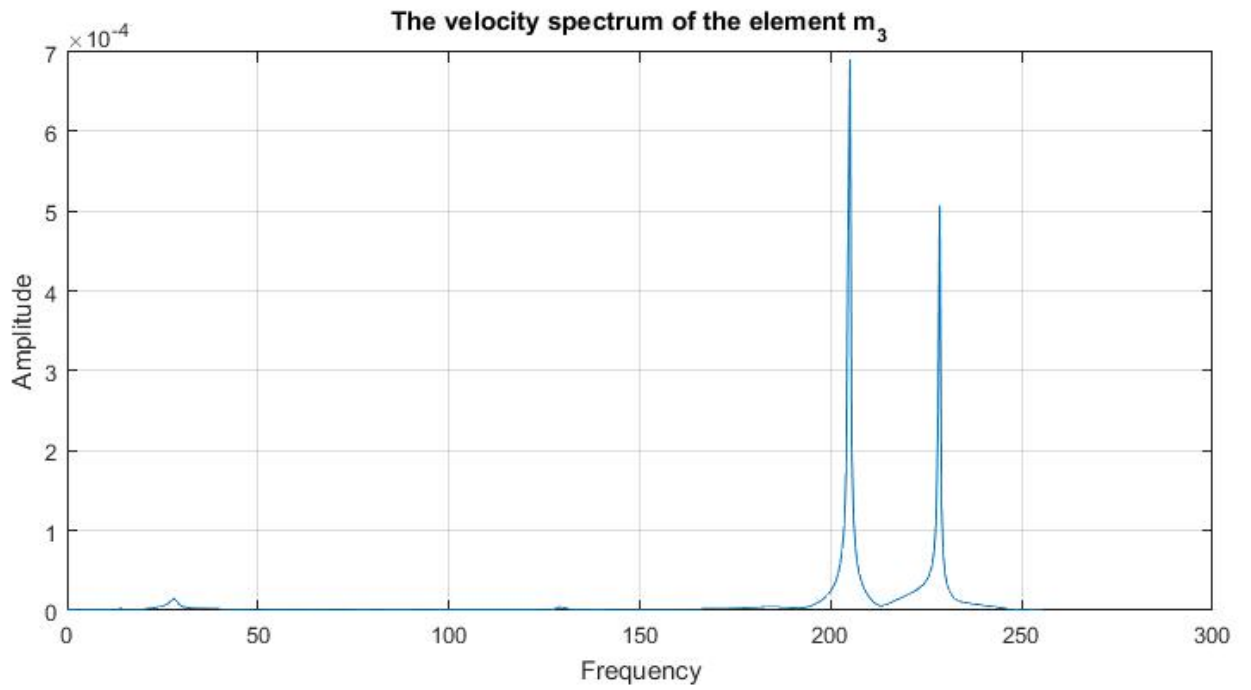


Figure 10. The characteristics obtained for the m_3 element.

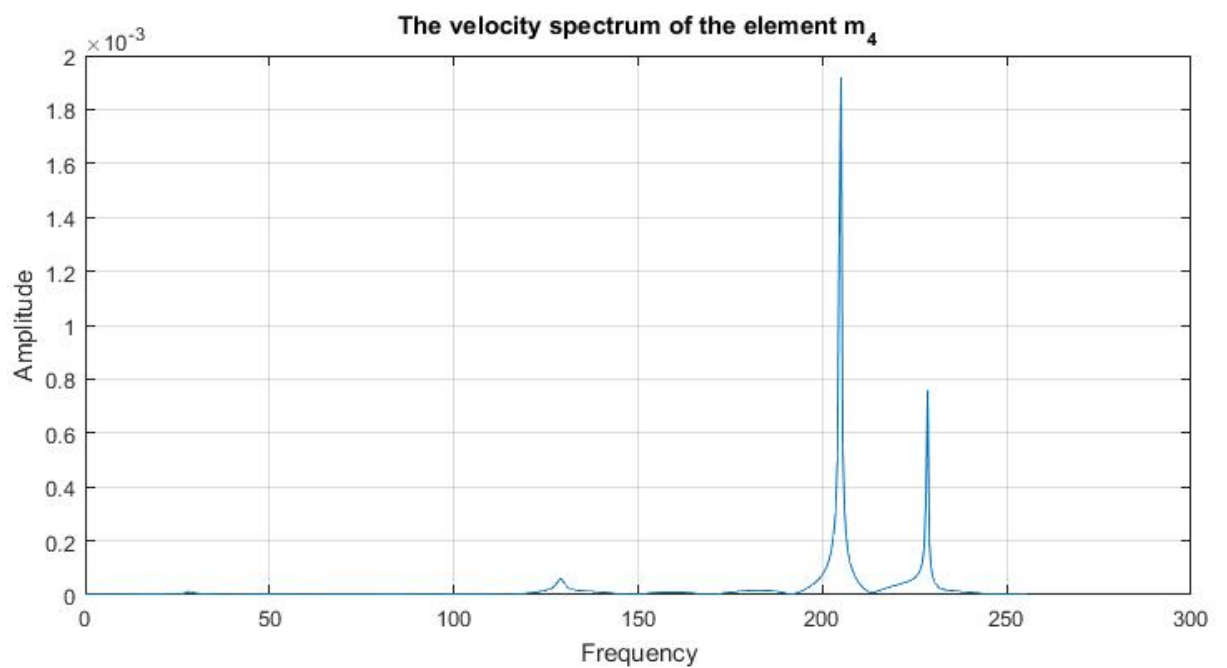


Figure 11. The characteristics obtained for the m_4 element.

Each of the four bodies of the system has its own (resonant) frequency.

Flashes detected on spectrograms at a speed of 400 rpm. Studying the mathematical model (speed of 6.6 Hz):

- 14 Hz
- 28 Hz
- 71 Hz
- 128 Hz
- 210 Hz

To confirm or refute the adequacy of the mathematical model of the stand for the diagnosis of metalworking equipment, additional research is needed. As such research experiments on real equipment.

3.5. The experimental part

3.5.1. The physical experiment on the machine is a prototype

The purpose of the physical experiment is to test the mathematical model of the stand for the adequacy of the machine.

To test the mathematical model of adequacy, a physical experiment was carried out. The experiment is performed on a 675P milling machine.

Development of an experiment plan

During the study, it was decided to conduct a two-factor experiment. The variables will be:

- spindle speed $N = 100; 200; 400$.
- Feed rate $s = 63, 40.20$.

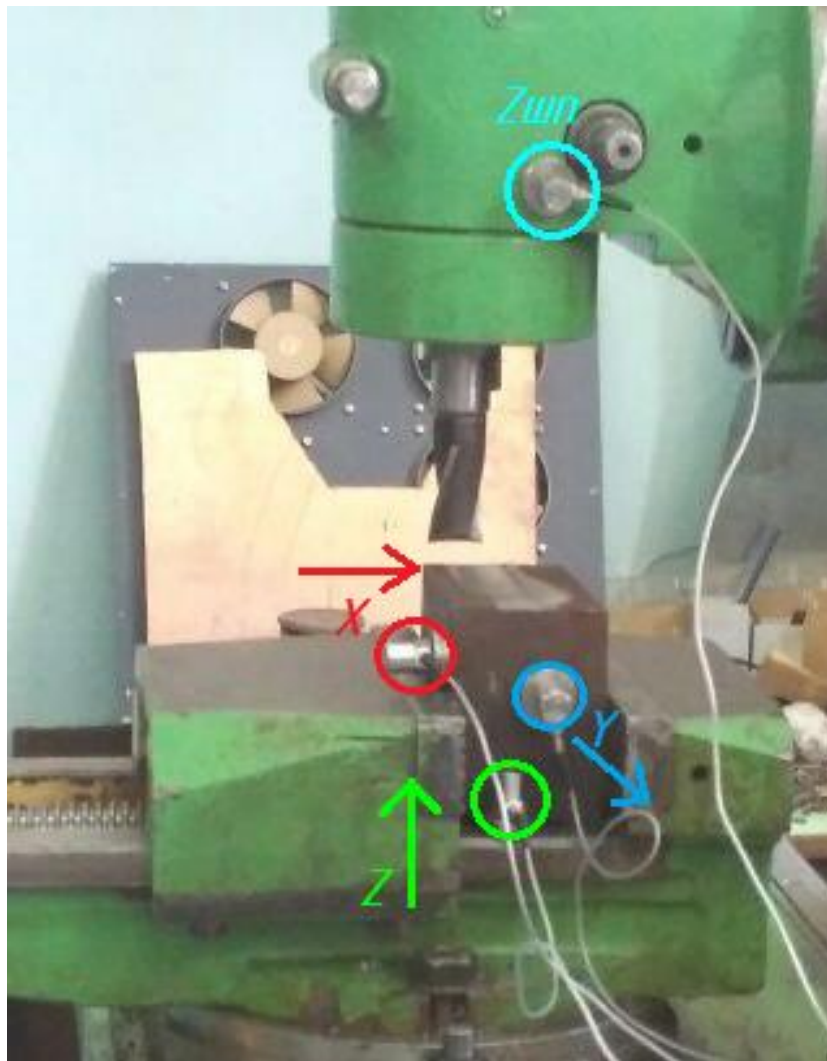
In this case, the cutting depth will be constant for all 9 machining starts $t = 0.5$ mm.

Setting up the machine and the mobile diagnostic complex

Connect accelerometer sensors to the rack, as well as during a physical experiment. The specialized software "Vibro-registrar-F2" has been launched. In addition, you need to define the sensor channels on your computer and configure the software shell.

Configuring the software shell: selecting a fixed value (vibration offset, vibration speed, vibration acceleration), tool, filter type and its parameters, etc.

- Red - X axis
- Blue - Y axis
- Turquoise - Z axis
- Green - spindle tipping.



Fragment 12. The location of the sensors "Vibroregistrator - F2" during the experiment.

The machine spindle has a two-tooth end mill.

Further, the surface of the preform was pre-cleaned to ensure the purity of the experiment.



Fragment 13.Prepared surface of the workpiece.

In addition, for each set of parameters, vibration indicators are measured (50 seconds after cutting the tool). As a result of the experiment, 9 experimental protocols were obtained.

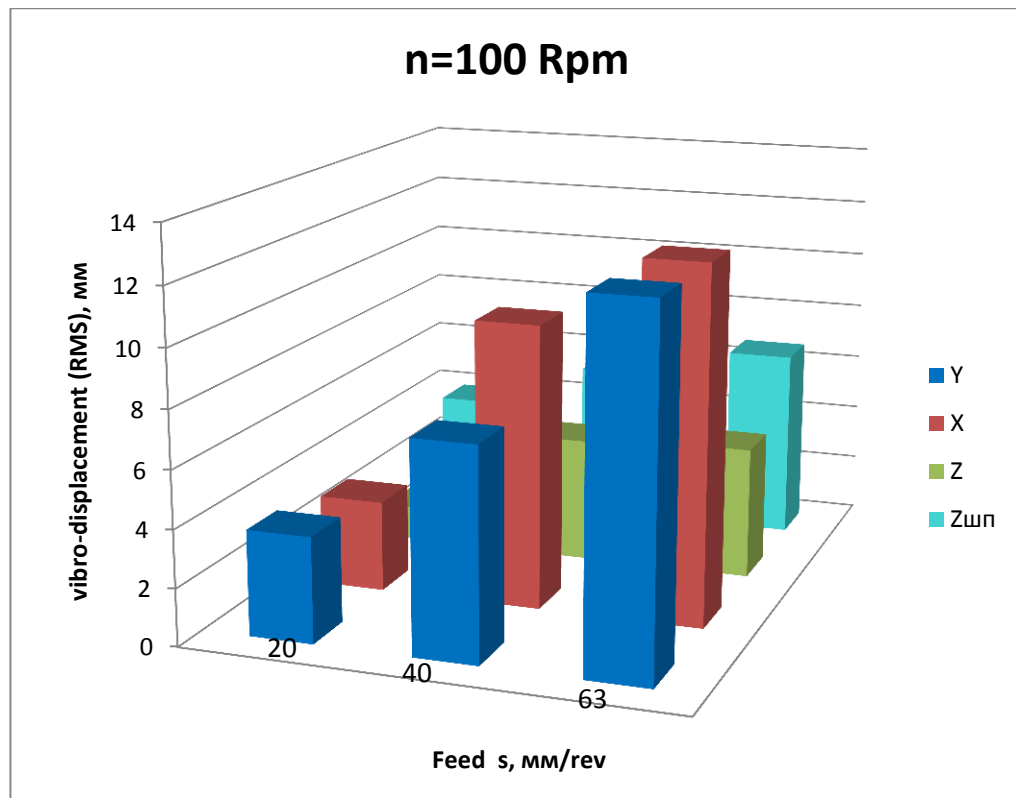
Analysis of experimental results

The result of data processing is shown in the table:

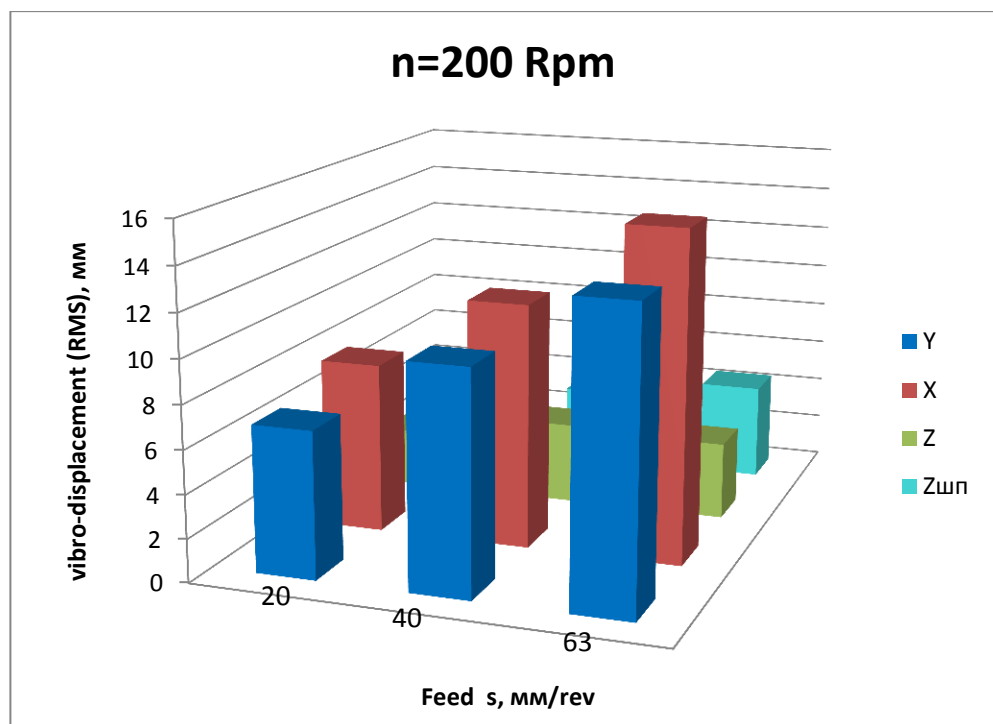
Table 3.Results of the experiment.

	N (Rpm)	S (mm/rev)	RMS	Peak value	Power (Watt)	Cross-factor
Channel 1 (Y)	100	20	3,68	22,55	12,95	6,127717391
	100	40	7,34	48,4	1309	6,59400545
	100	63	12,4	57,8	1448	4,661290323
	200	20	6,78	34,34	959,9	5,064896755
	200	40	10,23	24,5	8437	2,394916911
	200	63	13,55	37,5	22169	2,767527675
	400	20	5,5	90	303	16,36363636
	400	40	6,95	42,7	679,7	6,143884892
	400	63	7,76	45,5	1136,8	5,863402062
Channel 2 (X)	100	20	3,18	18,6	6,3	5,849056604
	100	40	9,9	35	3953	3,535353535
	100	63	12,4	42,5	9184	3,427419355
	200	20	7,9	45	1291,5	5,696202532
	200	40	11,3	43	11298	3,805309735
	200	63	15,2	48	37130	3,157894737
	400	20	8,8	31,8	2420	3,613636364
	400	40	10,9	49,4	4540	4,532110092
	400	63	13,6	80,3	12336	5,904411765
Channel 3 (Z)	100	20	1,22	8,6	0,07	7,049180328
	100	40	4,4	12,2	159	2,772727273
	100	63	4,65	15,8	247,7	3,397849462
	200	20	2,7	10,7	12	3,962962963
	200	40	3,8	11,5	103	3,026315789
	200	63	3,6	17,3	58,3	4,805555556
	400	20	4,46	39,2	80,2	8,789237668
	400	40	4,15	11,12	111,8	2,679518072
	400	63	4,5	14,2	208,6	3,155555556
Channel 4 (Zsp)	100	20	3,95	25,4	16,6	6,430379747
	100	40	5,6	16,7	620	2,982142857
	100	63	6,7	27,3	1204	4,074626866
	200	20	3,15	38	14,8	12,06349206
	200	40	3,6	25,8	20,6	7,166666667
	200	63	4,5	18,7	49,6	4,155555556
	400	20	3,9	38,8	82,2	9,948717949
	400	40	5,3	49,6	445	9,358490566
	400	63	6,6	48	1273	7,272727273

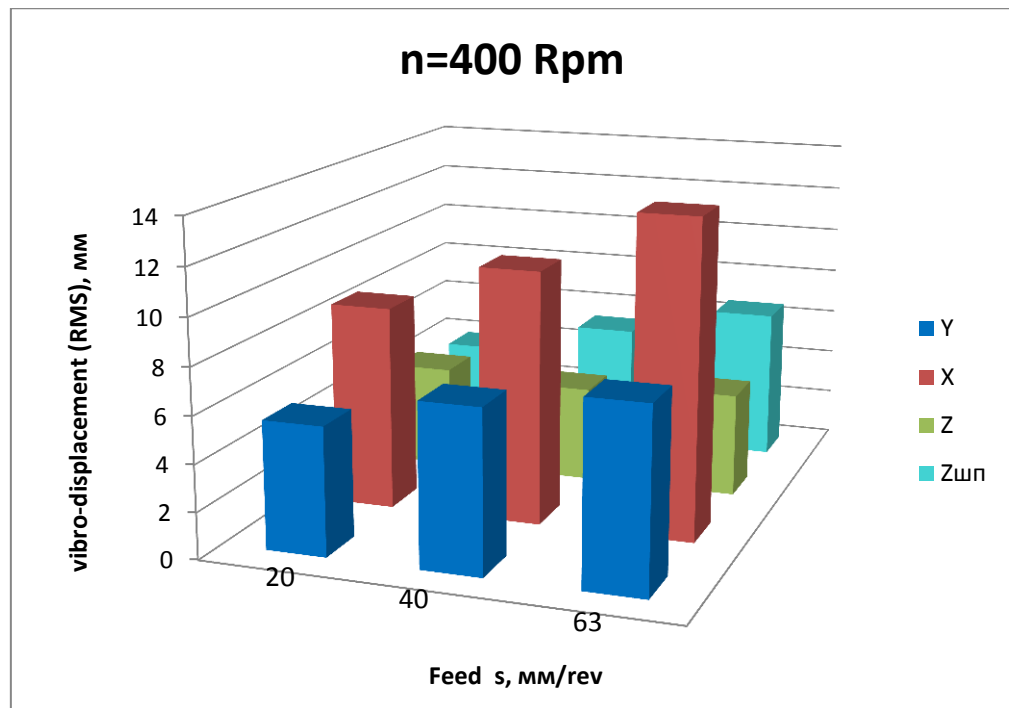
Based on the results of the experiment, the following diagrams are constructed:



Fragment 14. Diagram of dependence of vibro-displacement on the axes for $n = 100$



Fragment 15. Diagram of dependence of vibro-displacement on the axes for $n=200$



Fragment 16. Diagram of dependence of vibro-displacement on the axes for
 $n = 400$

It can be seen from the graphs that the greatest impacts on all axes are observed at a lower spindle rotation frequency. Of the selected modes, the latter is the most optimal for operation, the greatest vibration excitation is observed along the X axis, which is due to the effect of the cutting force component.

To determine the frequency ranges of the technological equipment of interest to us, a more complete analysis of the spectrograms for each of the nine experimental protocols was carried out. The data obtained are presented in the table.

Table 4. The results of the study of the spectrograms of physical modeling

Experiment number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	n=100 Rpm			n=200 Rpm			n=400 Rpm		
Jump frequency, Hz	7	7	3	6,71	7	7	7	6,7	6,9
	13,7	10,55	7	13,7	10,5	10,5	13,6	10,48	13,7
	14	13,7	13,7	25	13,7	13,7	20,8	20,8	20,8
	20,9	20,85	21,1	41	20,8	20,8	28	28	28
	28	28	24,85	82,2	25	41	34,9	34,9	34,9
	41	41,8	41	128,2	41	80,2	41	41	41
	41,8	83,75	42	207,5	128	128	83,7	83,8	83,8
	128,3	128,2	128,2		208	207,1	128,2	128,2	128
							208,3	207,9	208

3.5.2. A physical experiment on a stand for simulating

The purpose of the experiment is to test the numerical model of the stand for the adequacy of the machine.

To conduct this physical experiment, the imitation stand is directly used for studying metalworking equipment.

Experiment plan

The physical experiment at the stand is to perform a load similar to the physical experiment on the prototype machine at $n = 100, 200, 300$ rpm. The stand is set up for the parameters typical for the equipment under study.

For each of the stand operation modes, a spectrogram is examined and frequency jumps are detected.

Determination of initial conditions

The initial conditions for carrying out the simulation experiment are the stiffness characteristics of the guideways.

Table 5 - Variation of stiffness parameters

Кол-во	4 подпружиненных шпильки				8 подпружиненных шпилек			
Опора	Верхняя опора		Нижняя опора		Верхняя опора		Нижняя опора	
Натяг, Н	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм	Рх, мкм	Ру, мкм
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0,5	1	0,5	1	0,1	1	0,2
4	1	1,9	2	1,2	1	0,3	1,2	0,5
6	1,6	2,2	3	2,7	1	0,5	1,3	0,7
8	2,3	3,7	4	4	1	0,8	1,5	0,8
10	3,9	4,3	5	5	1,5	1	1,6	1
	Расчитанная жёсткость каждого узла, Н/мм							
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	400	200	4	200	2000	200	1000
4	400	211	200	333	400	1333	333	800
6	375	272	200	222	600	1200	462	857
8	349	216	200	200	800	1000	533	1000
10	256	233	200	200	667	1000	625	1000

Setting up the stand and mobile diagnostic complex

The first stage of the simulation is the installation of the stand. For this, the rigidity of the stand is regulated by the movement of the supports along the guide shafts. Stiffness is adjusted in accordance with the specified parameters of the equipment under study at a scale of 1:10. Accelerometer sensors are connected to the stand, as well as during a physical experiment.

The specialized software "Vibro-registrar-F2" was launched. In addition, you need to define the sensor channels on your computer and configure the software shell. Configuring the software shell: selecting a fixed value (vibration offset, vibration speed, vibration acceleration), tool, filter type and its parameters, etc.

In addition, according to the plan of the physical experiment, the loading is carried out under conditions of shaft rotation: 100, 200 and 400 rpm.

Carrying out an experiment



Figure 17. Stand for the diagnosis of metalworking equipment. Imitation experiment.

The speed of the input shaft is set on the control panel. The stand is running. In the software interface, an experiment is established, the reading time (in particular, 30 seconds) is set, and the received spectrograms are examined.

As in the physical experiment on the prototype, when the shaft rotates at a speed of 100 and 200 rpm, the system shows an unstable state, a low overall rigidity of the system. The system is subject to extraneous vibrations, so the data is not fair enough. Thus, the resonant frequencies of the system of interest will be detected on a spectrogram obtained in the course of the experiment at a shaft rotation speed $n = 400$ rpm.

The most active jumps detected on a spectrogram obtained during an imitation experiment are observed at the following frequencies:

- 14.6 Hz
- 20.8 Hz
- 30.2 Hz
- 50 Hz
- 73.85 Hz
- 94.6 Hz
- 122 Hz
- 203 Hz

To make a conclusions about the adequacy of the numerical model of the stand for the study of metalworking equipment, it is necessary to conduct a cumulative analysis of all the data obtained in the studies.

3.5. Comparison of the results. Estimation of adequacy of the created numerical model

Thus, some similar data were obtained during the numerical research and physical and imitation experiments. Let us compare the frequencies obtained, which are assumed resonant with the natural frequencies calculated for the numerical model and the bursts detected in spectrograms during the study of the model and experiments. To this end, let us designate the calculated resonance frequencies of each of the elements of the system and select the experimental values most appropriate to each of them. The results are presented in the table:

Table 6. Comparison of calculated and experimental data.

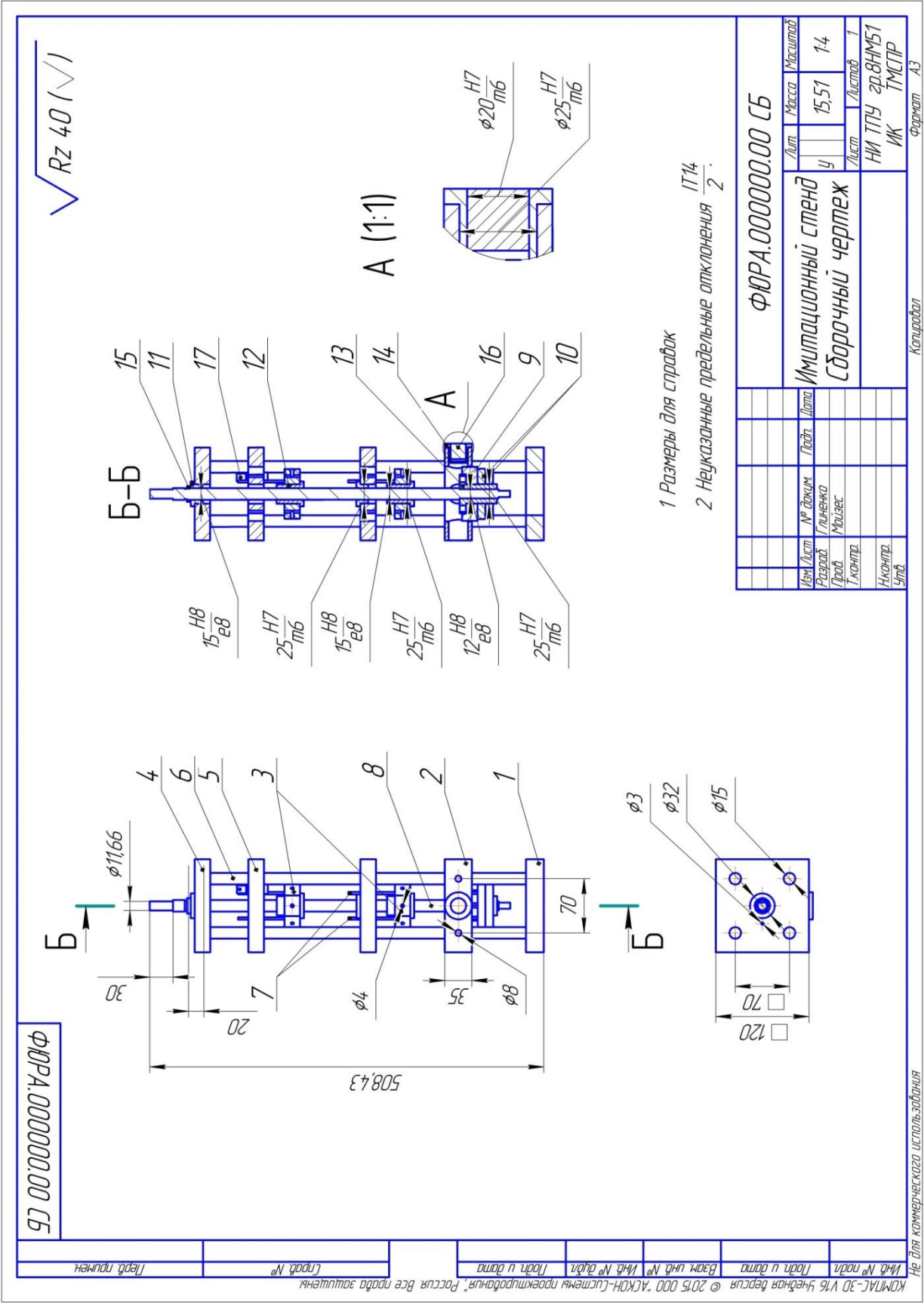
Frequency jumps, Hz			
The self-frequencies of the elements of the system	Numerical research	Physical experiment on a prototype	A physical experiment on an imitation stand
68	41	41	50
85	71	83	73,85
113	128	128	122
205,5	210	208	203

In the spectra of the system, jumps corresponding to these resonance frequencies are observed for each particular body. Because simulation is error prone, and the system has several masses, some indicators may overlap. Accordingly, the resonant frequencies on the spectra differ from the calculated ones.

The difference in the results of theoretical and experimental numerical research is also due to factors such as:

- non-linearity of the system
- Simplification of the concept of disturbing force (harmonic oscillations are used instead of polyharmonic).

Accordingly, therefore, there is a difference in the results of theoretical calculations and physical experiments. Moreover, between the indicators of numerical modeling and the experimental data obtained, the difference is not so significant; the discrepancy on the average does not exceed 15%. Thus, the developed numerical model can be considered adequate and possible for use in further studies of similar technological equipment.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б.2

КОМПАС-3D V16 Учебная версия © 2015 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены. Ид. № подл. Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата	Лист 1 из 1			Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
	Лист 1 из 1			A2			ФЮРА.000000.00 СБ	Стенд. Сборочный чертеж		
	Лист 1 из 1							Документация		
	Лист 1 из 1							Детали		
	Лист 1 из 1				1	ФЮРА.000000.01	Основание	1		
	Лист 1 из 1				2	ФЮРА.000000.02	Опора	1		
	Лист 1 из 1				3	ФЮРА.000000.03	Опора	2		
	Лист 1 из 1				4	ФЮРА.000000.04	Опора	1		
	Лист 1 из 1				5	ФЮРА.000000.05	Опора	2		
	Лист 1 из 1				6	ФЮРА.000000.06	Стойка	4		
	Лист 1 из 1				7	ФЮРА.000000.07	Пружина	4		
	Лист 1 из 1				8	ФЮРА.000000.08	Вал	1		
	Лист 1 из 1				9	ФЮРА.000000.09	Диск	1		
	Лист 1 из 1				10	ФЮРА.000000.10	Диск	2		
	Лист 1 из 1				11	ФЮРА.000000.11	Втулка	2		
	Лист 1 из 1				12	ФЮРА.000000.12	Втулка	2		
	Лист 1 из 1				13	ФЮРА.000000.13	Вставка	1		
	Лист 1 из 1				14	ФЮРА.000000.14	Вставка немагнитная	1		
	Лист 1 из 1				15	ФЮРА.000000.15	Кольцо	1		
	Лист 1 из 1				16	ФЮРА.000000.16	Магнит	1		
Лист 1 из 1				17	ФЮРА.000000.17	Эксцентрик	1			
Лист 1 из 1			ФЮРА.000000.00 Имитационный стенд							
Лист 1 из 1			НИ ТПУ Гр.8НМ51 ИК ТМСПР							

Не для коммерческого использования
Копировал
Формат A4