

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 робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Динамические процессы вихревого растачивания

УДК 621.914.1:621.951.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Хайруллин Александр Римович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин Алексей Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова Марина Игоревна	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Вильнин Александр Даниилович			

Томск – 2017 г.

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 Гаврилин А. Н.**

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 <i>знания</i> 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 знания</i> 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> и <i>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>

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

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</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> 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>иностранном 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</i> <i>социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно</i> учиться 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 робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ51	Хайруллину Александру Римовичу

Тема работы:

Динамические процессы вихревого растачивания	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 27.04.17 № 2357/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	Провести исследования динамики работы вихревого растачивания. Исследования выполнить при условиях приближенных к реальным условиям.
----------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Данная тема мало исследована в науке. Задача работы заключается в разработке принципиальной схемы, математической модели, экспериментальной оснастки и динамическом анализе. Определение частотных характеристик динамической системы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
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:	
Обзор литературы	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин А. Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Хайруллин Александр Римович		

Реферат

Диссертация содержит 104 страницы, 57 рисунков, 19 таблиц, 34 источника.

Ключевые слова: вихревое растачивание, динамические процессы, механообработка.

Цель работы – выявление оптимальных режимов вихревого растачивания многозубой резцовой головкой.

Объектом исследования является вихревое растачивание многозубой резцовой головкой.

Предметом исследования являются определение динамических характеристик вихревого растачивания.

В процессе исследования разработана специальная экспериментальная оснастка, проведен анализ динамических характеристик вихревого растачивания многозубой резцовой головкой.

В результате исследования предложены оптимальные режимы обработки при вихревом растачивании многозубой резцовой головкой, построена математическая модель.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: проведение экспериментального исследования при помощи специальной оснастки до 2500 об/мин.

Эффективность разработанных экспериментальной оснастки и математической модели определяется их точностью.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Технологическая система СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь) является замкнутой технологической системой, способной к возникновению и поддержанию вибраций, порождающих погрешность размеров, формы обрабатываемых поверхностей и увеличение шероховатости.

Вихревое растачивание – процесс механической обработки внутренних поверхностей отверстия расточными резцами в заданный размер.

Динамические процессы – множество элементов, для которого задана функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы.

Математическая модель – приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ИНФОРМАЦИОННО АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	4
3. Объект и методы исследования.....	14
4. Расчет и аналитика.....	20
4.1.Разработка экспериментальной оснастки.....	20
4.2.Проведение экспериментального исследования.....	23
4.3. Математическое моделирование.....	37
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
5.1. Предпроектный анализ.....	47
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
5.2 SWOT-анализ.....	51
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	52
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	52
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	54
5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	56
5.3.4 Расчет материальных затрат НИИ.....	59
5.3.5 Основная заработная плата исполнителей.....	60
5.3.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	63
5.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	64
5.3.8 Накладные расходы.....	65
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	65
5.5. Заключение.....	68
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	69
Введение.....	70
6.1. Производственная безопасность.....	71
6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	75
6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	78
6.2. Экологическая безопасность.....	79
6.2.1. Анализ воздействия объекта на атмосферу и методы защиты	79

6.2.2. Анализ воздействия объекта на литосферу и методы защиты	80
6.2.3. Анализ воздействия объекта на гидросферу и методы защиты.....	80
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	82
6.4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	82
6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	86
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	90
Приложение А.....	93

ВВЕДЕНИЕ

Исследование динамических процессов является актуальной задачей современности. Процесс резания является сложным процессом, протекающим при высоких скоростях, температурах и давлениях, действующих на резец и как следствие на систему «станок приспособление инструмент деталь» (СПИД). На сегодняшний день вихревое растачивание производится однозаходным резцом, но применение многозаходных резцов позволит значительно повысить качество обработки изделия за счет распределения режущих сил среди режущих кромок находящихся в зацеплении, а также повысить производительность. Однако динамика вихревого растачивания с применением многозаходной резцовой головки не изучена в полной мере, что является большим упущением. Качество обработки материала можно повысить при помощи конструктивных и технологических методов. Наиболее экономически выгодный метод является технологический метод. Изучение динамики определить резонансные частоты, что приводит к возникновению так называемой огранки.

Предметом исследования является изучение динамических процессов возникающих при вихревом растачивании глубоких отверстий с применением многозаходным резцом.

Научная и практическая новизна заключается в том что, для решения данной проблемы применяется технологический способ для выполнения практического исследования разработана специальная экспериментальная оснастка позволяющая воссоздать процессы вихревого растачивания без учета стружкообразования и с контролируемым нагружением несущих элементов технологической системы. А также написана математическая модель, которая позволит выявлять оптимальные режимы обработки материала.

2. ИНФОРМАЦИОННО АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы необходимо провести анализ средств и методов диагностики технологических систем. Цели диагностики технологических систем обеспечить максимальную производительность, эффективность, качество поверхности и т.д., что требует поддержания постоянных условий или регулирования процесса. Такие параметры включают зазор, концентрацию продукта эрозии в зазоре, температуру рабочей жидкости и ее расход.

Выбор оборудования для оперативной диагностики процесса резания зависит в основном от следующих факторов [9]: информативность, простота и надежность установки на станке. В настоящее время наиболее распространенными диагностическими методами являются, методы определения радиальной статической и динамической жесткости несущих элементов металлорежущих станков.

Современные методы определения жесткости делятся на два основных типа:

- Статический;
- Динамический.

1) Способ определения жесткости узла станка.

Сущность способа заключается в измерении перемещения в радиальном направлении, в процессе которого, усилие увеличивается плавно до максимально возможного отклонения. После максимального нагружения усилие постепенно снижается до нулевого значения с остаточной упругой деформацией суппорта.

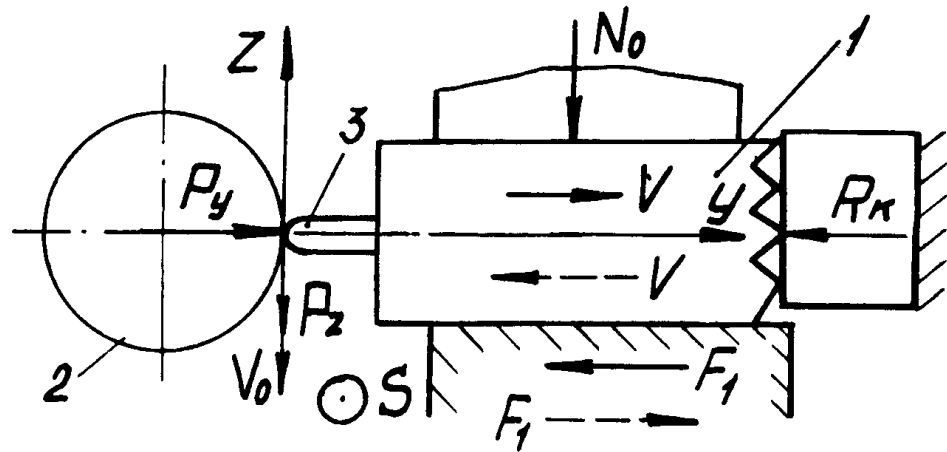


Рисунок 2.1. Способ определения жесткости узла станка

В каждом случае нагружения технологической системы станка по его упругим перемещениям, определяются пересечения прямой, проведенной параллельно оси абсцисс из точки пересечения кривой разгрузки, с осью ординат, а также, с кривой нагрузки построенных графиков зависимости перемещений суппорта от нагрузки. После, определяют жесткость по соотношению силовых параметров и упругих перемещений (Рис. 2.2.).[16]

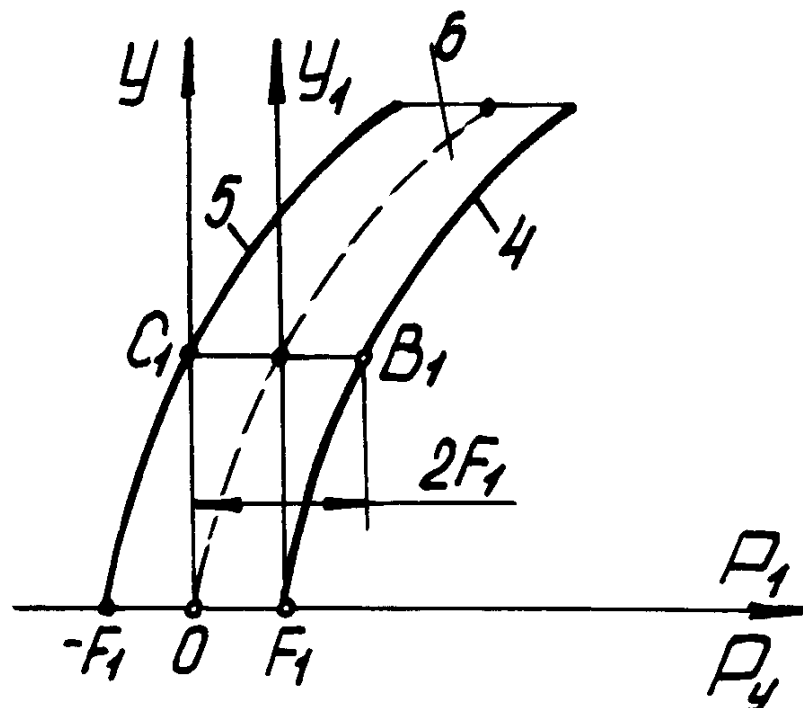


Рисунок 2.2. Способ определения жесткости узла станка

Представленный метод обладает и рядом недостатков:

- Статическое нагружение, не дает полной характеристики процессов происходящих в технологической системе;
- Процесс проведения исследования занимает большое количество времени;
- Низкая точность нагружения узлов;
- Необходимость проведения отдельного исследования для каждого узла технологической системы.

2) Способ диагностики шпиндельного узла.

Сущность способа заключается в следующем: выбирается режим испытания станка, затем выполняется обработка центральной части специальной оправки резцом. Датчики перемещения расположены в поперечных сечениях оправки. Сигнал поступает в усилительно-преобразующую аппаратуру и в адаптированное программное обеспечение на персональном компьютере. В интерфейсе программы строится траектория оси специальной оправки в двух сечениях. Во время движения режущая кромка резца описывает на поверхности специальной оправки кривую. Полученная кривая формирует "геометрический образ" обработанного сегмента. Программное обеспечение производит построение "геометрического образа" на экране. По построенному образу определяются параметры точности обработанной оправки. Система работы представлена на рисунке 2.3.[15]

Существенными недостатками данного устройства являются:

- Нагружение в радиальном направлении;
- Сложность установки;
- Высокая трудоемкость.

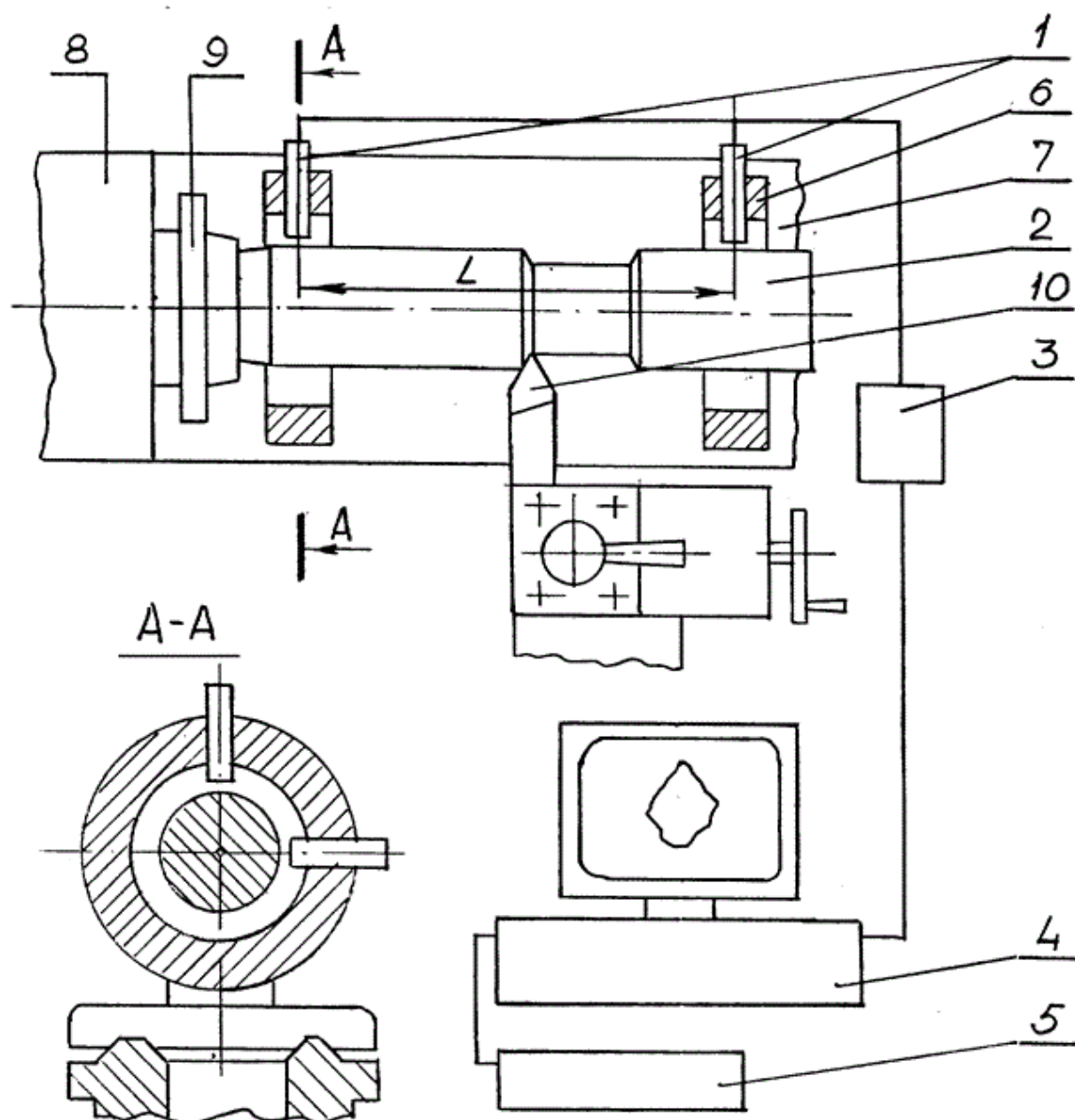


Рисунок 2.3. Способ диагностики шпиндельного узла

3) Устройство для определения радиальной динамической жесткости шпиндельных узлов металлорежущих станков.

Сущность устройства. В шпиндельном узле станка устанавливается специальная оправка, которая нагружается при помощи пневмоцилиндра. От штока пневмоцилиндра специальной оправке через подушку передается нагрузка. В подушку через канал в штоке пневмоцилиндра подводится сжатый воздух, вследствие чего между подушкой и оправкой возникает аэростатическая сила. За счет аэростатического нагружения оправки

постоянно сохраняется зазор. Нагружение специальной оправки может быть либо постоянным, либо изменяться в соответствии с задаваемым законом. Точность нагружения контролируется и корректируется при помощи датчика обратной связи. Измерение динамической радиальной жесткости осуществляется при помощи бесконтактных датчиков.[17]

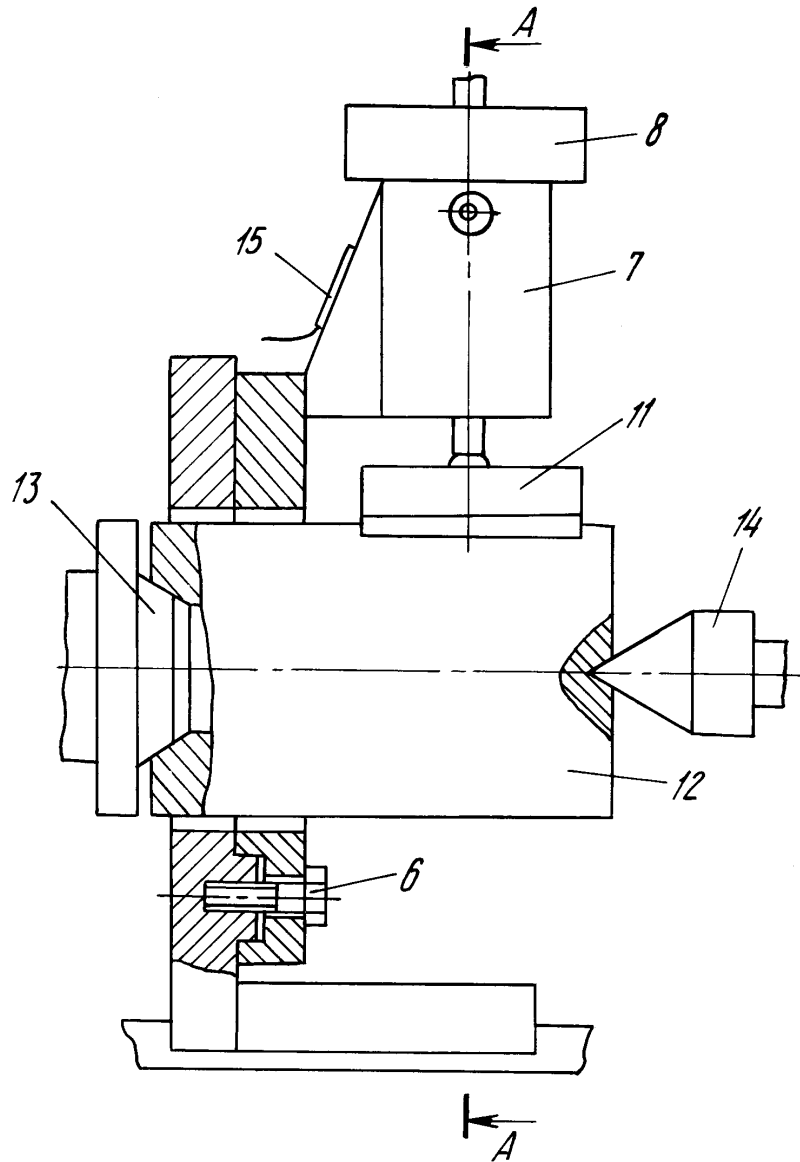


Рисунок 2.4. Устройство для определения радиальной динамической жесткости шпиндельных узлов металлорежущих станков.

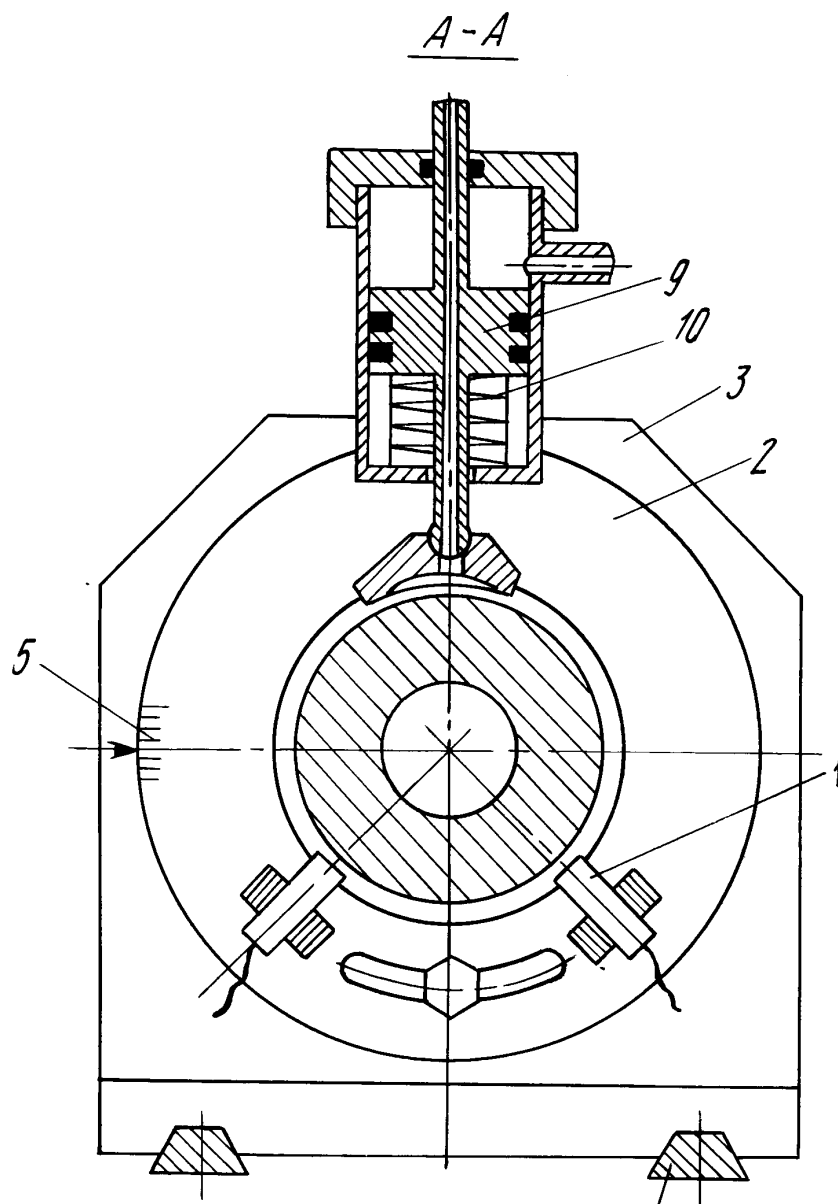


Рисунок 2.4. Устройство для определения радиальной динамической жесткости шпиндельных узлов металлорежущих станков.

Существенными недостатками данного устройства являются:

- Большой размер устройства;
- Необходимость наличия пневмосистемы в цеху;
- Сложность установки;

4) Способ диагностирования относительного положения и жесткости инструментальной оснастки в расточных операциях по показателям точности обработанных деталей.

Сущность способа. Перед началом обработки измеряется поперечное сечение и значения биения заготовки, а также, размер и профиль обрабатываемой и базовой поверхностей заготовки. Далее, заготовка обрабатывается, измеряется профиль в двух поперечных сечениях. При закрепленной заготовке фиксируется положение точек измерения относительно зажимных элементов технологической системы. После обработки поверхность измеряют строго в изначальных точках. По результатам измерения определяется положение оси вращения инструмента относительно оси зажимных элементов технологической системы. по значению диаметра обработанной поверхности относительно изначального диаметра с учетом радиальной составляющей силы резания(оно неполное как будто я не до конца знаю о чем именно речь). Таким образом, определяется жесткость инструментальной оснастки.[18] Схемы расстановки точек замера представлены на рисунках 2.6. – 2.8.

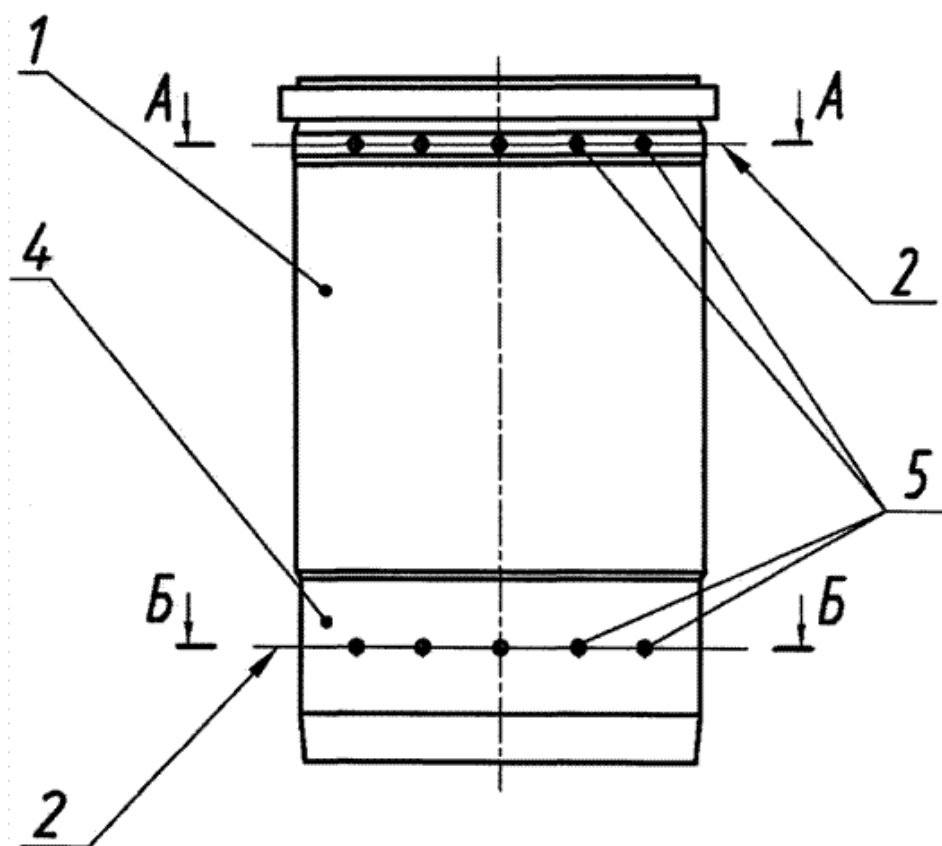


Рисунок 2.6. Схема разметки заготовки.

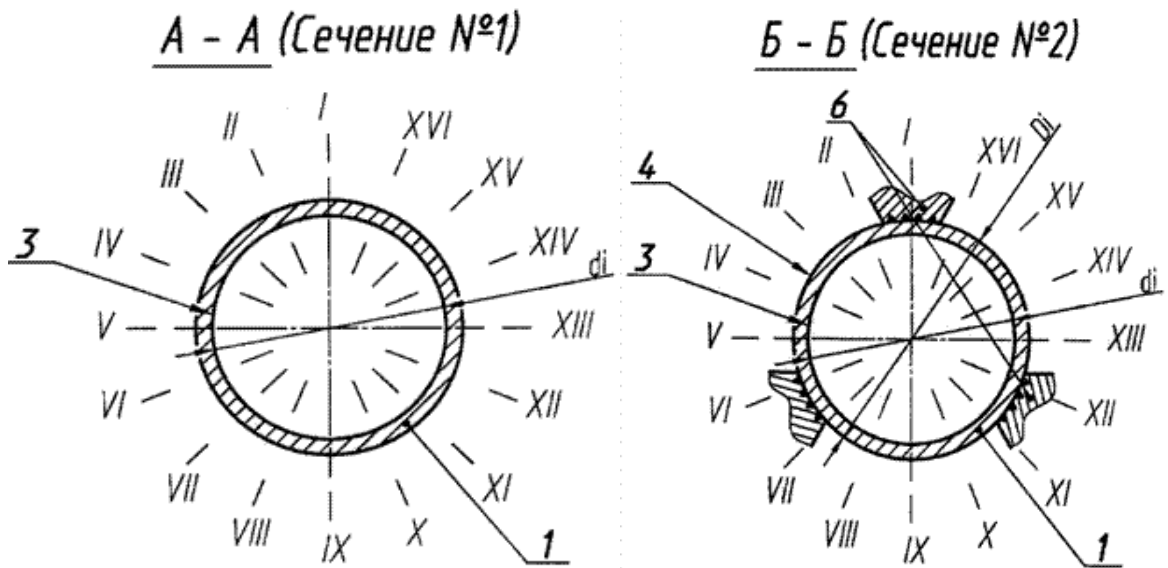


Рисунок 2.7. Разрез А-А и Разрез Б-Б.

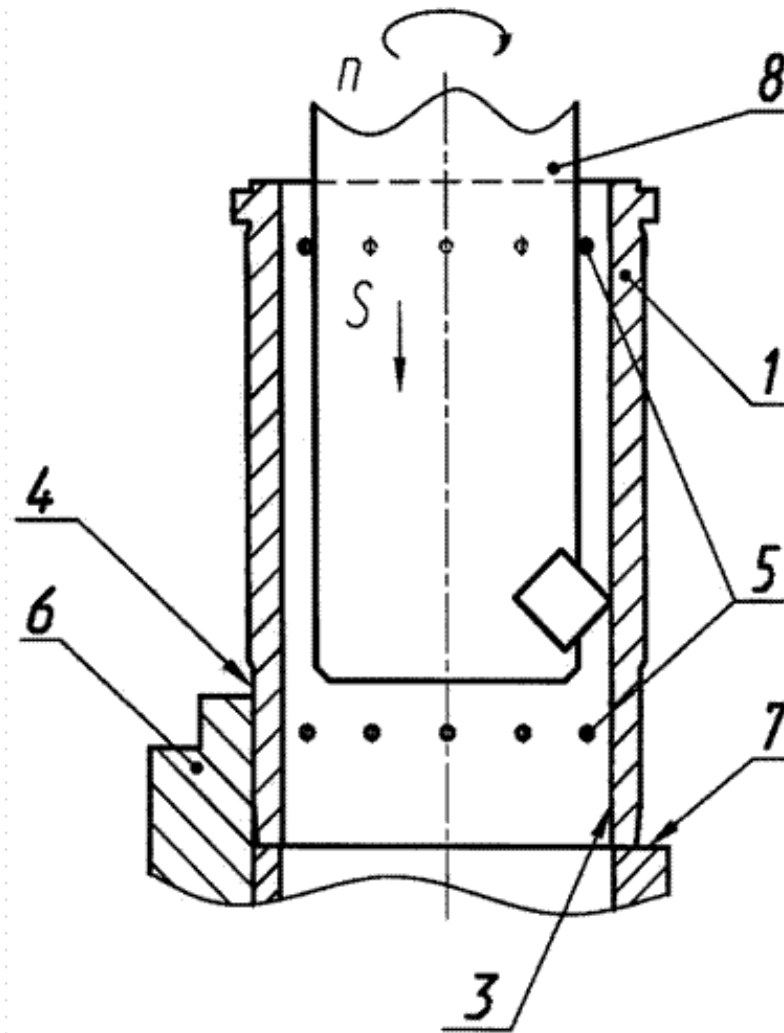


Рисунок 2.8. Схема обработки заготовки на расточной операции.

Существенными недостатками данного устройства являются:

- Нагружение в радиальном направлении;
- Сложность установки;
- Высокая трудоемкость.

5) Способ определения жесткости технологической системы круглошлифовального станка с ЧПУ.

Сущность способа. Заготовку измеряют в процессе обработки при помощи прибором активного контроля диаметра, сигнал которого поступает в контроллер и при помощи аналогово-цифрового преобразователя определяется фактический удаляемый припуск.[18] Жесткость технологической системы, в свою очередь, определяется на основании рассчитываемого значения радиальной составляющей силы резания и разности между рассчитываемым и фактическим припусками по формуле:

$$I_{\phi} = \frac{P_y}{(P_p - P_{\phi})} \quad (2.1)$$

Где: I_{ϕ} - жесткость технологической системы, Н/м;

P_y - рассчитываемое значение радиальной силы резания, Н;

P_p - рассчитываемый припуск;

P_{ϕ} - фактический припуск.

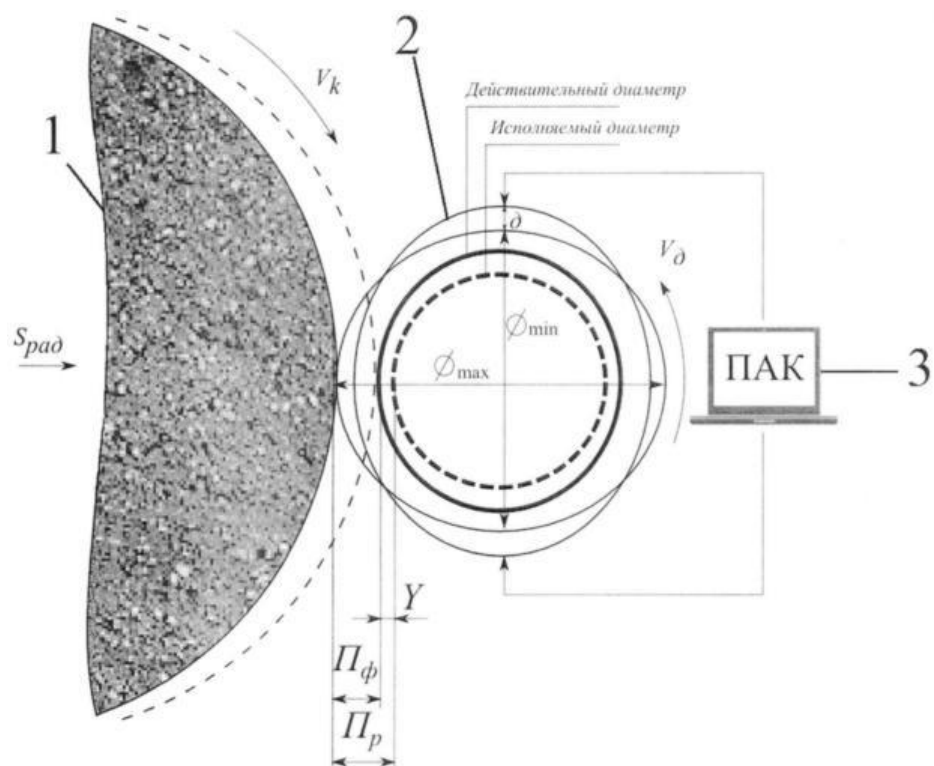


Рисунок 2.9. Способ определения жесткости технологической системы круглошлифовального станка с ЧПУ.

Существенными недостатками данного устройства являются:

- Разная прочность шлифовального круга;
- Дорогостоящее оборудование;
- Высокая трудоемкость;

Исходя из проведенного обзорного исследования, можно сделать следующий вывод: существующие методы сложны в применении, трудоемки, затратны с финансовой и ресурсной сторон, кроме того, они не учитывают наличие трех технологических осей, что приводит к высокой погрешности проводимых исследований.

3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Технической проблемой, на решение которой направлена предложенная разработка для определения оптимальных режимов обработки глубоких отверстий путем вихревого растачивания при помощи многозубой расточной головки, с целью повышения качества обрабатываемой поверхности. Вихревое растачивание при помощи многозубой расточной головки является прогрессивным методом обработки глубоких отверстий. Для решения данной задачи разработано устройство для определения динамической жесткости несущих элементов металлорежущих станков, позволяющего повысить точность определения динамической жесткости и оптимального режима работы металлорежущих станков при вихревом растачивании глубоких отверстий. Внедрение многозубцовых резцовых головок не поступает в промышленное производство в связи с тем, что элементы устанавливаются на подшипники качения. Связи с этим значительно увеличивается размер конструкции и усложняется ее производство. Основным недостатком является появление вибраций в подшипниковых узлах. Повышение производительности механообработки, настало с момента появления многозубых инструментов такие, как зенкеры, развертки, протяжки, фрезы. Однако независимо от того что многозубые инструменты это сложные и дорогостоящие, они широко применяются в производстве. Так как, величина подачи увеличилась за счет перераспределения припусков между зубьями. А это значит что усилие резания, на каждый зуб в отдельности, уменьшается. Не каждый метод обработки применяется на производстве.

Повышение производительности и стойкости режущего многозубого инструмента базируется на следующих соображениях. При непрерывном тчении передняя поверхность режущего клина постоянно находится в контакте со сбегаящей стружкой. В начале процесса резания в рабочей зоне

возникает высокая температура и в течение некоторого промежутка времени процесс является нестационарным.[10]

Несмотря на перечисленные выше положительные аспекты вихревого растачивания многозубым инструментом, в связи с тем что, процесс его резания не изучен полностью. На обрабатываемой поверхности появляется огранка, возникающая по множеству причин.

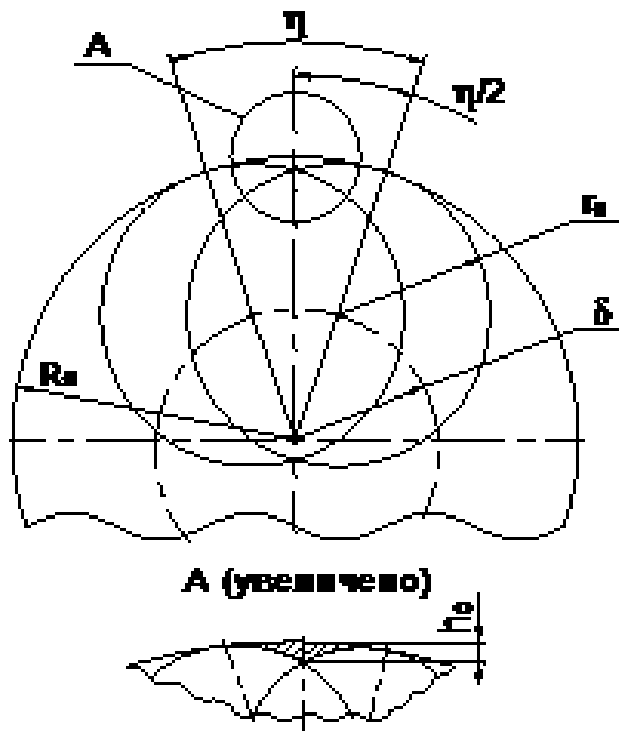


Рисунок 3.1. Огранка при вихревом растачивании.

Величина огранки n_0 уменьшается от количества зубьев режущей ГОЛОВКИ.

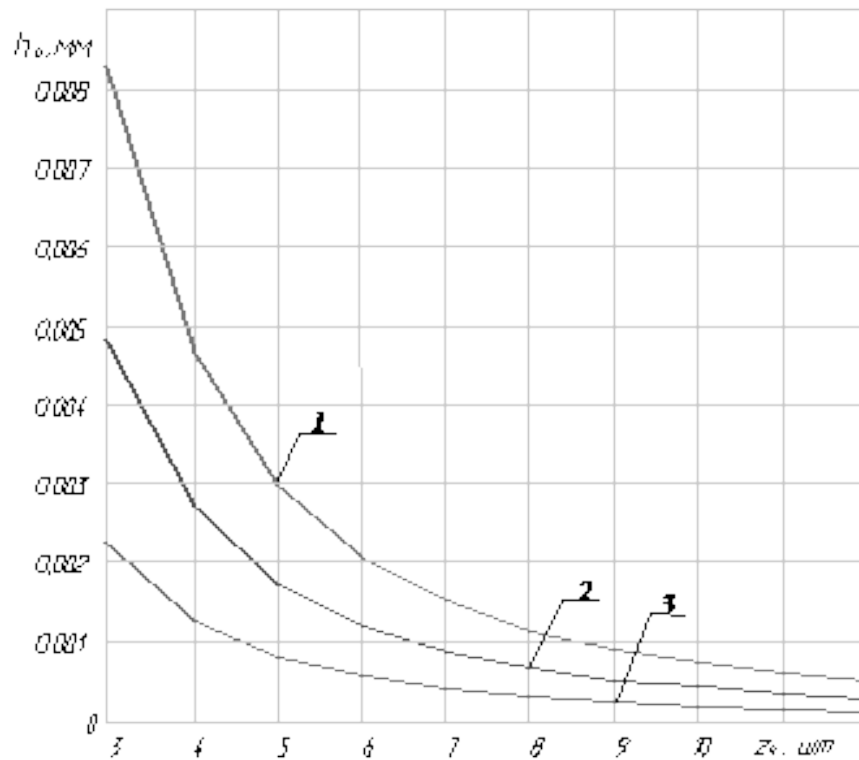


Рисунок 3.2. Величина огранки в зависимости от количества зубьев

Однако при вихревом растачивании возникает сложность связанная с тем что, слои металла срезаются, ограниченными дугами ac , cb и прямой ac .

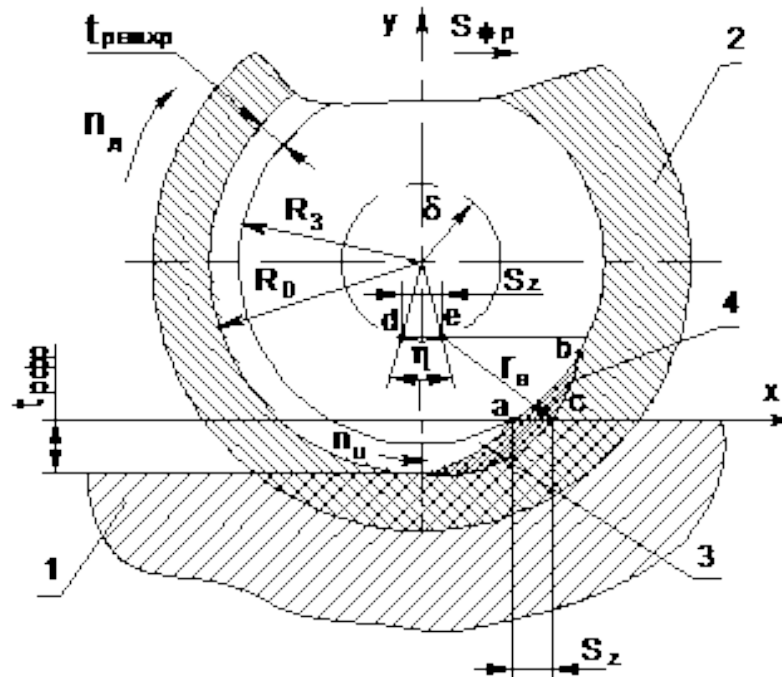


Рисунок 3.3. Схема снимаемого слоя металла

Для проведения исследования необходимо использование экспериментальной оснастки способной создавать нагрузку соответствующее нагрузке возникающей при резании, но без сил резания. Разработано специальное экспериментальное устройство для определения динамических процессов посредством определения виброскорости.

Устройство содержит державку, которая закреплена в резцедержателе. К державке прикреплен под углами в 45^0 относительно трех технологических осей x, y, z толкатель. Содержащий втулку, в которую вставлена плунжерная пара, на выступающий конец которой надета пружина возврата, зафиксированная закругленным наконечником. Акселерометры установлены на несущих элементах станка: на шпиндельном узле, задней бабке, станине. Акселерометры подключены к аналого-цифровому преобразователю, который связан с ЭВМ. В патроне передней бабки закреплена оправка, выполненная в виде кулачка с поверхностью переменной кривизны, контактирующего с закругленным наконечником плунжерной пары.

Это устройство создает динамическую нагрузку в радиальном и осевом направлении. Кулачок с поверхностью переменной кривизны при вращении создает возвратно поступательное движение толкателя, поджатого при помощи пружины. Таким образом осуществляется воздействие на несущие элементы металлорежущих станков формируя усилие $P_{(t)}$, описываемое в виде:

$$P_{(t)} = P_0 + \Delta P * \sin \omega t \quad (3.1)$$

где P_0 -статическое усилие;

ΔP - динамическое усилие;

ω - частота вращения;

t - время.

За счет того что в качестве толкателя используется плунжерная пара, наконечник которого контактирует с кулачком. При этом плунжерная пара движется вдоль оправки с заданной подачей. Такая конструкция позволяет создать нагружающую силу, что обеспечивает закон синфазного воздействия динамических сил по закону близкому к гармоническому (рис. 3.1). Помимо этого, определение динамической жесткости производится с учетом факторов динамического воздействия элементов станка, которые формируют возмущающее и шумовое воздействие на измерительную систему. В результате происходит искажение значений собственных частот несущих элементов металлорежущего станков и виброперемещений, по которым определяется динамическая жесткость.

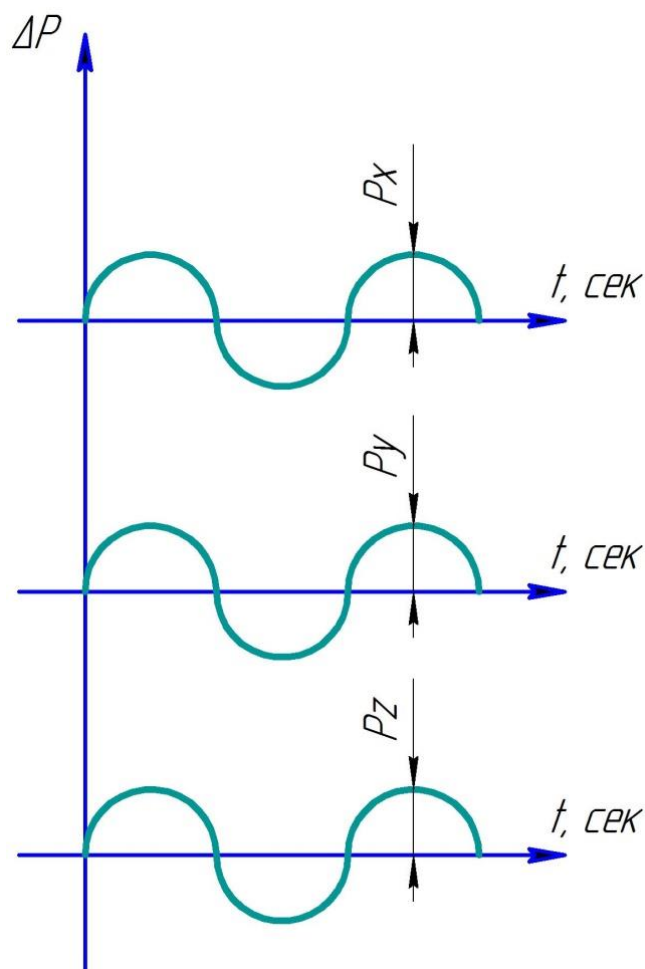


Рисунок 3.4. Закон синфазного гармонического воздействия

Для снятия виброскорости принимается мобильный диагностический комплекс.

Учеными Томского политехнического университета, сотрудниками ООО «ВиТэк» (г. Санкт-Петербург) и ООО «ВиТэк Сибирь» (г. Томск), разработан и апробирован мобильный комплекс для проведения оперативной диагностики технологической системы СПИД [20], состоящий из:

- датчики-акселерометры;
- измерительный модуль NI-9234;
- Персонального компьютера с установленным специальным программным обеспечением «Виброрегистратор-Ф».

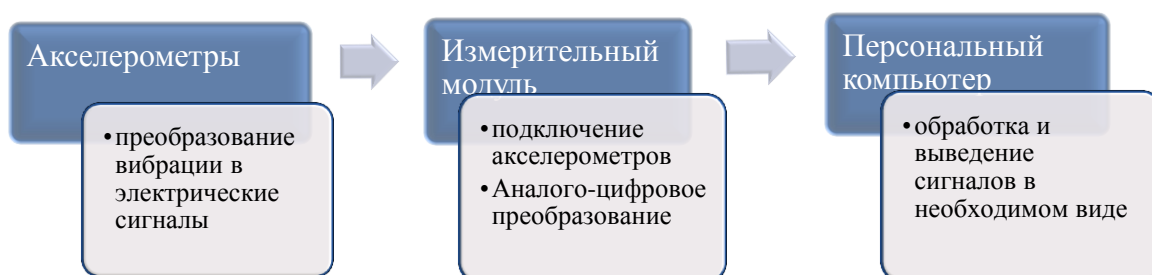


Рисунок 3.5. Схема мобильного комплекса «Виброрегистратор-Ф»

Производя последовательные исследования снимаются показания виброскорости и виброперемещения необходимые для идентификации собственных частот и жесткосных характеристик несущих элементов технологической по результатам, которых можно определить оптимальные режимы обработки заготовок.

4. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

4.1 Разработка экспериментальной оснастки.

Для выполнения работы разработана специальная экспериментальная оснастка, предназначенная для симуляции процесса вихревого растачивания. Принципиальная схема установки оснастки на станке представлена на рисунке 4.1.

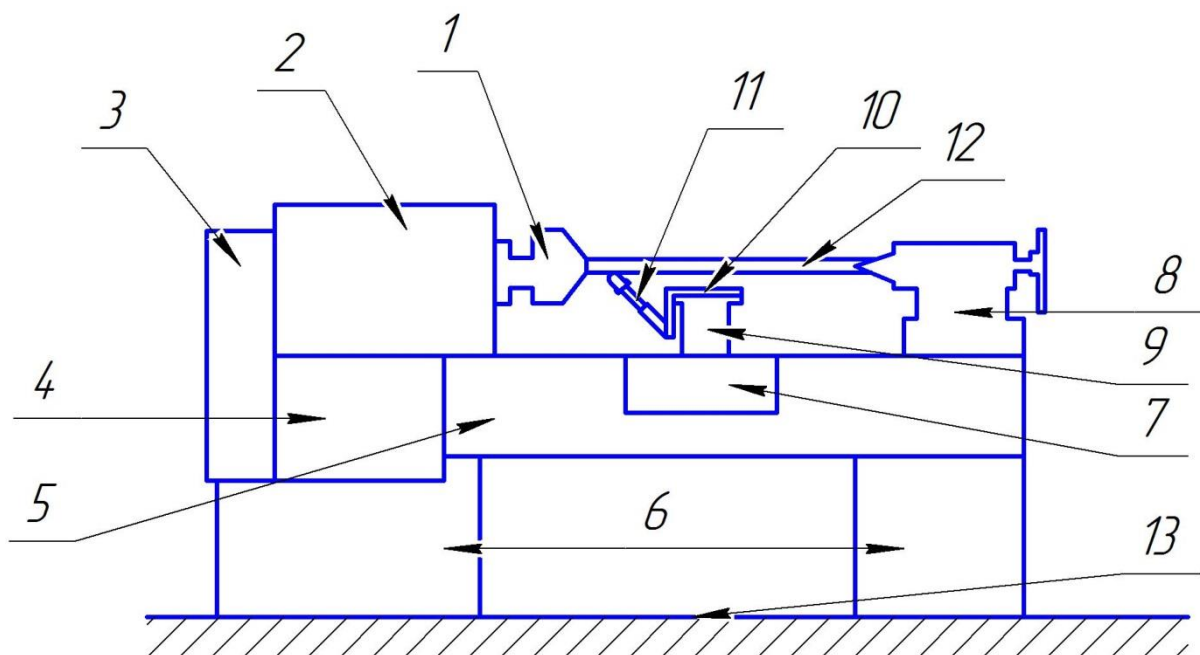


Рисунок 4.1. Принципиальная схема токарного станка с установленным устройством.

В резцедержателе 9 устанавливается державка 10 имеющая втулку для установки нагружающего элемента (толкателя) 11. Толкатель 11 подводится к кулачку 12 зажатого в токарном патроне 1 и центром, поджат задней бабкой 8. Токарный патрон 1 установлен в передней бабке 2. Для регулировки подачи или шага нарезаемой резьбы станка применяется гитара 3. Для изменения скорости вращения ходового винта и ходового вала применяется коробка подач 4, чем достигается перемещение суппорта 7 с выбранной скоростью в продольном и поперечном направлениях по станине 5. На станине 5 также устанавливается задняя бабка 8. Станина 5 закреплена

на двух тумбах (основании станка) 6. Основание 6 токарного станка устанавливается на фундамент 13.

На основании принципиальной схемы создана 3D модель и сборочный чертеж представленные на рисунках 4.2, 4.3.

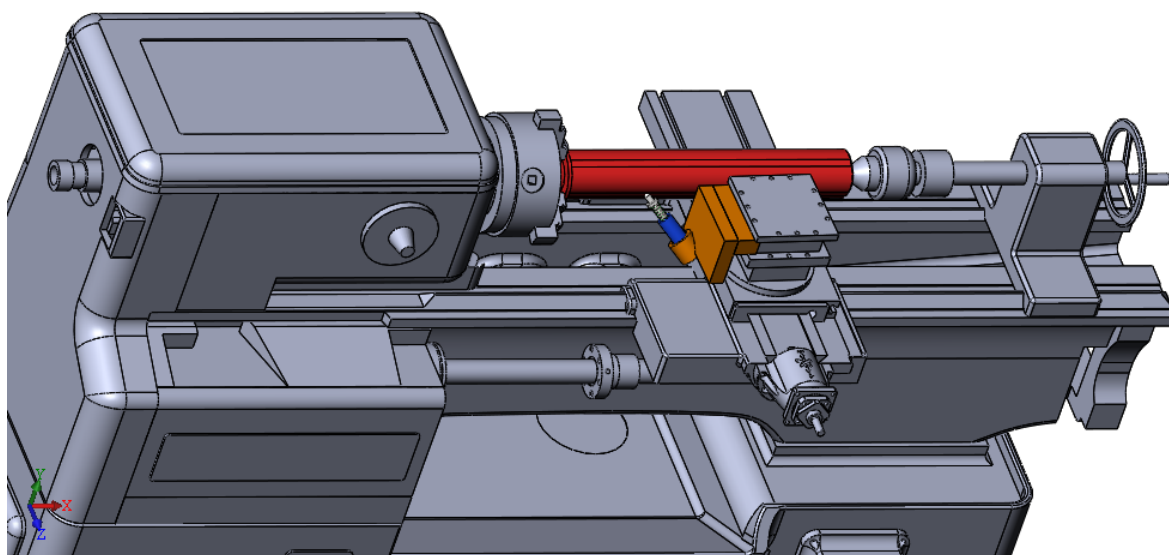


Рисунок 4.2. 3D модель экспериментальной оснастке на токарном станке

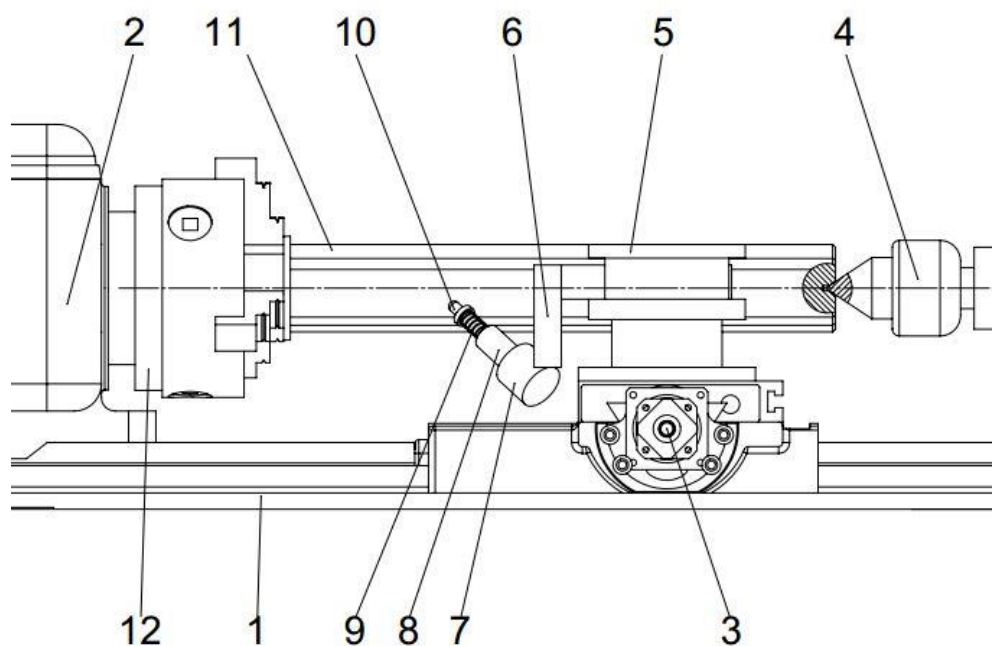


Рисунок 4.3. Сборочный чертеж

Устройство содержит державку 6, которая закреплена в резцедержателе 5. К державке 6 прикреплен под углами в 45^0 относительно трех технологических осей x, y, z толкатель 8. Содержащий втулку 7, в которую вставлена плунжерная пара 8, на выступающий конец которой надета пружина возврата 9, зафиксированная закругленным наконечником 10. Акселерометры установлены на несущих элементах станка: на шпиндельном узле, задней бабке, станине (на рисунке не указаны). Акселерометры подключены к аналого-цифровому преобразователю, который связан с ЭВМ. В патроне 12 передней бабки 2 закреплена оправка 11, выполненная в виде кулачка с поверхностью переменной кривизны, контактирующего с закругленным наконечником 10 плунжерной пары 8.

Это устройство создает динамическую нагрузку в радиальном и осевом направлении. Кулачок с поверхностью переменной кривизны при вращении создает возвратно поступательное движение толкателя, поджатого при помощи пружины. Таким образом осуществляется воздействие на несущие элементы металлорежущих станков формируя усилие $P_{(t)}$, описываемое в виде:

$$P_{(t)} = P_0 + \Delta P * \sin \omega t \quad (4.1)$$

где P_0 -статическое усилие;

ΔP - динамическое усилие;

ω - частота вращения;

t - время.

За счет того что в качестве толкателя используется плунжерная пара, наконечник которого контактирует с кулачком. При этом плунжерная пара движется вдоль оправки с заданной подачей. Такая конструкция позволяет создать нагружающую силу, что обеспечивает закон синфазного воздействия

динамических сил по закону близкому к гармоническому. Помимо этого, определение динамической жесткости производится с учетом факторов динамического воздействия элементов станка, которые формируют возмущающее и шумовое воздействие на измерительную систему. В результате происходит искажение значений собственных частот несущих элементов металлорежущего станков и виброперемещений, по которым определяется динамическая жесткость.

Таким образом, производится идентификация собственных частот несущих элементов по результатам, которых можно определить оптимальные режимы обработки.

4.2Проведение экспериментального исследования

Для проведения эксперимента применялся станок 16К20 на котором был проведен двух факторный эксперимент с изменением частоты оборотов и подачи, статичное нагружение в 11 кг сместило кулачек на 0,01 мм. данное смещение было достигнуто при смещении лимба на 25 мм.

Таблица 4.1. План эксперимента

Частота вращения шпинтеля, об/мин	Подача, м/мин
315 об/мин	xx
	0,08
	0,17
	0,26
400 об/мин	xx
	0,08
	0,17
	0,26
630 об/мин	xx
	0,08
	0,17
	0,26

По результатам экспериментального исследования были получены временные характеристики и спектры сигналов.

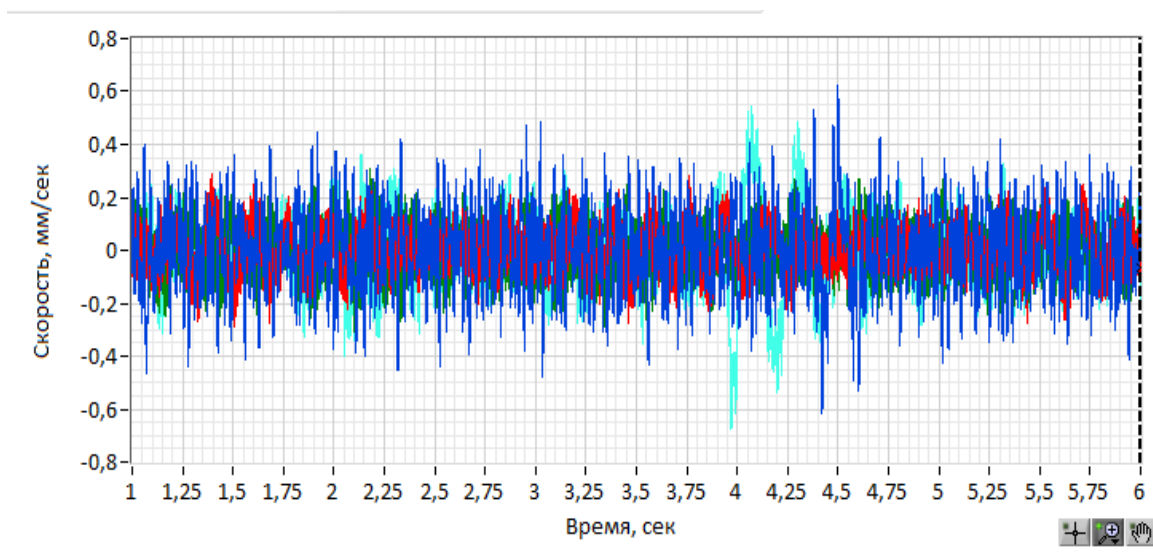


Рисунок 4.4. Временная характеристика

По временной характеристике строится спектрограмма, по результатам которой можно судить о режимах работы технологической системы.

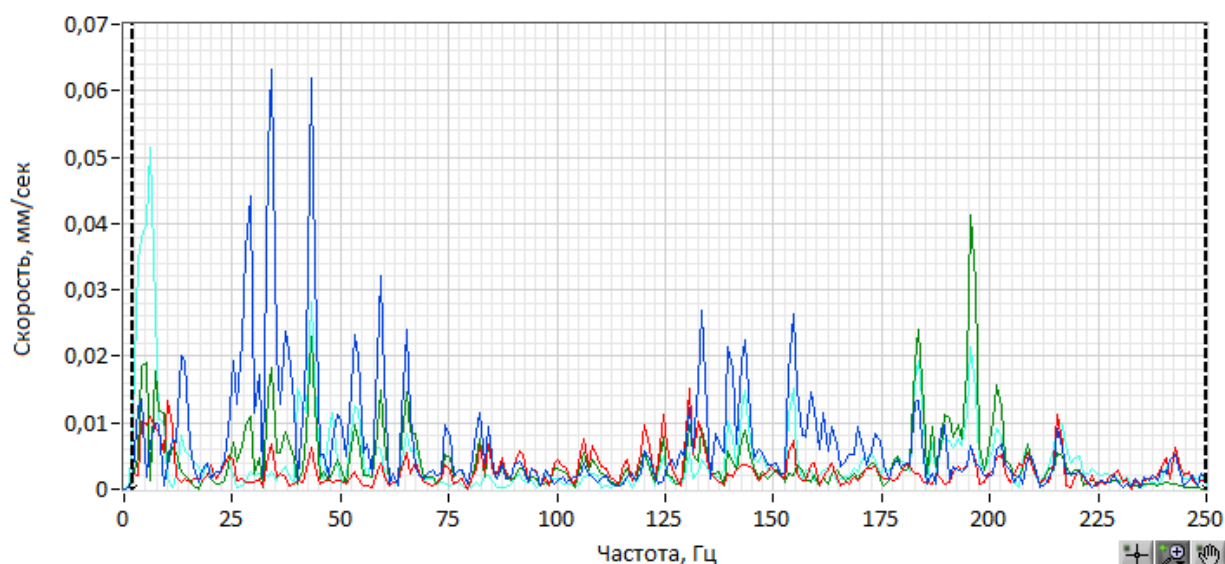


Рисунок 4.5. Спектр скорости

По полученным спектрам производится построение амплитудно-частотной характеристики. Для построения АЧХ необходимо определяются зоны максимальных всплесков.

Для сравнения сопоставляются спектры по количеству оборотов с разной подачей

- 1) Холостой ход частоте вращения шпинделя 315 , 400 и 630 об/мин соответственно.

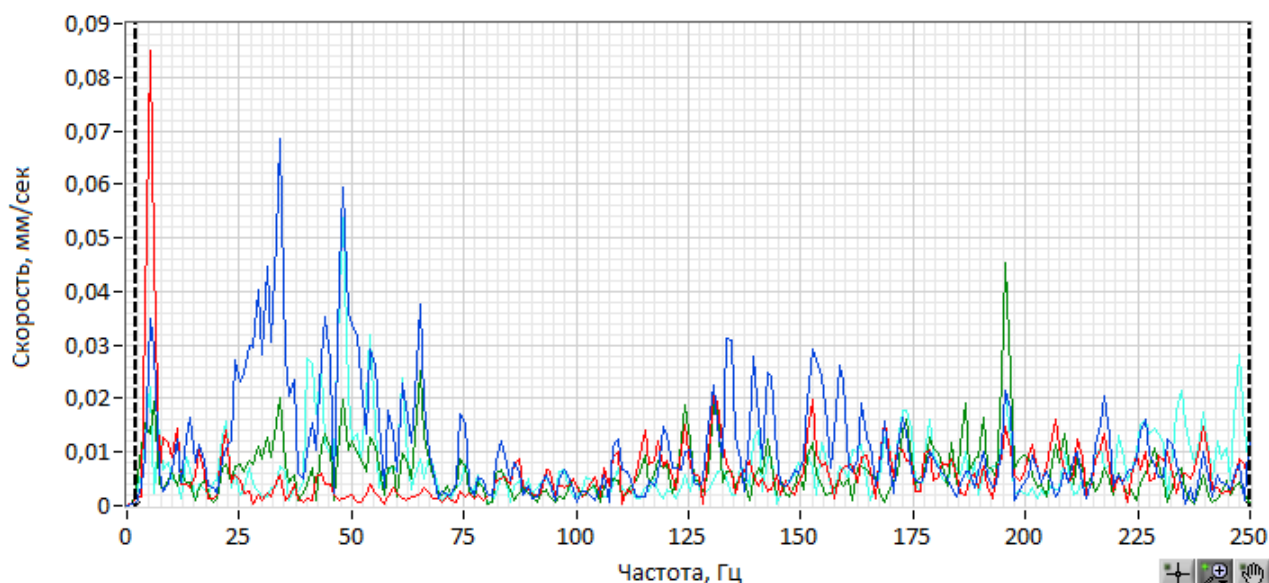


Рисунок 4.6. Спектр скорости 315 об/мин

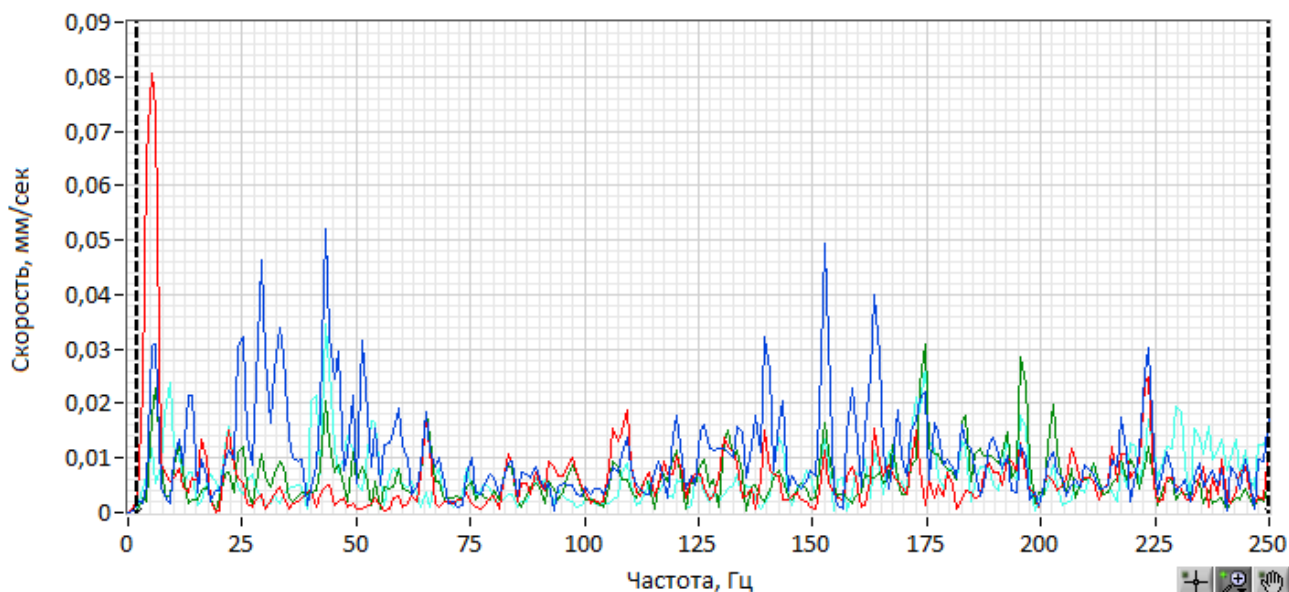


Рисунок 4.7. Спектр скорости 400 об/мин

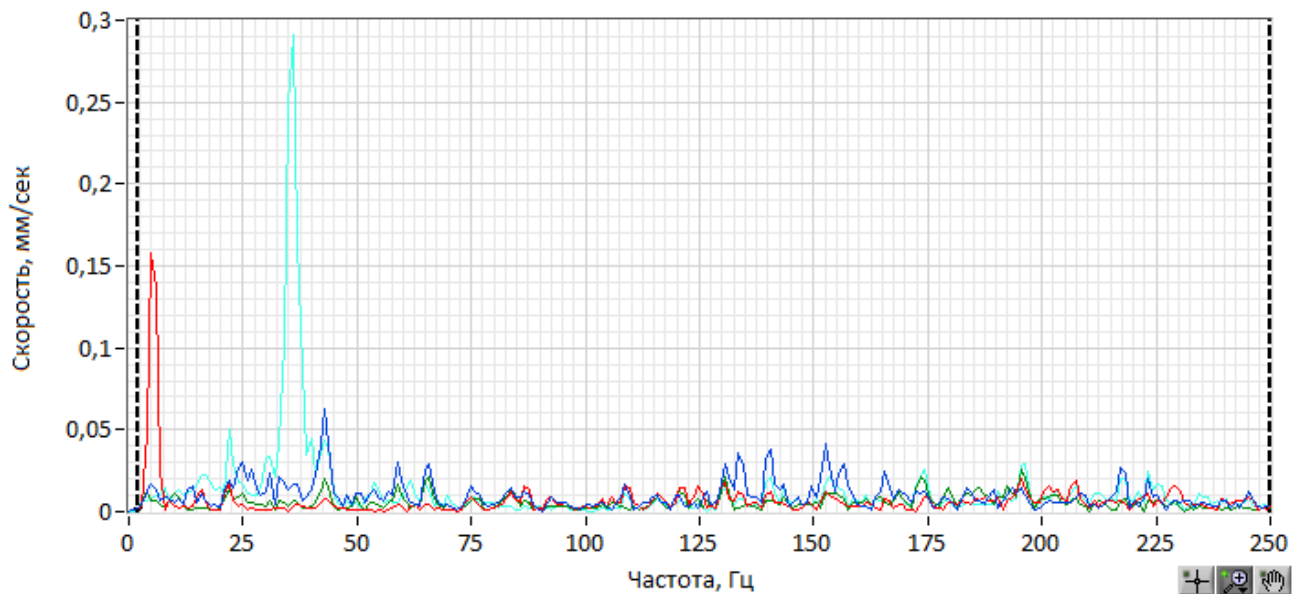


Рисунок 4.8. Спектр скорости 630 об/мин

Из результатов исследования видно что, жесткость системы находится в разрешенной зоне виброскорости, кроме жесткости на резцедержателе по технологической оси z, вышедшая на 0,1 мм/сек на частоте 32 Гц, что указывает на нежелательность работы на данном режиме. Наиболее приемлемой частотой является диапазон от 80 до 120 Гц.

- 2) Подача 0.07 м/об при частоте вращения шпинделя 315, 400 и 630 об/мин соответственно.

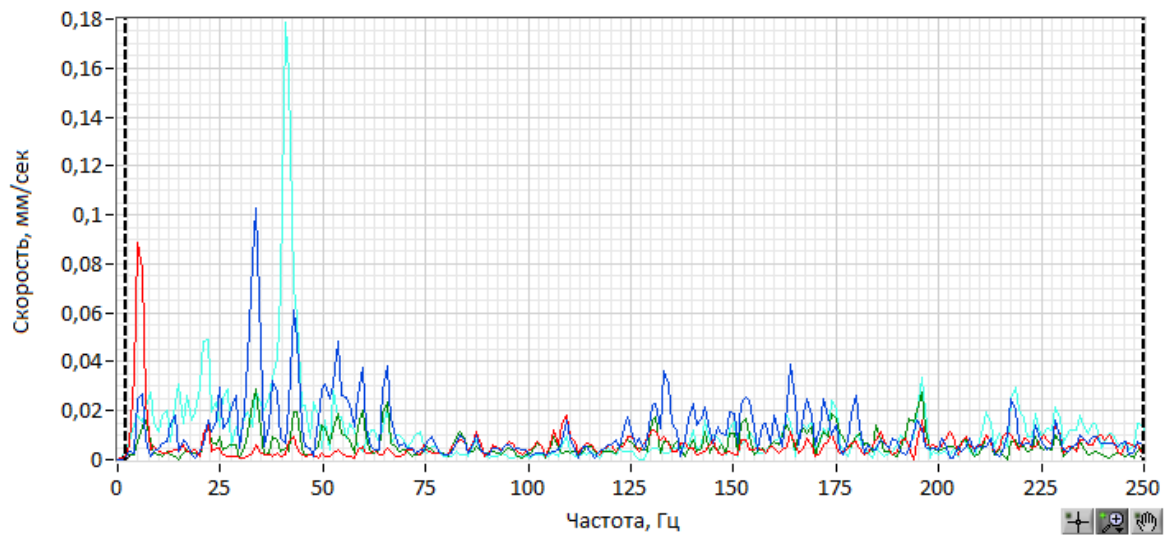


Рисунок 4.9. Спектр скорости 315 об/мин

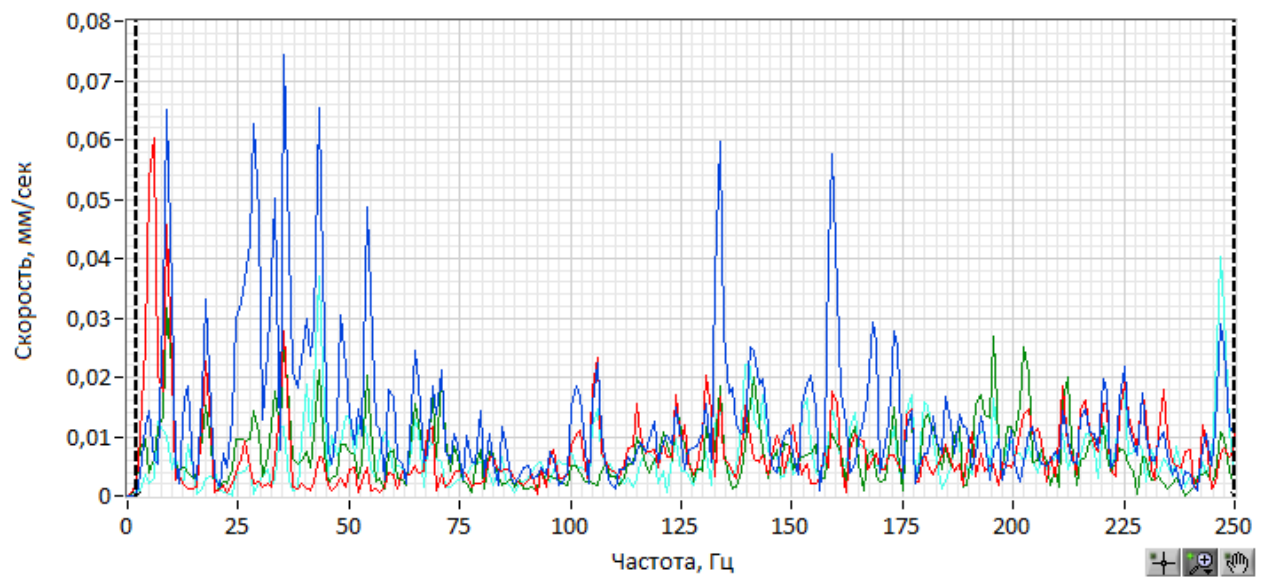


Рисунок 4.10. Спектр скорости 400 об/мин

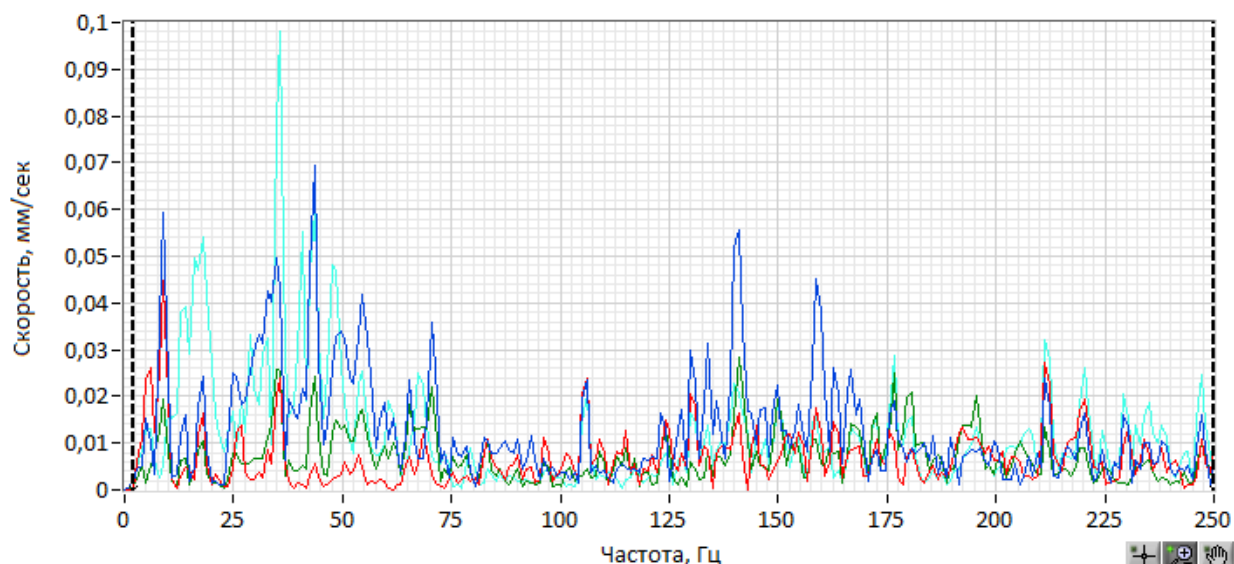


Рисунок 4.11. Спектр скорости 630 об/мин

По спектрам с подачей наблюдается снижение выброса виброскорости на частоте 32 Гц на технологической оси z, что указывает на более равномерное распределение нагрузки между технологическими осями. Режим работы можно выбирать от 75 до 120 Гц, небольшой скачек на частоте 105 Гц находится в нижней границе и значительно не повлияет на качество обработки.

- 3) Подача 0.17 м/об при частоте вращения шпинделя 315, 400 и 630 об/мин соответственно.

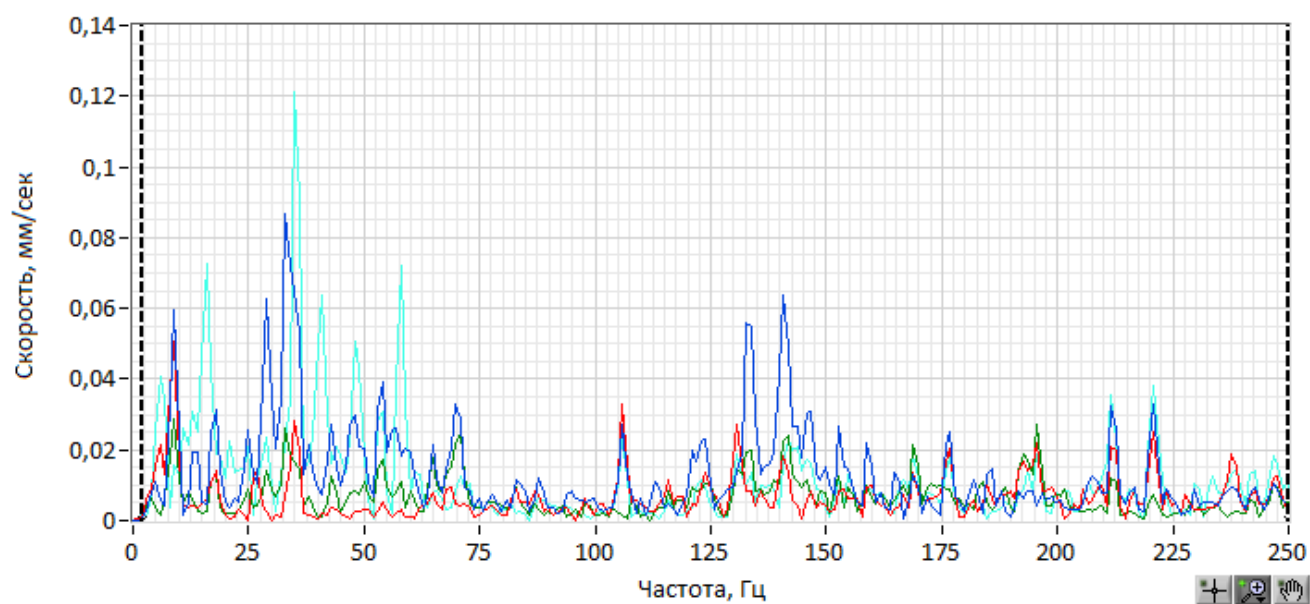


Рисунок 4.12. Спектр скорости 315 об/мин

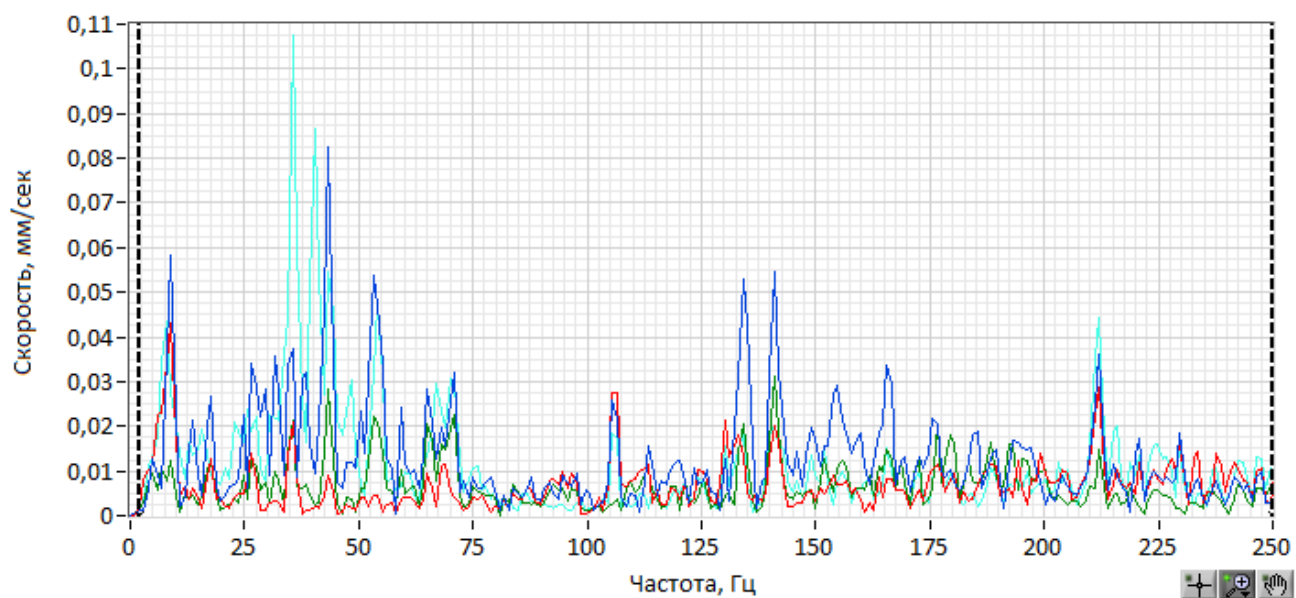


Рисунок 4.13. Спектр скорости 400 об/мин

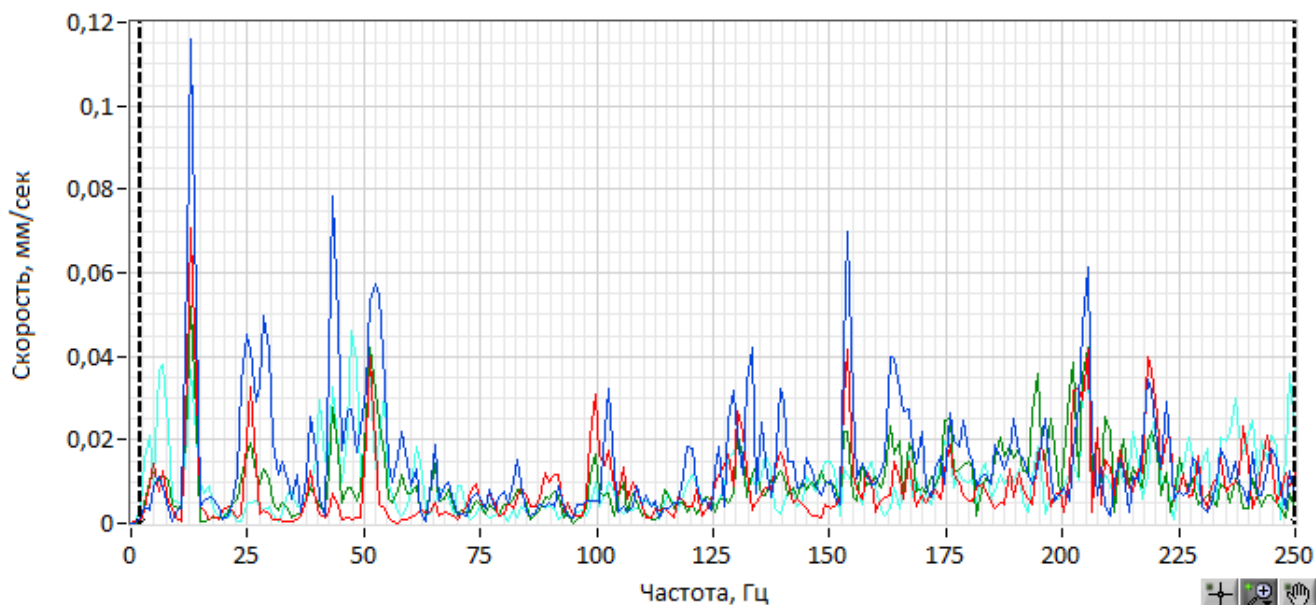


Рисунок 4.14. Спектр скорости 630 об/мин

По результатам спектрограмм наблюдается тенденция смещения наиболее благоприятных частот от 60 до 95 Гц, общий анализ указывает на достаточную жесткость на амплитуде виброскорости.

- 4) Подача 0.26 м/об при частоте вращения шпинделя 315, 400 и 630 об/мин соответственно.

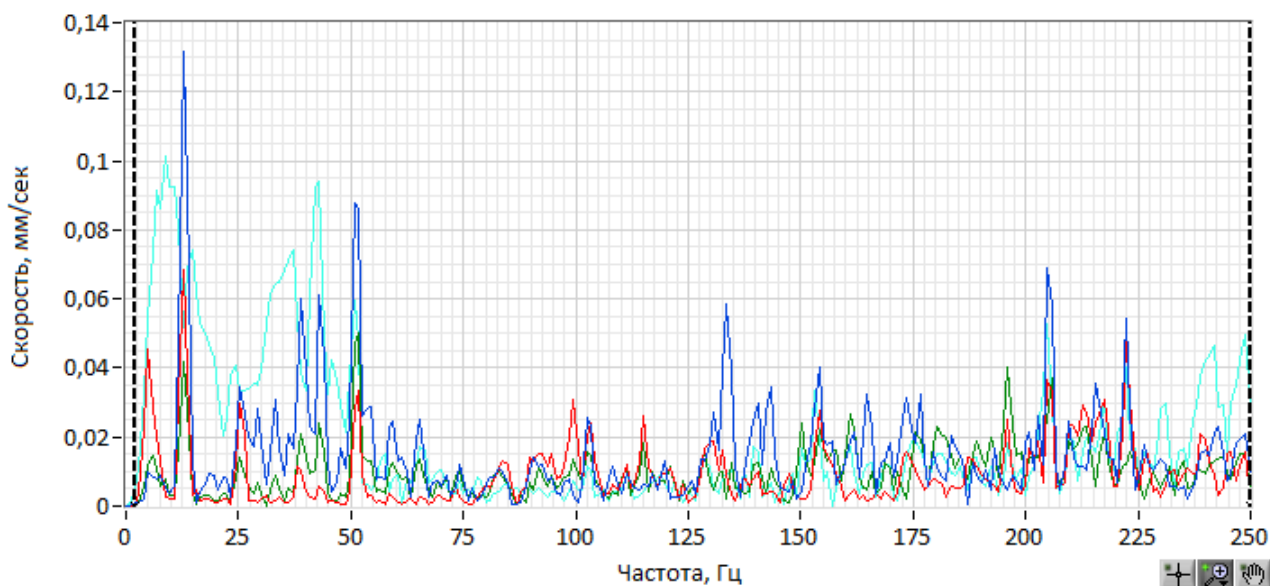


Рисунок 4.15. Спектр скорости 315 об/мин

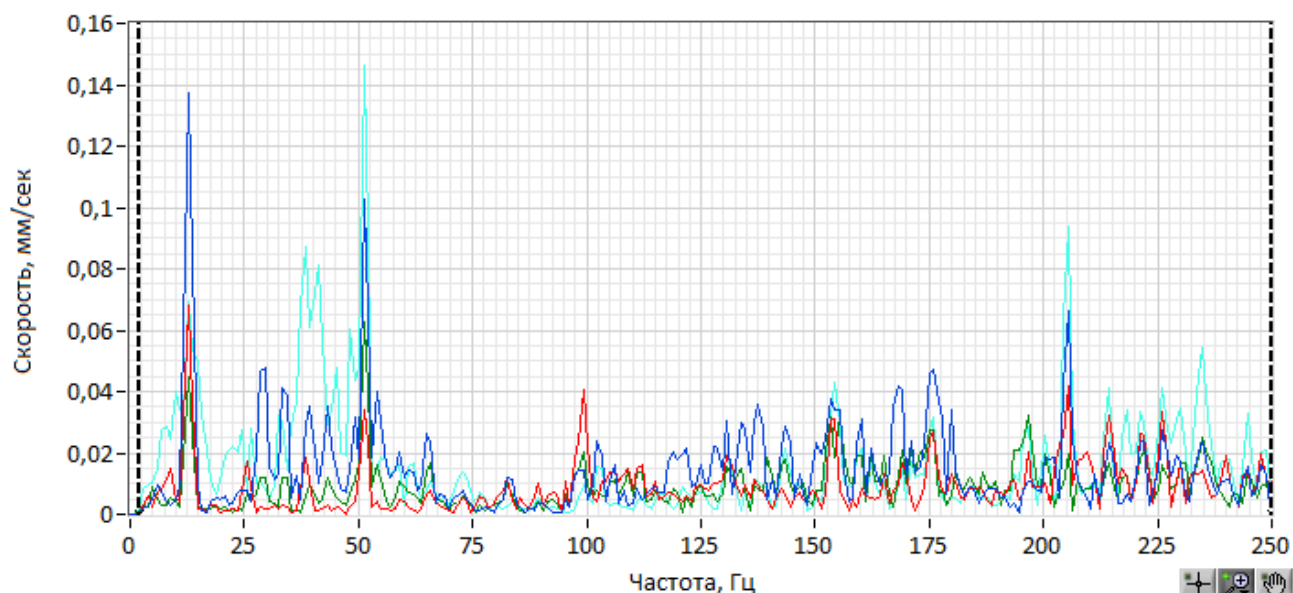


Рисунок 4.16. Спектр скорости 400 об/мин

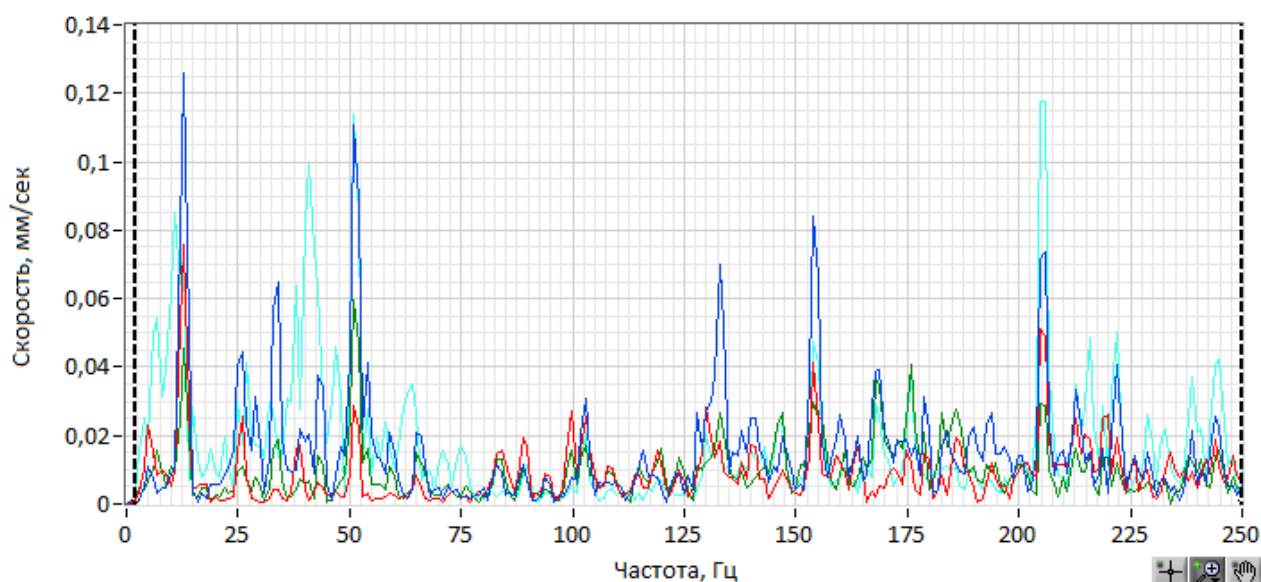


Рисунок 4.17. Спектр скорости 630 об/мин

Самой неблагоприятной подачей из всего рассмотренного диапазона экспериментального исследования является подача 0,26 м/об, однако виброскорость остается в разрешенном диапазоне, что указывает на не критичность погрешности.

Для более точного экспертного заключения приведены графики крест фактора построенные по отношению пикового значения амплитуды к средне-квадратичному значению.

Таблица 4.2. Результаты исследования

Частота вращения шпинделя, Гц	Задняя бабка, мм/сек		Резцедержатель по оси x, мм/сек		Резцедержатель по оси y, мм/сек		Резцедержатель по оси z, мм/сек	
	СКЗ	ПИК	СКЗ	ПИК	СКЗ	ПИК	СКЗ	ПИК
Холостой ход								
5,25	0,13	0,41	0,21	0,87	0,11	0,35	0,16	0,54
6,67	0,14	0,54	0,19	0,6	0,11	0,35	0,14	0,52
10,5	0,2	0,55	0,17	0,56	0,1	0,32	0,4	1,78
Подача 0,07 мм/об								
5,25	0,14	0,43	0,22	0,63	0,11	0,38	0,29	1
6,67	0,14	0,46	0,24	0,72	0,12	0,36	0,14	0,51
10,5	0,13	0,44	0,23	0,73	0,12	0,37	0,4	0,7
Подача 0,17 мм/об								
5,25	0,13	0,41	0,25	0,77	0,12	0,39	0,25	0,87
6,67	0,13	0,45	0,23	0,68	0,12	0,37	0,23	0,81
10,5	0,18	0,64	0,29	0,94	0,17	0,62	0,23	0,78
Подача 0,26 мм/об								
5,25	0,19	0,62	0,3	1	0,17	0,62	0,41	1,78
6,67	0,18	0,59	0,29	0,96	0,18	0,67	0,34	1,04
10,5	0,18	0,65	0,32	0,91	0,18	0,58	0,36	1,08

Таблица 4.3. Значения крест фактора

Частота вращения шпинделя, Гц	Задняя бабка, мм/сек	Резцедержатель по оси x, мм/сек		Резцедержатель по оси y, мм/сек		Резцедержатель по оси z, мм/сек	
		СКЗ	ПИК	СКЗ	ПИК	СКЗ	ПИК
Холостой ход							
5,25	3,15	4,14		3,18		3,38	
6,67	3,86	3,16		3,18		3,71	
10,5	2,75	3,29		3,2		4,45	
Подача 0,07 мм/об							
5,25	3,07	2,86		3,45		3,45	
6,67	3,26	3		3		3,64	
10,5	3,39	3,17		3,08		1,75	
Подача 0,17 мм/об							
5,25	3,15	3,08		3,25		3,48	
6,67	3,46	2,96		3,08		3,52	
10,5	3,56	3,24		3,65		3,39	
Подача 0,26 мм/об							
5,25	3,26	3,33		3,65		4,34	
6,67	3,28	3,31		3,72		3,06	
10,5	3,61	2,84		3,22		3	

Приведены графики крест фактора, по причине того что это позволит провести исследование для определения увеличения или уменьшения числа ударов, а также позволит исключить «белый шум». Так как в спектрах отсутствует разница между «белым шумом» и ударами. Графики построены для каждого канала мобильного комплекса, при разной подаче.



Рисунок 4.18. Точки крепления датчиков

- 1) Датчик расположен на задней бабке.

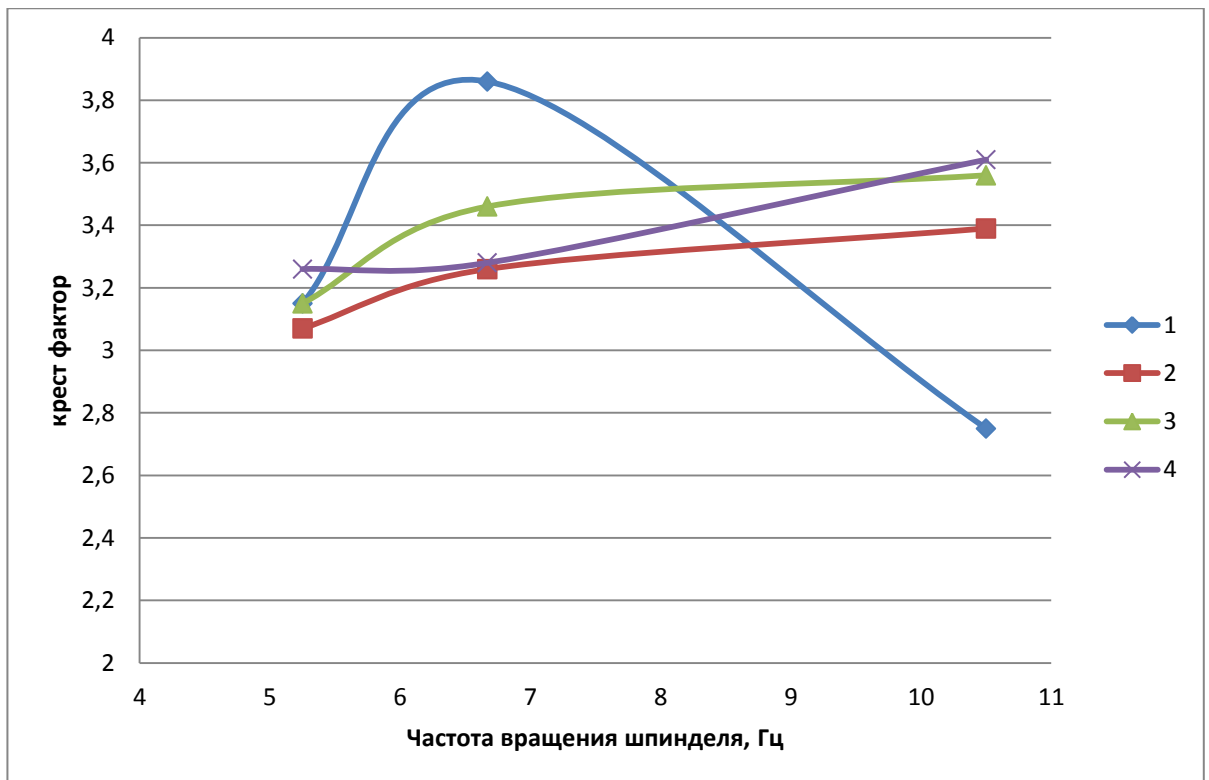


Рисунок 4.19. График влияния зависимости крест фактора от частоты вращения на заднюю бабку при разной подаче. 1. Холостой ход; 2. Подача 0,07 м/об; 3. Подача 0,17 м/об; 4. Подача 0,26 м/об.

На графике зависимости количества ударов от частоты вращения на задней бабке наблюдается резкое изменение по количеству ударов только при холостом ходе шпинделя, а также наблюдается наложение количества ударов при частоте вращения шпинделя 6,7 Гц.

2) Датчик расположен на резцедержателе по технологической оси z.

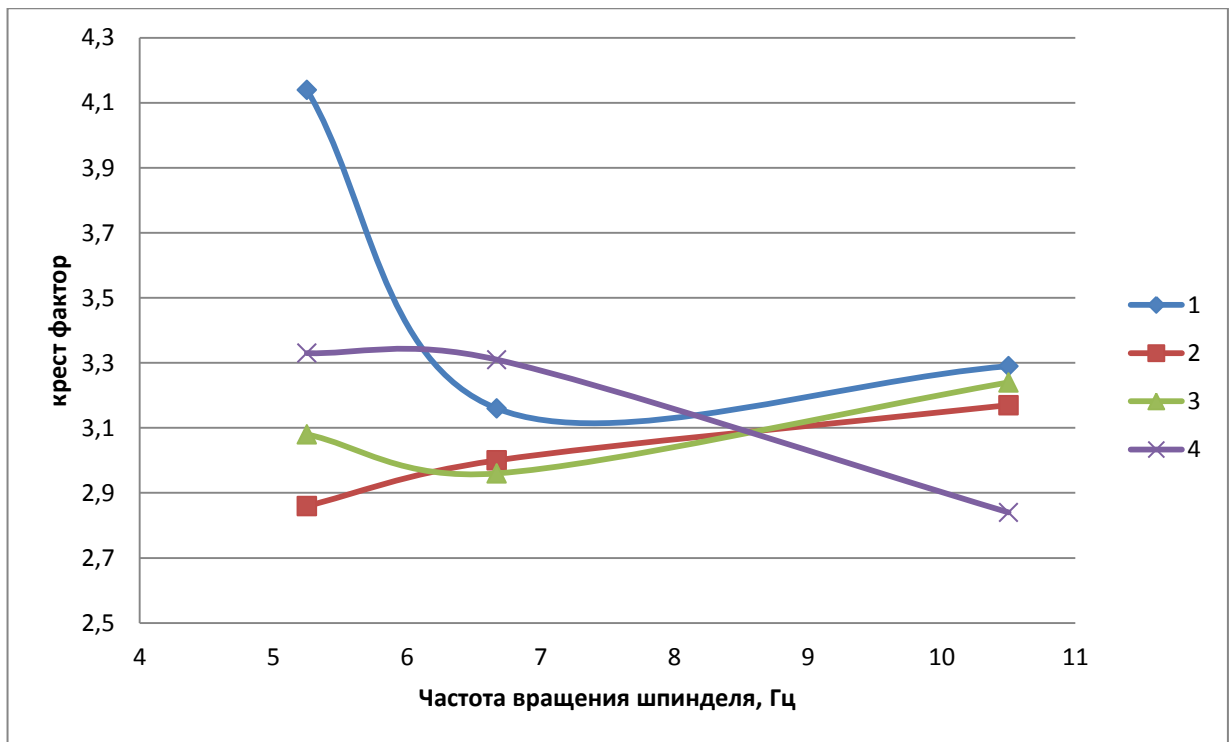


Рисунок 4.20. График влияния зависимости крест фактора от частоты вращения на технологическую ось z при разной подаче. 1. Холостой ход; 2. Подача 0,07 м/об; 3. Подача 0,17 м/об; 4. Подача 0,26 м/об.

На графике зависимости количества ударов от частоты вращения технологической оси z наблюдается тенденция снижения количества ударов при увеличении подачи.

3) Датчик расположен на резцедержателе по технологической оси y.

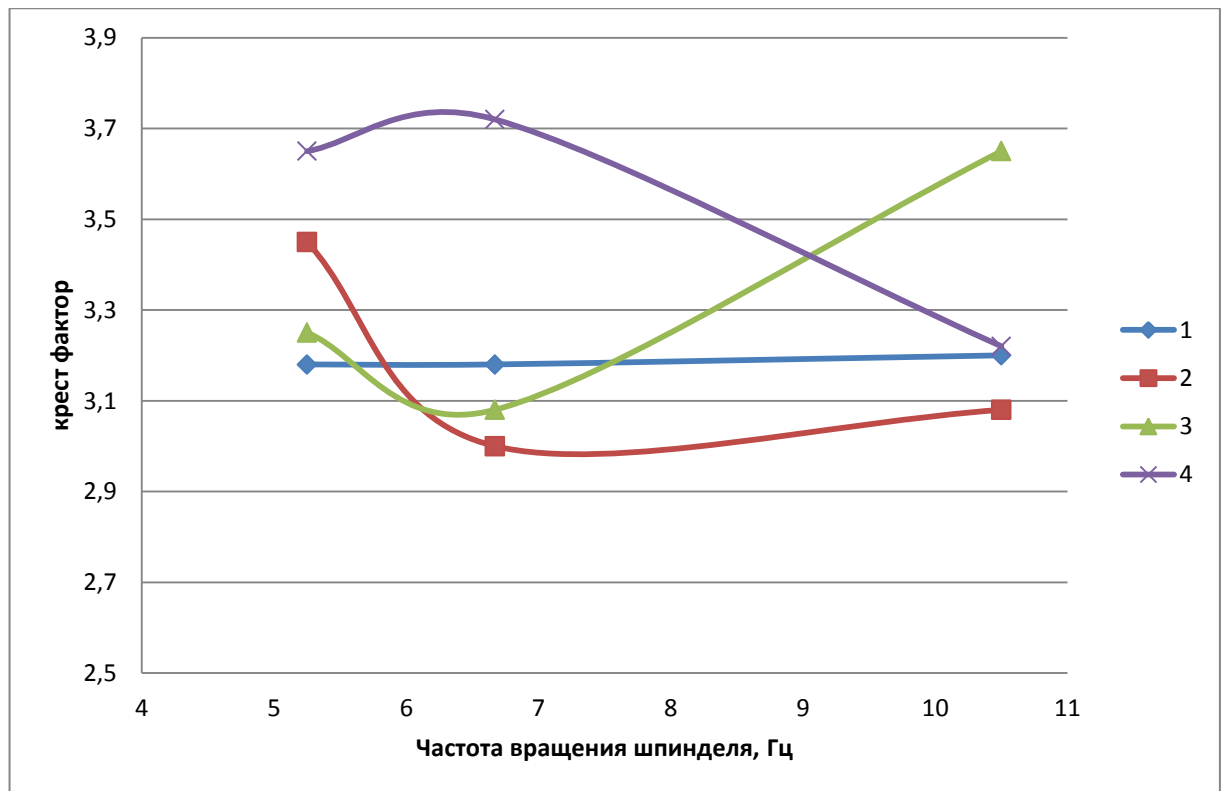


Рисунок 4.21. График влияния зависимости крест фактора от частоты вращения на технологическую ось у при разной подаче. 1. Холостой ход; 2. Подача 0,07 м/об; 3. Подача 0,17 м/об; 4. Подача 0,26 м/об.

На графике зависимости количества ударов от частоты вращения технологической оси у наблюдается стабильное количество ударов при холостом ходе шпинделя, что указывает на малое влияние вращения шпинделя.

4) Датчик расположен на резцедержателе по технологической оси x.

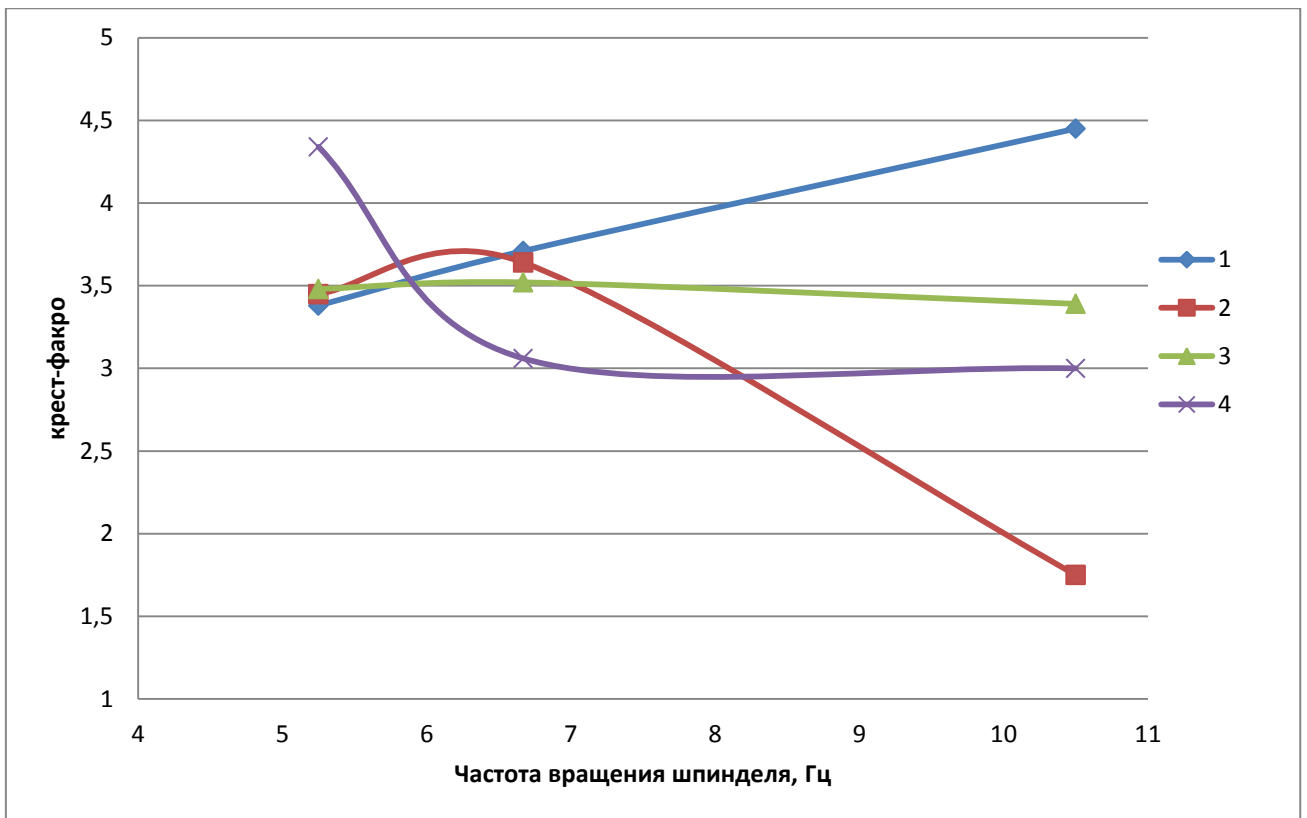


Рисунок 4.22. График влияния зависимости крест фактора от частоты вращения на технологическую ось x при разной подаче. 1. Холостой ход; 2. Подача 0,07 м/об; 3. Подача 0,17 м/об; 4. Подача 0,26 м/об.

На графике зависимости количества ударов от частоты вращения технологической оси x наблюдается малое влияние подачи в 0,17 об/м, а также прямое увеличение количества ударов при холостом ходе.

Вывод. Полученные в ходе экспериментального исследования данные позволили выявить оптимальные режимы работы на токарном станке 16К20, однако выполнение экспериментальной проверки каждого станка не всегда представляется возможным. Для этого по полученным данным необходимо создать математическую модель токарного станка.

4.3. Математическое моделирование

В данном разделе рассматривается математическое моделирование и дальнейшее исследование проектируемого метода диагностики динамических процессов вихревого растачивания с целью определения оптимального режима обработки.

Так как некоторые узлы токарного станка влияют на качество обработки заготовок, было принято решение сократить принципиальную схему, представленную на рисунке 4.1, до 6 наиболее важных узлов токарного станка. С точки зрения динамики необходимо учесть массу, коэффициент жесткости и коэффициент демпфирования, каждого узла исследуемой системы. Система состоит из кулачка, токарного патрона, передней бабки, станины, суппорта и инструментария (рисунок 4.23)

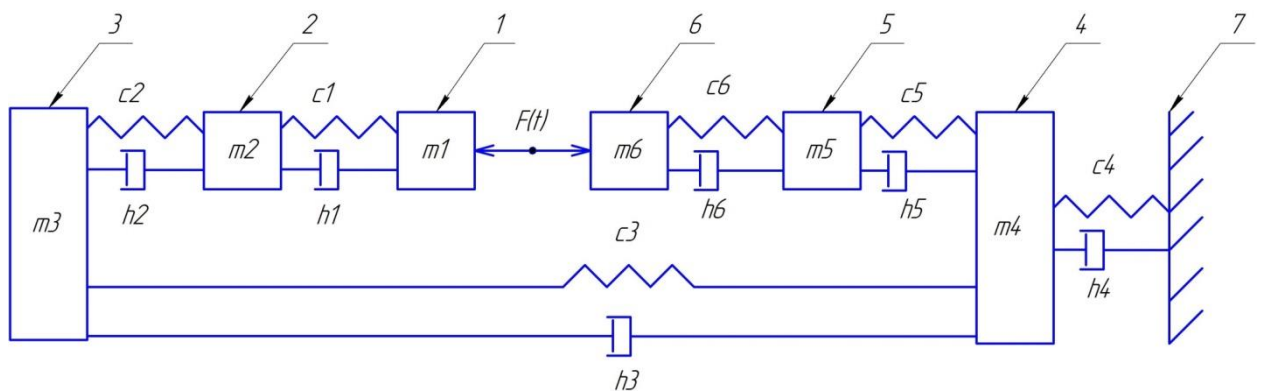


Рисунок 4.23. Расчетная схема. 1. Заготовка; 2. Токарный патрон; 3. Передняя бабка; 4. Станина; 5. Суппорт; 6. Инструментарий.

По расчетной схеме технологической системы (рис. 4.23) составляется система дифференциальных уравнений, решение которой велось методом Рунге-Кутты четвертого порядка[8]. Обозначения в системе дифференциальных уравнений:

$F(t)$ – возмущающая сила, (Н);

$Fm_n = m_n a_n$ – сила инерции, (Н);

$F_{c_n} = c_n x_n$ – сила реакции опоры, (Н);

$F_{h_n} = h_n V_n$ – сила упругости, (Н);

m_n – масса узла, (кг)

a_n – ускорение, (мм/с²)

c_n – коэффициент жесткости, (Н/м)

x_n – перемещение, (мм)

h_n – коэффициент демпфирования, (Н с/м)

V_n – скорость, (мм/с)

При моделировании принят гармонический закон изменения возмущающей силы[8]:

$$F(t) = A * \sin(\omega * t) \quad (4.1)$$

Где:

A – амплитуда возмущающей силы равная величине эксцентриситета эксцентрикового вала, (мм);

ω - угловая частота (частота), рад/с (Гц);

t - время, (с);

Допущение о гармоническом законе действия силы резания принято в данной работе из соображения выявления реакции элементов ТС на такое воздействие, а также факта, что форма сигнала $F(t)$ при спектральном преобразовании будет иметь основную гармонику на указанной частоте ω [8].

Система линейных неоднородных дифференциальных уравнений принимает следующую форму:

Внешняя сила напрямую воздействует на патрон и резцедержатель, что позволяет составить уравнения:

$$F(t) = Fm_1 + Fc_1 + Fh_1 \quad (4.2)$$

$$F(t) = m_1 a_1 + c_1(x_1 - x_2) + h_1(V_1 - V_2) \quad (4.3)$$

$$F(t) = Fm_6 + Fc_6 + Fh_6 \quad (4.4)$$

$$F(t) = m_6 a_6 + c_6(x_6 - x_5) + h_6(V_6 - V_5) \quad (4.5)$$

От резцедержателя усилие передается на суппорт, а от заготовки на патрон:

$$Fc_6 + Fh_6 = Fm_5 + Fc_5 + Fh_5 \quad (4.6)$$

$$c_6(x_6 - x_5) + h_6(V_6 - V_5) = m_5 a_5 + c_5(x_5 - x_4) + h_5(V_5 - V_4) \quad (4.7)$$

$$Fc_1 + Fh_1 = Fm_2 + Fc_2 + Fh_2 \quad (4.8)$$

$$c_1(x_1 - x_2) + h_1(V_1 - V_2) = m_2 a_2 + c_2(x_2 - x_3) + h_2(V_2 - V_3) \quad (4.9)$$

Патрон передает усилие на переднюю бабку:

$$Fc_2 + Fh_2 = Fm_3 + Fc_3 + Fh_3 \quad (4.10)$$

$$c_2(x_2 - x_3) + h_2(V_2 - V_3) = m_3 a_3 + c_3(x_3 - x_4) + h_3(V_3 - V_4) \quad (4.11)$$

Передняя бабка и суппорт установлены на станине и передают на нее суммарное усилие:

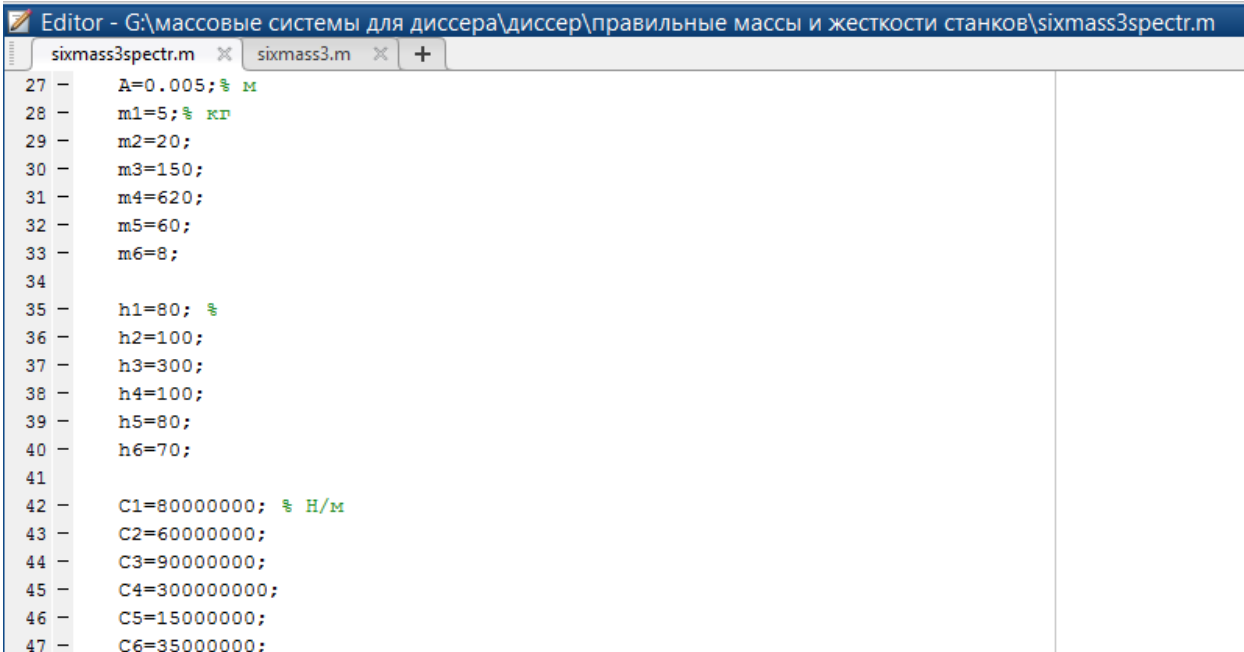
$$Fc_3 + Fh_3 + Fc_5 + Fh_5 = Fm_4 + Fc_4 + Fh_4 \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} c_3(x_3 - x_4) + h_3(V_3 - V_4) + c_5(x_5 - x_4) + h_5(V_5 - V_4) = \\ = m_4 a_4 + c_4 x_4 + h_4 V_4 \end{aligned} \quad (4.13)$$

Таблица 4.4. Таблица величин

Масса, кг	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
	5	20	150	620	60	8
Коэффициент жесткость, 10^6 Н/м	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
	100	80	90	300	15	35
Коэффициент демпфирования, Н*с/м	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
	80	100	300	100	80	70

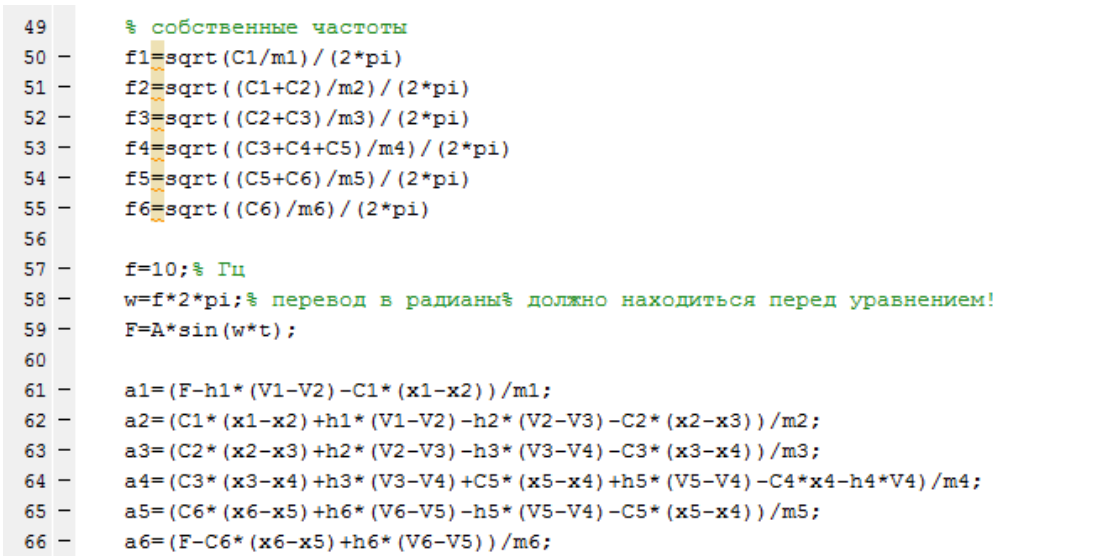
Значения параметров математической модели вносятся в программное обеспечение MatLab



```
Editor - G:\массовые системы для диссера\диссер\правильные массы и жесткости станков\sixmass3spectr.m
sixmass3spectr.m x sixmass3.m x +
27 - A=0.005; % м
28 - m1=5; % кг
29 - m2=20;
30 - m3=150;
31 - m4=620;
32 - m5=60;
33 - m6=8;
34
35 - h1=80; %
36 - h2=100;
37 - h3=300;
38 - h4=100;
39 - h5=80;
40 - h6=70;
41
42 - C1=800000000; % Н/м
43 - C2=600000000;
44 - C3=900000000;
45 - C4=3000000000;
46 - C5=150000000;
47 - C6=350000000;
```

Рисунок 4.24. Значения параметров математической модели вносятся в программное обеспечение MatLab

Записывается система линейных неоднородных дифференциальных уравнений в MatLab



```
49 % собственные частоты
50 - f1=sqrt(C1/m1)/(2*pi)
51 - f2=sqrt((C1+C2)/m2)/(2*pi)
52 - f3=sqrt((C2+C3)/m3)/(2*pi)
53 - f4=sqrt((C3+C4+C5)/m4)/(2*pi)
54 - f5=sqrt((C5+C6)/m5)/(2*pi)
55 - f6=sqrt((C6)/m6)/(2*pi)
56
57 - f=10; % Гц
58 - w=f*2*pi; % перевод в радианы % должно находиться перед уравнением!
59 - F=A*sin(w*t);
60
61 - a1=(F-h1*(V1-V2)-C1*(x1-x2))/m1;
62 - a2=(C1*(x1-x2)+h1*(V1-V2)-h2*(V2-V3)-C2*(x2-x3))/m2;
63 - a3=(C2*(x2-x3)+h2*(V2-V3)-h3*(V3-V4)-C3*(x3-x4))/m3;
64 - a4=(C3*(x3-x4)+h3*(V3-V4)+C5*(x5-x4)+h5*(V5-V4)-C4*x4-h4*V4)/m4;
65 - a5=(C6*(x6-x5)+h6*(V6-V5)-h5*(V5-V4)-C5*(x5-x4))/m5;
66 - a6=(F-C6*(x6-x5)+h6*(V6-V5))/m6;
```

Рисунок 4.25. Систему линейных неоднородных дифференциальных уравнений в MatLab

По заданным параметрам получены результаты перемещения, скорости и ускорения, представленные на рисунках 4.26-4.28.

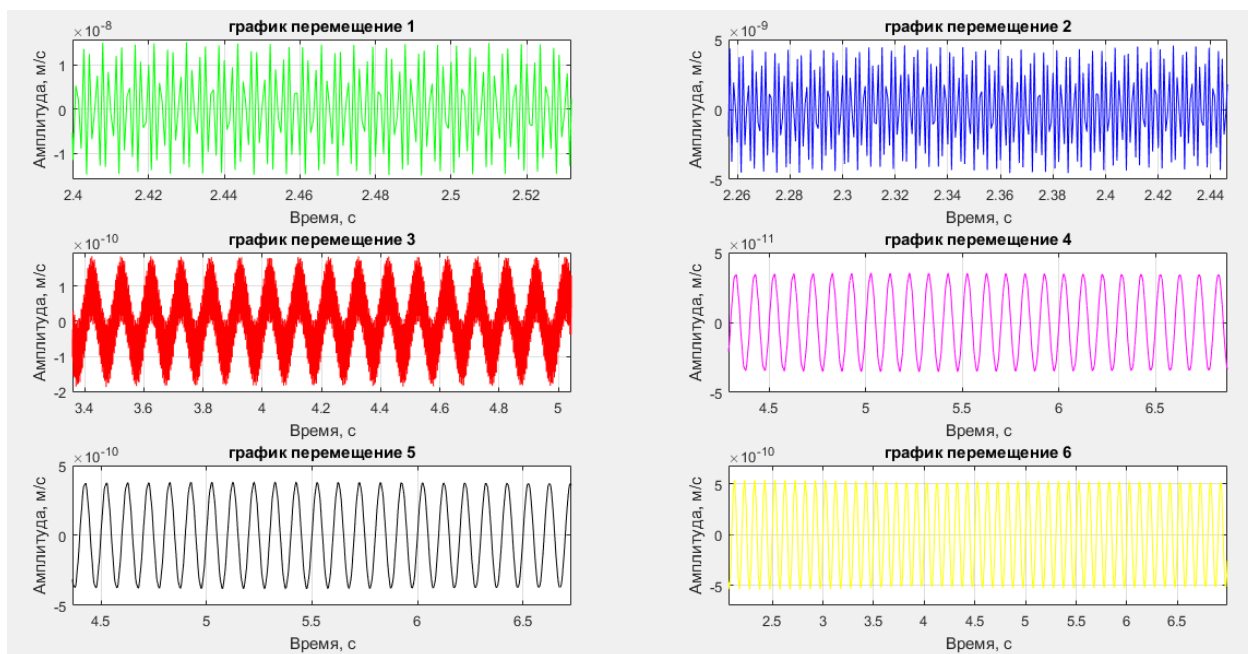


Рисунок 4.26. Графики перемещения

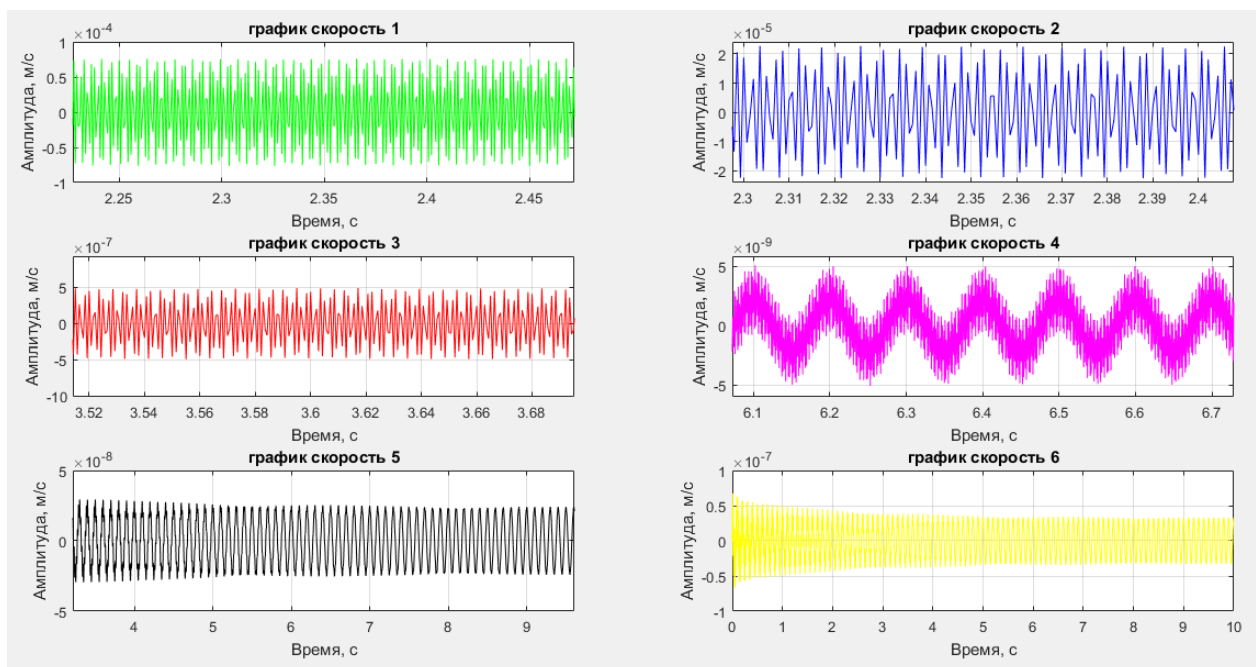


Рисунок 4.27. Графики скорости

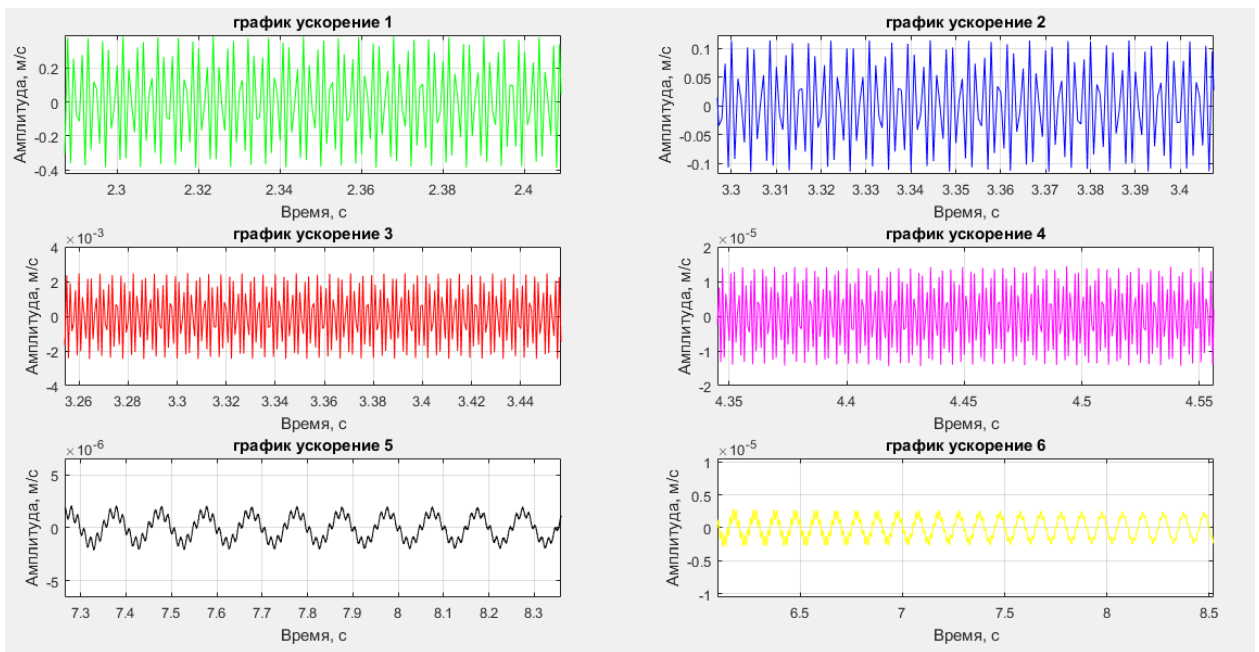


Рисунок 4.28. Графики ускорения

Построим спектрограммы перемещения, скорости и ускорения отдельно для каждого узла ТС.

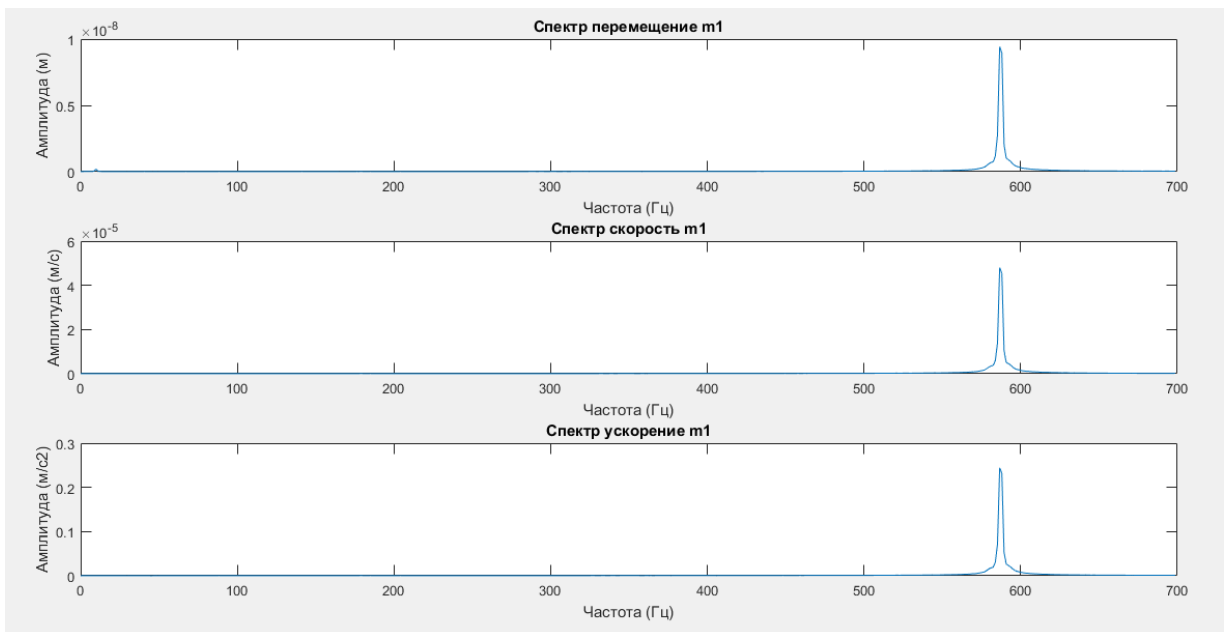


Рисунок 4.29. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения заготовки

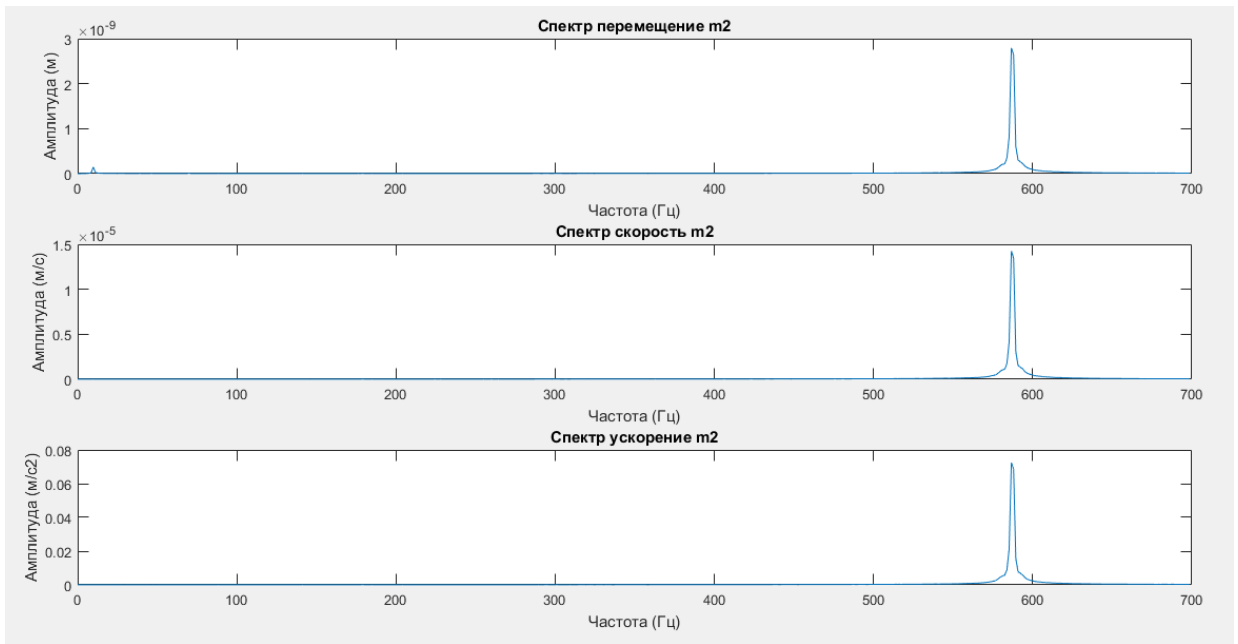


Рисунок 4.30. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения патрона

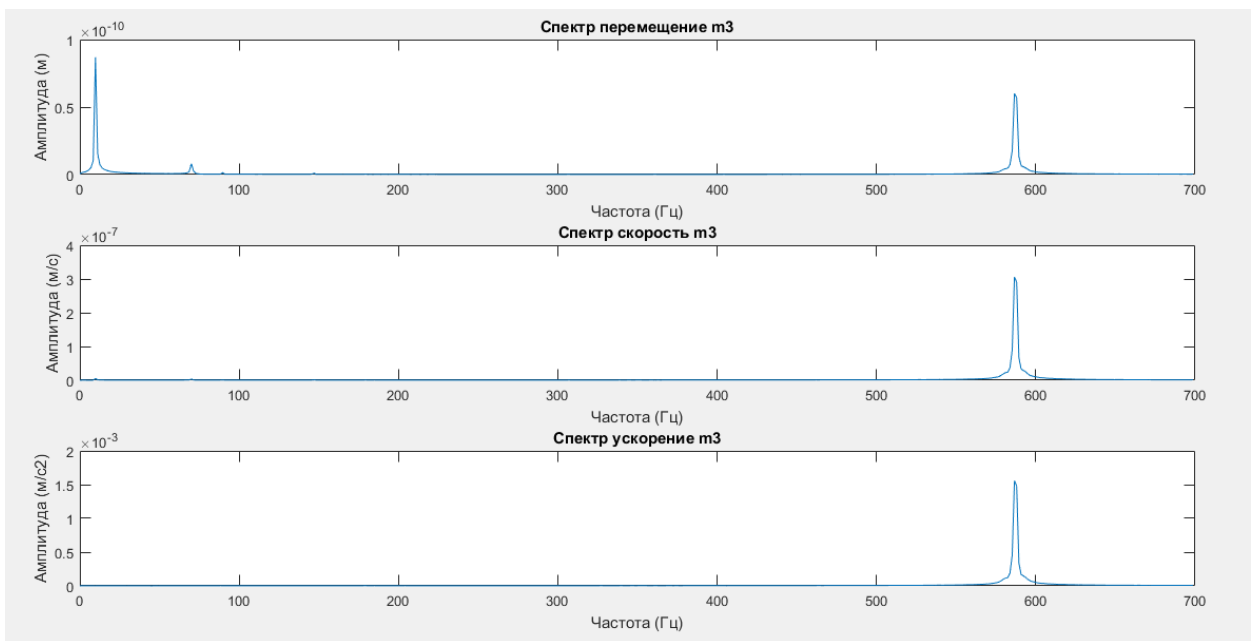


Рисунок 4.31. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения передней бабки

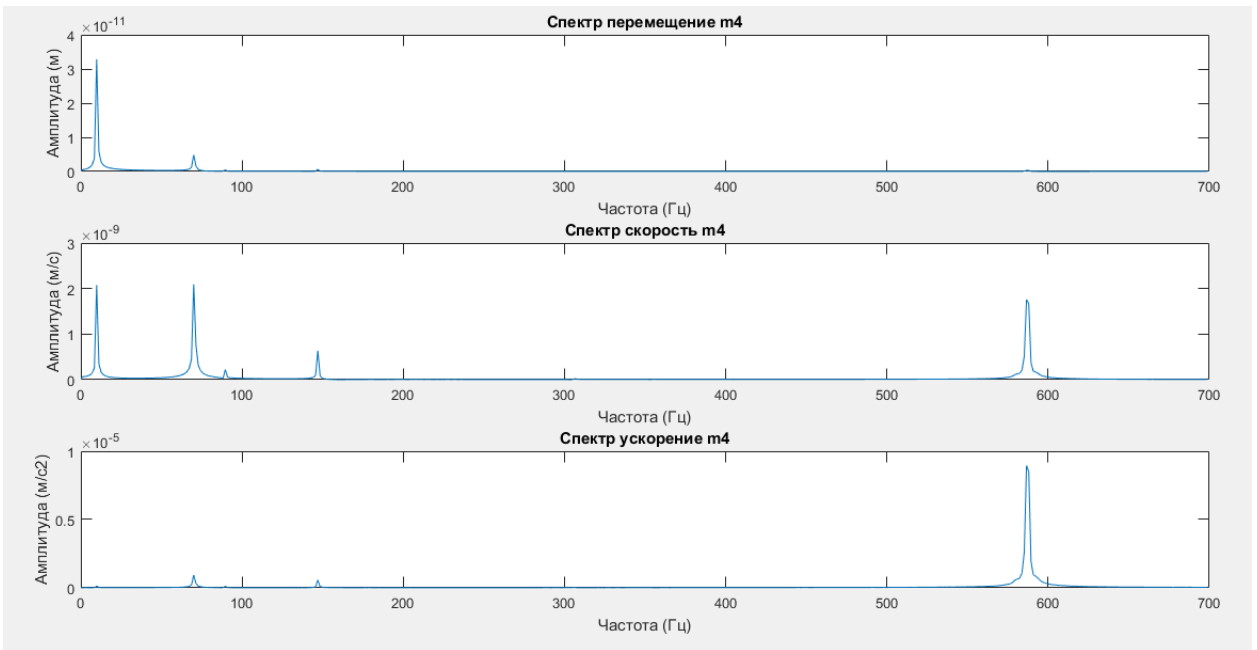


Рисунок 4.32. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения станины

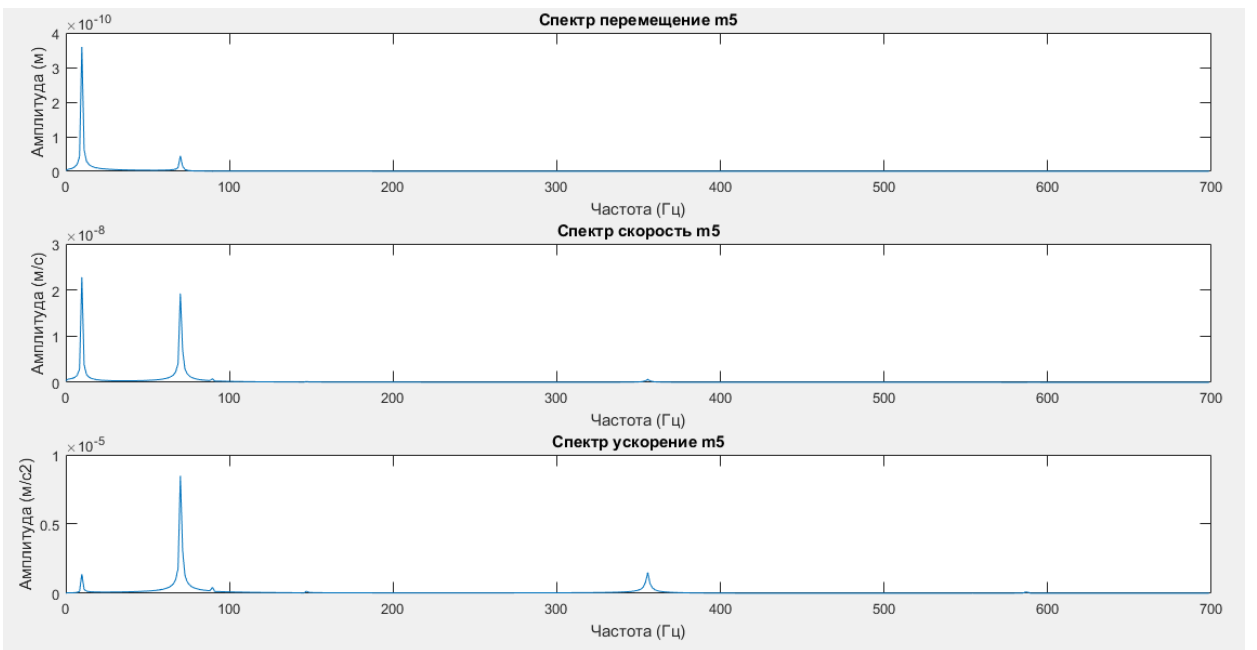


Рисунок 4.33. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения суппорта

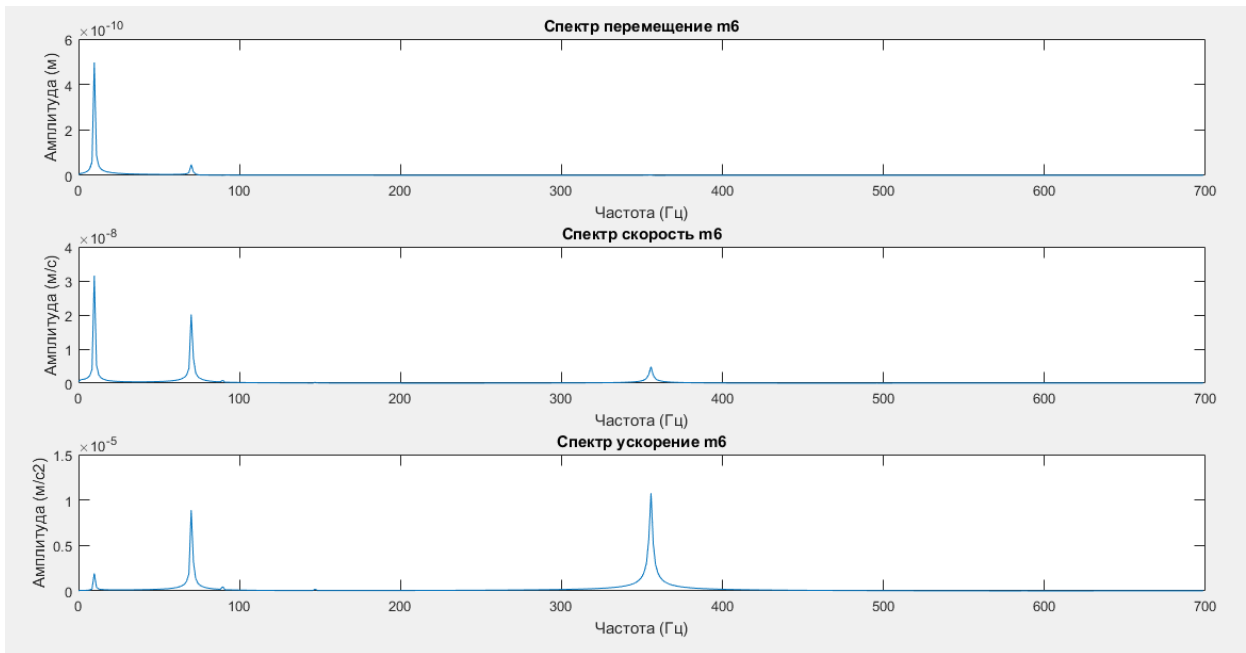


Рисунок 4.34. Спектрограммы перемещения, скорости и ускорения резцедержателя

Из полученных данных наглядно представленных на рисунках 5-11, наблюдается работоспособность математической модели, следовательно данная математическая модель может позволить проводить сравнительные анализы последующих экспериментов изменяя входные параметры.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Предпроектный анализ

В процессе вихревого растачивания выявлена закономерность, что от увеличения количества зубьев инструмента в зацеплении с заготовкой повышается качество огранки, однако рассматривался лишь кинематический метод, основанный на создании определенной кинематики движения инструмента, при которой режущая кромка перемещается относительно поверхностей резания, из-за чего отдельные участки режущей кромки то входят, то выходят из зоны обработки. Динамические характеристики не рассматривались, хотя как известно на качество изделия напрямую влияют жесткостные характеристики всей технологической системы в целом, а также влияние самого процесса резания. Для решения данного вопроса было принято решение по разработке экспериментального оборудования и математической модели для симуляции процесса резания и выявления резонансных частот, что позволит улучшить качество огранки.

Для эксперимента разработана специальная экспериментальная оснастка, устанавливаемая на токарном станке. Оснастка состоит из кинематической пары, «кулачка с переменной кривизной» выполняющего вращательное движение и «толкателя» предназначенного для передачи создаваемого усилия на несущие элементы станка. Данная система позволяет создавать симуляцию движения резца относительно заготовки без реального резания и получать временной сигнал в виде синусоиды, любые отклонения от гармонического сигнала указывают на отклонения и позволяют диагностировать проблемные зоны, а также методы борьбы с ними без разборки станка за счет определения на каких режимах можно выполнять ту или иную работу. Данная оснастка также необходима для написания математической модели для дальнейшего ее использования без физической проверки.

Многозаходный кулачек зажимается в патроне станка и поджимается задним центром, толкатель устанавливается под углами в 45 градусов относительно трех технологических осей токарного станка посредством специальной державки, устанавливаемой в резцедержатель. Такая компоновка оснастки позволяет устанавливать ее на любой токарный станок тем самым унифицировать исследования жесткостных характеристик несущих элементов станка влияющие на качество обработки.

Исследование представляет интерес для металлообрабатывающих компаний, занимающихся рассверливанием глубинных отверстий.

5.1.1 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.

Целевым рынком для использования исследования являются производства занимающиеся выпуском деталей с глубинными отверстиями. Исследование будет интересно всем металлообрабатывающим производствам, так как за счет малого количества применяемого инструмента имеет высокое качество изделия.

Исследования можно проводить также при помощи экспериментального оборудования, предложенных Пуш Александром Валентиновичем, Юркевичем Владимиром Васильевичем устройство для определения радиальной динамической жесткости шпиндельных узлов металлорежущих станков (устройство 1) и Шатуровым Геннадием Филипповичем способ определения жесткости узла станка имеющие радиальное направление нагрузки (устройство 2).

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования		
		Разрабатываемое устройство	Устройство № 1	Устройство № 2
Металлообрабатывающая компания	Крупные	+		
	Средние	+	+	
	Мелкие	+	+	+

Результаты исследования,

- Направление толкателя заметно приближает экспериментальное исследование к процессу резания, что позволяет увеличить точность получаемых данных;
- Простота использования позволяет проводить диагностику и производить заключение в короткие сроки;
- Интуитивно понятный интерфейс программного обеспечения.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Исследованием жесткости станков предназначенных для обработки деталей типа тел вращения занимаются большое количество ученых. Наибольший вклад в разработку устройств для диагностики жесткости станков предназначенных для обработки деталей типа тел вращения внесли такие ученые как Пуш Александр Валентинович, Юркевич Владимир Васильевич, Шатуров Геннадий Филиппович.

Таблица 5.2. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	10	10	6	5	100	60	50
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	8	5	4	64	40	40
3. Энергоэкономичность	6	4	5	10	60	30	100
4. Надежность	9	9	7	7	81	63	58
5. Уровень шума	7	7	4	9	49	28	45
6. Безопасность	8	8	4	8	64	32	64
7. Простота эксплуатации	7	7	6	3	49	42	36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	10	10	8	6	100	80	60
2. Уровень проникновения на рынок	9	0	9	7	0	81	45
3. Цена	7	3	5	4	21	35	35
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	6	5	6	36	30	34
5. Послепродажное обслуживание	7	7	4	2	49	28	14
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	7	0	36	16
Итого:	100	79	74	77	637	585	597

Проанализировав разработку Пуша Александра Валентиновича и Юркевича Владимира Васильевича выявлена следующие недостатки:

- Нет возможности передвижения устройства, что позволяет проводить исследование в узком диапазоне и менять лишь один параметр;
- Нагружается только один узел станка, в результате чего влияние остальных узлов отбрасывается на второй план, используя

полученные данные нельзя произвести качественное экспертное заключение;

- Сложность конструкции, необходимо много времени на установку оборудования;
- Большие размеры устройства.

Однако преимущество устройства заключается в том, что благодаря пневматики нагружение происходит плавно и позволяет полностью контролировать процесс нагружения.

Также близкая по возможностям является разработка, предложенная Шатуровым Геннадием Филипповичем имеющая следующие недостатки:

- Направление нагружения происходит только в радиальном направлении;
- Нагружение происходит за счет винта, что может привести к погрешности измерения;
- Сложность составления экспертного заключения;
- Высокая вероятность ошибки, так как в динамике могут происходить совершенно другие процессы.

Преимущество данного метода диагностики заключается в том, что проведение исследования возможно на неисправном станке, что позволяет определить недостаточную жесткость во время ремонта.

5.2 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 5.3. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Повышенный объем рабочей зоны.</p> <p>С2. Большой диапазон исследуемых процессов.</p> <p>С3. Быстрота установки.</p> <p>С4. Простота эксплуатации.</p> <p>С5. Надежность и простота обслуживания.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Наличие специального ПО.</p> <p>Сл2. Частая замена расходников.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Усовершенствование устройства</p>	<p>В1С1С2С3С4С5 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства.</p> <p>В2С1С2С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства.</p>	<p>В1Сл2 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Кризис</p> <p>У3. Незаинтересованность потребителей в разработке</p>	<p>У2С1С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.</p>	<p>У1Сл1 – из-за более высокой себестоимости могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.</p>

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Проект разбивается на этапы выполнения, для распределение задач с целью распределения заработной платы.

Таблица 5.4. Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач которые необходимо выполнить для достижения цели	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного и патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение 3D модели устройства	Студент
	7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент
Разработка технологической документации	8	Исследование математической модели в программной среде	Студент
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 5.5. Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск аналогов и обсуждение их достоинств и недостатков	НР, И	НР – 20% И – 100%
Составление принципиальной схемы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Построение 3D модели устройства	И	И – 100%
Создание математической модели согласно ТЗ	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 5.4 работ требуются специалисты:

- инженер «И» – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель «НР».

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения 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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн. ;

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

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой 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 %.

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

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Таблица 5.6. Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического	1	Составление и утверждение технического задания	3,2

задания			
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Выполнение расчетов	3,2
	6	Построение 3D модели устройства	7
	7	Создание математической модели согласно ТЗ	9,8
	8	Исследование математической модели в программной среде	9,8
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			54,4

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

5.3.3 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.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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

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

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

Результаты расчетов приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7. Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	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	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Проведение патентного обзора	3	5	3,8	Студент	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Выполнение расчетов	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Построение 3D модели устройства	5	10	7	Студент	7	10
Создание математической модели согласно ТЗ	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Исследование математической модели в	7	14	9,8	Студент	9,8	15

программной среде						
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,49$$

Таблица 5.8. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				Мар т	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
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 3D модели устройства	Студент	7							
7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент	7							
8	Исследование математическ	Студент	7							

	ой модели в программной среде									
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	3							

5.3.4 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (5)$$

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

$N_{расхi}$ – 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.

В процессе исследования были опробованы две компоновки устройства. Различия компоновок заключались в количестве пружин применяемых на толкателе. Первый вариант предполагает использование по одной пружине поочередно используемым в зависимости от необходимой жесткости толкателя (исп. 1.) и с применением одновременно двух пружин для создания более линейного нагружения (исп. 2).

Таблица 5.9. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.	Затраты на материалы	
		Исп. 1	Исп. 2		Исп. 1	Исп. 2
Шток	шт.	1	1	200	200	200
Пружина	шт.	3	6	54	162	324
Втулка	шт.	1	1	104	104	104
Кулачковый вал	шт.	1	1	645	645	645
Бронзовый кругляк	м	0,5	0,5	480	240	240
Итого расходы на материалы:					1351	1513

5.3.5 Основная заработная плата исполнителей.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 5.10.

Таблица 5.10. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	1320	4224
2	Изучение материалов по теме	Студент	9,8	888	8702,4
3	Проведение	Студент	3,8	888	3374,4

	патентного обзора				
4	Составление принципиальной схемы	Студент	3,2	888	2841,6
5	Построение расчётной схемы и математической модели	Студент	3,2	888	2841,6
6	Выполнение расчётов	Студент	7	888	6216
7	Исследование математической модели	Студент	9,8	888	8702,4
8	Заполнение пояснительной записки	Студент	4,6	888	4084,8

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 5.11).

Таблица 5.11. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$Z_{дн1} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{24750 \cdot 10,4}{195} = 1320 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1 день};$$

$$Z_{дн2} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{15460 \cdot 11,2}{195} = 888 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{осн1} = 1320 \cdot 3,2 = 4224 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 888 \cdot 51 = 45288 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 4224 + 844.8 = 5068.8 \text{ руб.} - \text{ руководитель;}$$

$$Z_{\text{зп2}} = 45288 + 9057.6 = 54345.6 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

5.3.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (9)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2).

$$Z_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 4224 = 844.8 \text{ руб.} - \text{ руководитель.}$$

$$Z_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 45288 = 9057.6 \text{ руб.} - \text{ студент.}$$

5.3.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом 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 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%².

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл. 5.12).

Таблица 5.12. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, р.уб.
Руководитель проекта	4224	844,8
Студент-дипломник	45288	9057,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	1373,65+14727,66=16101,31	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (4224 + 844,8) = 1373,65 \text{ руб.} - \text{руководитель}$$

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (45288 + 9057,6) = 14727,66 \text{ руб.} - \text{студент-дипломник}$$

5.3.8 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (11)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

² Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{1351}{1513} = 0,893$ - интегральный финансовый показатель разработки

первого исполнения.

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{1513}{1513} = 1$ - интегральный финансовый показатель разработки второго

исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (13)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 5.13).

Таблица 5.13. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5
3. Регулировка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,15	5	5

5. Надежность	0,15	5	5
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 4*0,3 + 5*0,3 + 5*0,1 + 5*0,15 + 5*0,15 = 4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,3 + 5*0,3 + 5*0,1 + 5*0,15 + 4*0,15 = 4,85;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,7}{0,893} = 5,26; \quad I_{исп.2} = \frac{4,85}{1} = 4,85;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.5.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (15)$$

Таблица 5.14. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый	0,893	1

	показатель разработки		
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	5,26	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=1,09	Исп2/Исп1=0,92

Из таблицы 5.14 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 1.

5.5. Заключение

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разрабатываемого устройства. Проведен анализ конкурентов из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основной и дополнительной зарплате, отчисления во небюджетные фонды, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 5.14 можно сделать вывод о наибольшей эффективности первого исполнения устройства.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В процессе вихревого растачивания с применением многозубого инструмента обнаружено высокое качество огранки, однако рассмотрен лишь кинематический метод, основанный на создании определенной кинематики движения инструмента, при которой режущая кромка перемещается относительно поверхностей резания, из-за чего отдельные участки режущей кромки то входят, то выходят из зоны обработки. По этой причине было принято решение по разработке экспериментального оборудования и математической модели для симуляции процесса резания и выявления резонансных частот, что позволит улучшить качество огранки.

Для проведения эксперимента применяется специальная экспериментальная оснастка, устанавливаемая на токарном станке. Оснастка состоит из кинематической пары, «многозаходного кулачка» выполняющего вращательное движение и «толкателя» предназначенного для передачи создаваемого усилия на несущие элементы станка. Данная система позволяет создавать симуляцию движения резца относительно заготовки без процесса резания и получать временной сигнал в виде синусоиды.

Многозаходный кулачек зажимается в патроне станка и поджимается задним центром, толкатель устанавливается под углами в 45 градусов относительно трех технологических осей токарного станка посредством специальной державки, устанавливаемой в резцедержатель. Такая компоновка оснастки позволяет устанавливать ее на любой токарный станок тем самым унифицировать исследования жесткостных характеристик несущих элементов станка влияющие на качество обработки.

Исследование представляет интерес для металлообрабатывающих компаний, занимающихся рассверливанием глубоких отверстий.

6.1. Производственная безопасность

В процессе экспериментального исследования могут возникнуть следующие опасные и вредные производственные факторы, подразделяющиеся по природе действия на следующие группы:

- физические;
- психофизиологические.

Физические опасные и вредные производственные факторы:

- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия:

- перенапряжение анализаторов;

Таблица 6.1. Опасные и вредные факторы при выполнении экспериментального исследования вихревого растачивания

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. проведение экспериментального исследования на токарном станке	1. повышенный уровень шума на рабочем месте; 2. повышенный уровень вибрации; 3. недостаточная освещенность рабочей зоны;	1. подвижные части производственного оборудования; 2. электрический ток.	1. Гост 12.1.003-83 сбт. Шум. Общие требования безопасности[1] 2. Гост 31319-2006 вибрация.[2] 3. Естественное и искусственное освещение

	4. перенапряжение анализаторов;		Снип 23-05-95[3] 4. Санпин 2.2.2.1332-03[4] 5. Гост 12.2.003-91[5] 6. Гост iec 61140-2012[6]
--	---------------------------------	--	---

6.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

1) Повышенный уровень шума на рабочем месте не только производственная проблема, характерная для промышленных предприятий.

Во время работы на токарном станке уровень шума может зависеть от различных факторов:

- Неисправные элементы станка;
- Плохая заточка инструмента;
- Обрабатываемый материал;
- Забитые приводные элементы станка.

В зависимости от неисправности того или иного узла станка шум может быть как высоко частотным, так и низкочастотным. К неисправностям также можно отнести несвоевременную замену расходных материалов, низкий уровень смазки.

При неправильной заточке инструмента, а именно главной режущей кромки, также возникает повышенный уровень шума.

Не зависимо от заточки инструмента повышенный уровень шума также возникает при точении твёрдосплавных материалов.

При неправильной эксплуатации токарного станка и несвоевременной отчистки элементов от стружки, происходит забивка открытых элементов, вследствие чего возникает шум.

Интенсивность шума – главная его характеристика. Она тождественна громкости и измеряется в децибелах (дБ).

- Нормальный уровень шума: до 50-55 дБ.

- Повышенный уровень шума: 55-70 дБ.
- Вредный уровень шума: 80-95 дБ.
- Опасный уровень шума: более 95 дБ.
- При 120 дБ человек получает акустическую травму.

2) **Вибрация** — это механические колебания машин и механизмов, которые характеризуются такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение. Вибрацию порождают неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе токарного станка.

При изучении вибраций тела человека принято выделять общую вибрацию всего тела (передается через опорные поверхности) и локальную (передается на руки). Во время обработки материалов на токарном станке возникают оба типа вибрации, которые необходимо гасить при помощи специальной одежды либо виброзащитных подложек.

Общую вибрацию по источнику возникновения подразделяют на три категории: транспортную, транспортно-технологическую, технологическую.

При изучении действия вибрации на организм человека нужно учитывать, что колебательные процессы присущи живому организму прежде всего потому, что они в нем постоянно протекают. Внутренние органы можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Их собственные частоты лежат в диапазоне 3–6 Гц. При воздействии на человека внешних колебаний таких частот происходит возникновение резонансных явлений во внутренних органах, способных вызвать травмы, разрыв артерий, летальный исход. Собственные частоты колебаний тела в положении лежа составляют 3–6 Гц, стоя — 5–12 Гц, грудной клетки — 5– 8 Гц. Воздействие на человека вибраций таких частот угнетает центральную нервную систему, вызывая чувство тревоги и страха.

Воздействие вибрации, при токарной обработке, на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

В последнее время принято различать три формы вибрационной болезни: периферическую — возникающую от воздействия вибрации на руки (спазмы периферических сосудов, приступы побеления пальцев рук на холоде, ослабление подвижности и боль в руках в покое и ночное время, потеря чувствительности пальцев, гипертрофия мышц); церебральную — от преимущественного воздействия вибрации на весь организм человека (общемозговые сосудистые нарушения и поражение головного мозга); смешанную — при совместном воздействии общей и локальной вибрации.

Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на работающих пониженной температуры воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, охлаждения рук рабочего при работе с ручными машинами, запыленности воздуха, неудобной позы и др.

3) Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Сравнительная оценка естественного и искусственного освещения по его влиянию на работоспособность показывает преимущество естественного света.

Важно отметить, что не только уровень освещенности, а все аспекты качества освещения играют роль в предотвращении несчастных случаев. Можно упомянуть, что неравномерное освещение может создавать проблемы адаптации, снижая видимость. Работая при освещении плохого качества или низких уровнях, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причинами во многих случаях являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей. Головные боли также могут быть вызваны пульсацией освещения. Таким образом, становится очевидно, что неправильное освещение представляет значительную угрозу для здоровья работников.

Для оптимизации условий труда имеет большое значение освещение рабочих мест. Задачи организации освещенности рабочих мест следующие: обеспечение различаемости рассматриваемых предметов, уменьшение напряжения и утомляемости органов зрения. Производственное освещение должно быть равномерным и устойчивым, иметь правильное направление светового потока, исключать слепящее действие света и образование резких теней.

4) Воздействие на анализаторы. Центральная нервная система получает информацию от внешнего мира, внешней среды с помощью чувствительных

аппаратов, воспринимающих сигналы. Эти аппараты академиком И.П. Павловым названы анализаторами.

Основная характеристика анализаторов – высокая чувствительность, хотя не всякий раздражитель, действующий на анализатор, вызывает ощущение. Чтобы ощущение проявилось, необходима определенная интенсивность раздражителя. Всякое воздействие, превышающее предел интенсивности, вызывает боль и нарушение деятельности анализаторов.

В центральную нервную систему в процессе труда поступает большой объем информации. Мозг ее «перерабатывает» и «сортирует» по степени важности. Самыми важными являются сигналы, имеющие значение для жизнедеятельности всего организма; затем воспринимаются сигналы, имеющие значение для отдельных систем и органов.

Задача правильного проектирования технологического процесса – не допустить перенапряжения анализаторов, которое может привести к стрессам.

6.1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

1) Ограждения и предохранительные устройства должны иметь прочную жесткую конструкцию и установочную базу для крепления к оборудованию, и при их установке не должна снижаться освещенность рабочего места, увеличиваться шум и вибрация оборудования, затрудняться наблюдение за работой режущего инструмента. Ограждения и предохранительные устройства должны быть изготовлены с точностью, не допускающей их перекося или смещение от заданного положения относительно закрываемых ими движущихся деталей или режущих инструментов. Предпочтительно, применение сплошных ограждений. Ограждения, имеющие отверстия или изготовленные из сетки, должны иметь конструкцию, обеспечивающую постоянство формы и достаточную

жесткость. 386 Выбор типа оградительного устройства и материала, из которого оно будет изготовлено, необходимо обосновать расчетно, исходя из особенностей травмоопасного фактора, его мощности и зоны действия, а также надежности защиты и удобства в эксплуатации. Прочность ограждения должна быть установлена с учетом нагрузки, определяемой по усилиям воздействия на ограждение работающего, разрушающихся частей оборудования или удара обрабатываемой заготовкой. Ограждения, требующие настройки в зависимости от размеров обрабатываемых заготовок, должны иметь устройства для закрепления регулируемых частей без применения инструментов. При установке ограждений и предохранительных устройств не должно затрудняться удаление отходов. Ограждения не должны разрушаться при разрыве или поломке закрываемых ими движущихся деталей и инструментов, и защитная функция их не должна уменьшаться под воздействием производственных факторов. Ограждения механизмов и узлов, периодически переставляемых и регулируемых, должны быть открывающимися, на петлях или легкоъемными, устанавливаемыми и открываемыми без применения специальных инструментов, и должны обеспечивать свободный доступ для обслуживания и наладки.

2) Поражение электрическим током происходит, когда человеческий организм вступает в контакт с источником напряжения.

Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток.

Как известно, организм человека состоит из большого количества солей и жидкости, что является хорошим проводником электричества, поэтому действие электрического тока на организм человека может быть летальным.

Виды воздействий электрического тока на организм человека

Последствия, которые возникнут в результате действия электрического тока на человека зависят от многих факторов, а именно:

- от величины и рода протекающего тока, переменный ток является более опасным, чем постоянный;

- продолжительности его воздействия, чем больше время действия тока на человека, тем тяжелее последствия;

- пути протекания, самую большую опасность представляет ток, протекающий через головной и спинной мозг, область сердца и органов дыхания(легкие);

- от физического и психологического состояния человека. Организм человека обладает неким сопротивлением, это сопротивление варьируется в зависимости от состояния человека.

Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человеческий организм составляет 1 мА.

При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Этот ток называется неотпускаемым.

Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца.

Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

- - термическое;
- - электролитическое;
- - биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости, в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

6.2. Экологическая безопасность

При исследовании воздействия токарной обработки на окружающую среду было выявлено, что основными источниками загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы являются, выделение пыли от отработанного материала, испарение, распыление и пролив смазывающей охлаждающей жидкости и масла, которые способны оказывать негативное влияние на здоровье человека и окружающую природную среду.

6.2.1. Анализ воздействия объекта на атмосферу и методы защиты.

Защита атмосферы. Наличие в воздухе вредных примесей приводит к раздражению дыхательных путей и слизистой оболочки глаз, воздействию смазочно-охлаждающая жидкость на кожный покров на руках. Возникает необходимость улавливания вредных выбросов образующихся от расположенных на участке станков, установка местной вытяжки. Для улавливания вредных веществ, способных выделяться в воздух рабочей зоны используются бортовые отсосы, устанавливаемые на каждом станке.

В целях предотвращения попадания вредных веществ в атмосферный воздух предлагается использование циклона, устанавливаемого на улице, внедрение в исследуемый технологический процесс технологию «экологически чистого резания» на основе применения озонированной среды, способной эффективно заменить физические эффекты смазочно-охлаждающих жидкостей, такие как: охлаждающий и пластифицирующий эффект. Требуемое состояние воздуха рабочей зоны также может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий, к основным относятся:

1. Механизация и автоматизация производственных процессов.
2. Применение технологического оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадание их в рабочую зону (термообработка заготовки осуществляется по заказу на предприятии ВЦМ).
3. Применение средств индивидуальной защиты таким образом, при использовании этих мероприятий, снижается негативное влияние на экологическую обстановку в цехе и на величину коррозионного износа узлов и агрегатов станка.

6.2.2. Анализ воздействия объекта на литосферу и методы защиты.

Наличие скапливающейся использованной смазочно-охлаждающей жидкости в токарном станке, может привести к дальнейшему ее переливу и попаданию на поверхность земли, что негативно скажется на литосфере. Возникает необходимость в улавливании и смазочно-охлаждающей жидкости еще на этапе заполнения «корыта».

В целях предотвращения попадания вредных веществ в литосферу необходимо создание специальных сливных отверстий с общим баком, при наполнении которого смазочно-охлаждающая жидкость будет отправляться в утилизацию.

6.2.3. Анализ воздействия объекта на гидросферу и методы защиты.

Защита гидросферы. При механической обработке вода используется для охлаждения инструмента, промывке деталей, обработке помещений, сточные воды загрязняются минеральными маслами, мылами, металлической пылью и эмульгаторами. Основными загрязнителями являются смазочно-охлаждающие жидкости, используемые для обработки деталей на металлорежущих станках. В процессе фрезерования деталей смазочно-охлаждающие жидкости загрязняются частицами обрабатываемых материалов, концентрация которых достигает 20 г/л.

Для защиты водного бассейна проводится: очистка сточных вод от маслосодержащих примесей, очистка сточных вод от механических примесей, очистка сточных вод от металлов и их солей, нейтрализация сточных вод, контроль состава сточных вод. Твердые отходы в машиностроении образуются при производстве продукции в виде шла-

мов, лома, шлаков и золы, осадков и пылей (отходы систем очистки воздуха) и др. Отходы от механической обработки образуются в виде обрезков, стружки и опилок и др.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

В процессе экспериментального исследования могут возникнуть следующие ЧС:

1. Возгорание станка. В случае появления задымления или возгорания немедленно прекратить работу, отключить электрооборудование, вызвать пожарную охрану, сообщить непосредственному руководителю и администрации организации, принять меры к эвакуации из помещения. При ликвидации загорания необходимо использовать первичные средства пожаротушения, принять участие в эвакуации людей. При загорании электрооборудования применять только углекислотные огнетушители или порошковые.

2. Поломка станка. Если на металлических частях оборудования обнаружено напряжение (ощущение тока), оборудование гудит, в случае появления вибраций или повышенного уровня шума, при резком нагревании и плавлении корпуса, искрении электрооборудования, обрыве питающего кабеля, необходимо остановить работу оборудования, доложить о случившемся непосредственному руководителю. Без указаний руководителя к работе приступать запрещено.

3. Пробой электрооборудования. При поражении электрическим током необходимо освободить пострадавшего от действия тока путем немедленного отключения электроустановки рубильником или выключателем. Если отключить электроустановку достаточно быстро

нельзя, необходимо пострадавшего освободить с помощью диэлектрических перчаток или сухого деревянного предмета, при этом необходимо следить и за тем, чтобы самому не оказаться под напряжением. После освобождения пострадавшего от действия тока необходимо оценить его состояние, вызвать скорую медицинскую помощь и до прибытия врача оказывать первую доврачебную помощь.

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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

Гарантии и компенсации работникам

Гарантии - средства, способы и условия, с помощью которых обеспечивается осуществление предоставленных работникам прав в области социально-трудовых отношений.

Компенсации - денежные выплаты, установленные в целях возмещения работникам затрат, связанных с исполнением ими трудовых или иных обязанностей, предусмотренных настоящим Кодексом и другими федеральными законами.

Средства, способы и условия, с помощью которых обеспечивается осуществление предоставленных работникам прав в области социально-трудовых отношений

Денежные выплаты, установленные в целях возмещения работникам затрат, связанных с исполнением ими трудовых или иных предусмотренных ТК РФ и иными федеральными законами обязанностей

6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Установка обрабатываемых заготовок и снятие готовых деталей во время работы оборудования допускается вне зоны обработки, при

применении специальных позиционных приспособлений, обеспечивающих безопасность труда работающих. При обработке резанием заготовок, выходящих за пределы оборудования, должны быть установлены переносные ограждения и знаки безопасности по ГОСТ 12.4.026-76*.

Для исключения соприкосновения рук станочников с движущимися приспособлениями и инструментом при установке заготовок и снятии деталей должны применяться автоматические устройства (механические руки, револьверные приспособления, бункеры и др.).

Контроль на станках размеров обрабатываемых заготовок и снятие деталей для контроля должны производиться лишь при отключенных механизмах вращения или перемещения заготовок, инструмента и приспособлений.

Для охлаждения зоны резания допускается применять минеральное масло с температурой вспышки не ниже 150°, свободное от кислот и влаги. СОТС должны подаваться в зону резания методом распыления и при циркуляции в зоне резания подвергаться очистке.

Для работающих, участвующих в технологическом процессе обработки резанием должны быть обеспечены удобные рабочие места, не стесняющие движений во время работы. На рабочих местах должна быть предусмотрена площадь, на которой размещаются стеллажи, тара, столы и другие устройства для размещения оснастки, материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей и отходов производства.

На каждом рабочем месте около станка на полу должны быть деревянные решетки на всю длину рабочей зоны, а по ширине не менее 0,6 м от выступающей части станка.

При разработке технологических процессов необходимо предусматривать рациональную организацию рабочих мест.

Удобное расположение инструмента и приспособлений в тумбочках и на стеллажах, заготовок в специализированной таре, применение планшетов для чертежей позволит снизить утомление и производственный травматизм рабочего.

Ширина цеховых проходов и проездов, расстояние между металлорежущими станками и элементами зданий должны устанавливаться в зависимости от применяемого оборудования, транспортных средств, обрабатываемых заготовок и материалов. Проходы и проезды в цехах и на участках должны обозначаться разграничительными линиями белого цвета шириной не менее 100 мм.

На территории цеха или участка проходы, проезды, люки колодцев должны быть свободными, не загромождаться материалами, заготовками, полуфабрикатами, деталями, отходами производства и тарой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен литературно-патентный обзор методов и механизмов применяемых для определения жесткости технологической системы. Выявился основной недостаток существующих методов определения жесткости технологической системы заключающийся в том что, нагружение происходит только в радиальном направлении.
2. Обосновано применение вихревого растачивания с применением многозаходной резцовой головки.
3. Реализована и апробирована специализированная оснастка для определения динамической жесткости технологической системы с учетом возможности реализации динамических режимов нагружения.
4. Получены и исследованы спектрограммы виброскорости и виброперемещения, с приведёнными графиками крест фактора, для определения увеличения или уменьшения числа ударов, а также для исключения «белого шума».
5. Построена математическая модель процесса вихревого растачивания с применением многозаходной резцовой головки.
6. Теоретически исследована математическая модель процесса вихревого растачивания с применением многозаходной резцовой головки для идентификации собственных частот несущих элементов по результатам, которых можно определить оптимальные режимы обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев С.Н., Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Синопальников В.А. Проблемы технической диагностики станочного оборудования на современном этапе развития// Вестник МГТУ Станкин. – 2010. – № 4. – С. 27-36.
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. Гаврилин, Алексей Николаевич. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения / А. Н. Гаврилин, Б. Б. Мойзес // Контроль. Диагностика: научно-технический журнал / Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике. – 2013. – № 9. – С. 81-84.
5. Gavrilin A.N., Moyzes B. B., Zarkevich O.I. Constructive and processing methods of reducing vibration level of the metalworking machinery elements // Journal of Vibroengineering. – 2015 – Vol. 17. – Issue 7. – p. 3495-3505.
6. Метод снижения уровня вибраций при механической обработке Гаврилин А.Н. Контроль. Диагностика. 2013. № 11. С. 23-26.
7. Болдин Л.А. Металлорежущие станки. Вопросы эксплуатации. – М.: МАШГИЗ – 1957. – 260 с.
8. Моделирование динамических процессов при механической обработке Гаврилин А.Н. Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2 (часть 20) – С. 4403-4407

9. М. П. Козочкин, А. В. Гусев, “Создание портативных мобильных диагностических систем для мониторинга и настройка технических процессов и машинных систем” МГТУ СТАНКИН, №. 1, 42–47 (2011).

10. Румянцев обработка внутренних цилиндрических поверхностей деталей роликовым инструментом. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1966. – 25 с.

11. Григорьев Н. В. Вибрация энергетических машин: справочное пособие // Ленинград «машиностроение» - 1974. – С. 256-260.

12. Грановский эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – С. 98–142.

13. Джонсон Н., Лиан Ф. – В кн.: Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1980. – 312 с

14. Ярослав Николаевич Отений, Николай Яковлевич Смольников, Николай Васильевич Олыштынский//ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ Монография / ВолгГТУ.– Волгоград, 2003. – 136 с.

15. Патент РФ № 2124966, 20.01.1999. СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА// Юркевич В.В., Пуш А.В..

16. Патент РФ № 2058875, 27.04.1996. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ УЗЛА СТАНКА // Шатуров Г. Ф..

17. Патент РФ № 2094177, 27.10.1997. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ// Юркевич В.В., Пуш А.В..

18. Патент РФ № 2568583, 27.10.1997 СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ// Гузеев Виктор Иванович,
Нуркенов Антон Халилевич

19. Патент РФ № 2496611, 20.06.2013 СПОСОБ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ И
ЖЕСТКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ В РАСТОЧНЫХ
ОПЕРАЦИЯХ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТАННЫХ
ДЕТАЛЕЙ // Касьянов С.В., Кондрашов А. Г., Сафаров Д. Т.

20. А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес//Диагностика технологических
систем. Часть 1 : учебное пособие / Томский политехнический университет. –
Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 120 с.

21. А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес// Диагностика технологических систем.
Часть 2: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск:
Изд-во Томского политехнического университета,
2014. – 128 с.

22. Вибрация в технике: Справочник. В 6 т. Колебания машин,
конструкций и их элементов/Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова.
– М.: Машиностроение, 1980. –Т.3. – 544 с.

23. Горфинкель В.Я., проф. Швандар В.А. Экономика предприятия:
Учебник для вузов — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. –
670

24. Рахимов Т.Р. Финансовый менеджмент: Учебное пособие. – Томск:
Изд-во ТПУ, 2012. – 264 с.

25. Ронова Г.Н, Кузьмина Т.В. Теория и практика оценочной
деятельности: Учебно-методический комплекс. – М.:Изд.центр ЕАОИ. 2008.
– 253 с.

26. Конотопский В.Ю. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» магистерских диссертаций для всех специальностей ИК/ сост. В.Ю. Конотопский Томск. Издательство ТПУ, 2015г.

27. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация // Ассоциация инженеров - программистов по охране труда.

28. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки // Библиотека гостей и нормативов. 2016.

29. Попов В.М. Психология безопасности профессиональной деятельности: учебное пособие / В. М. Попов; Изд-во Новосибирского государственного технического университета, 1996 г. – 155 с.

30. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение

31. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

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

33. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

34. ПНД Ф 12.13.1 -03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес, А.И. Черкасов, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин, С. Чжан//Мобильный комплекс для оперативной диагностики элементов технологической системы. Информационно-измерительная техника и технологии, ИИТиТ 2016: материалы VII научно-практической конференции, Томск, 25-28 Мая 2016 / Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ); под ред. А. В. Юрченко.

2. Гаврилин А.Н., Мельнов К. В. , Хайруллин А. Р. , Глиненко Е. В. //Исследование пневматического гасителя колебаний//Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. В 3 т., Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 226-228

3. Мельнов К. В., Хайруллин А. Р., Глиненко Е. В.//Пневматический гаситель колебаний//Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сбор-ник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции. В 3 т., Томск, 23-27 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 С. 393-397.

4. А.Н. Гаврилин, А.И. Черкасов, Б.Б. Мойзес, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин.// Гидравлическое устройство создания предварительного натяга в приводе рабочего органа металлорежущего станка// ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 Т.2 2016 (УДК 621.9.06) С.28-32.

5. А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес, Ю.Б. Червач, В.Л. Рубцов, К.И. Борисов, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин.//методика исследования характеристик горной породы при резании-скалывании резцами PDC// ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 Т.2 2016 (УДК 622.243.2) С 80-83.

6. N. Gavrilin, B. B. Moyzes, A. I. Cherkasov, I. A. Ditenberg, A.R. Khairullin, E.V. Glinenko.// 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 12th International Conference Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials; Tomsk; Russian Federation; 4 September 2016 through 12 September 2016; Code 126532

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

8. К. В. Мельнов, А. Н. Гаврилин, А. Р. Хайруллин// Устройство для повышения жесткости технологической системы путем создания предварительного натяга// Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 346-347].

9. А. Р. Хайруллин, К. В. Мельнов, А. Н. Гаврилин// устройства для измерения динамической жесткости технологической системы при установлении оптимальных режимов работы// XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ (МИКМУС - 2016) Москва, 07-09 декабря 2016 г.: [С. 427-430].

10. А. Р. Хайруллин, К. В. Мельнов, А. Н. Гаврилин// конструкторско-технологические методы снижения динамических нагрузок на резцы PDC при бурении// XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ (МИКМУС - 2016) Москва, 07-09 декабря 2016 г.: [С. 376-379].

11. B.B. Moyzes, Xiaoliang Zhang, A.N. Gavrilin, A.R. Hajrullin, A.V. Fayngerts//The System of Clamping the Base Plate of the Seismic Vibrations Sources to the Ground//2015/ International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 978-1-4673-8114-7/15/\$31.00 ©2015 IEEE

12. Гаврилин А.Н., Серебряков К.В., Б.Б. Мойзес, К.В. Мельнов, А.Р. Хайруллин.// Виброрегистратор _ M2// Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614049

13. Мельнов К. В., Хайруллин А. Р., Глиненко Е. В.// ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦЕССИИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ// Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 61-62].

Приложение А

Раздел Английская часть

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ41	Хайруллин Александр Римович		

Консультант кафедры АРМ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин А. Н.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

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

2. Information-analytical review

During performance of final qualification work it is necessary to carry out the analysis of means and methods of diagnostics treatment of technological systems. The purpose of diagnostics of technological system to ensure maximum productivity, efficiency, surface quality, and so on—demands the maintenance of constant conditions or the regulation of process parameters. Such parameters include the gap, the concentration of erosion product in the gap, the temperature of the working fluid, and its flow rate.

The choice of equipment for operational diagnostics of a cutting process depends mainly on the following factors [4]: informativeness adequate to the situation in the cutting zone, as well as simplicity and reliability of installation on a machine. At present, the most widespread diagnostic methods are those based, methods determining radial static and dynamic stiffness of support elements of metal cutting machines are known.

Modern methods of determining inelasticity are divided into two main types:

- Static;
- Dynamic.

1) Method for determining the rigidity of a machine assembly.

The essence of the invention consists in measuring the motion in the radial direction, at which the force is smoothly increased to the maximum possible deviation. After maximum load, the force gradually decreases to zero value with residual elastic strain of the toolhead.

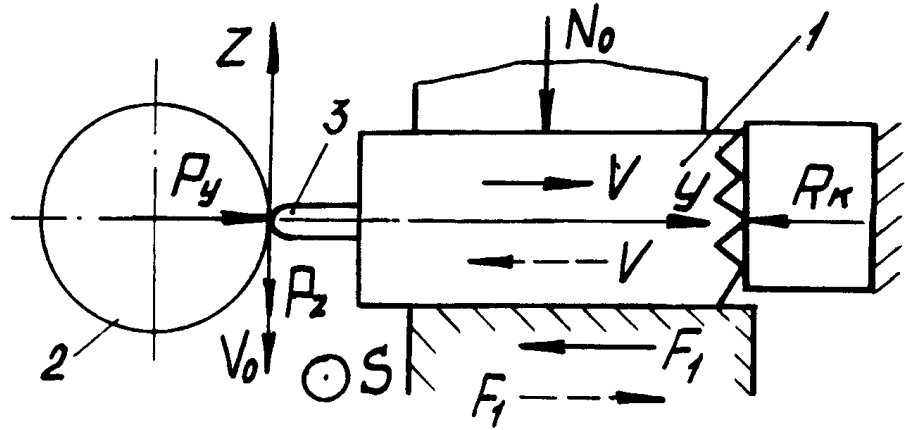


Figure 2.1. Method for determining the rigidity of a machine assembly

In each case of loading the technological system of the machine, its elastic movements determine the intersection of a straight line parallel to the axis of ordinates from the point of intersection of the discharge curve with the ordinate axis, and also the load curve of the constructed curves of the dependence of the support movements on the load. After this, determine the rigidity with respect to the force parameters and elastic displacements (Figure 2.2).

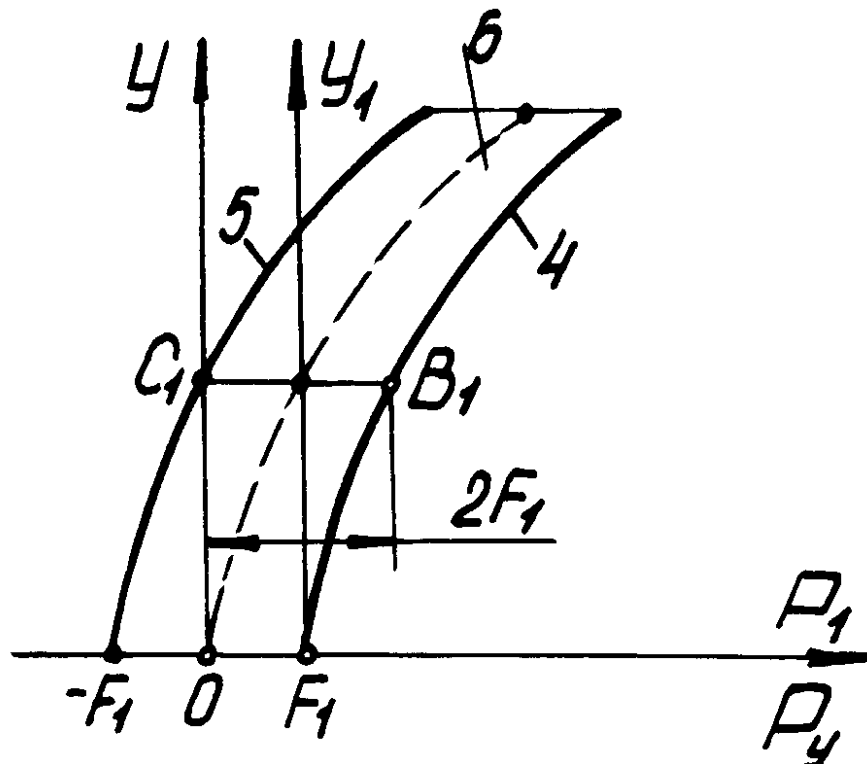


Figure 2.2. Method for determining the rigidity of a machine assembly

The presented method has a number of disadvantages:

- Static loading, does not give a complete parameter of the processes occurring in the technological system;
- The research process takes a long time;
- Low accuracy of load nodes;
- The need for a separate study for each node of the technological system.

2) Method for diagnosing the spindle unit.

The essence of the invention consists in the following: the test mode of the machine is selected, then the machining of the central part of the special mandrel is performed by the cutter. The displacement sensors are located in the cross section of the mandrel. The signal is fed into the equipment to amplify the conversion and into the adapted software of the personal computer. In the program interface, the axis of the special mandrel is plotted in two sections. During the movement, the cutting bladed cutter describes the curve on the surface of the special mandrel. The resulting curve forms a "geometric image" of the processed segment. The software creates a "geometric image" on the screen. The accuracy parameters of the processed mandrel are determined in accordance with the constructed image. The system of work is presented in Figure 2.3.

The main disadvantages of this device are:

- Loading in the radial direction;
- The complexity of the installation;
- Great laboriousness.

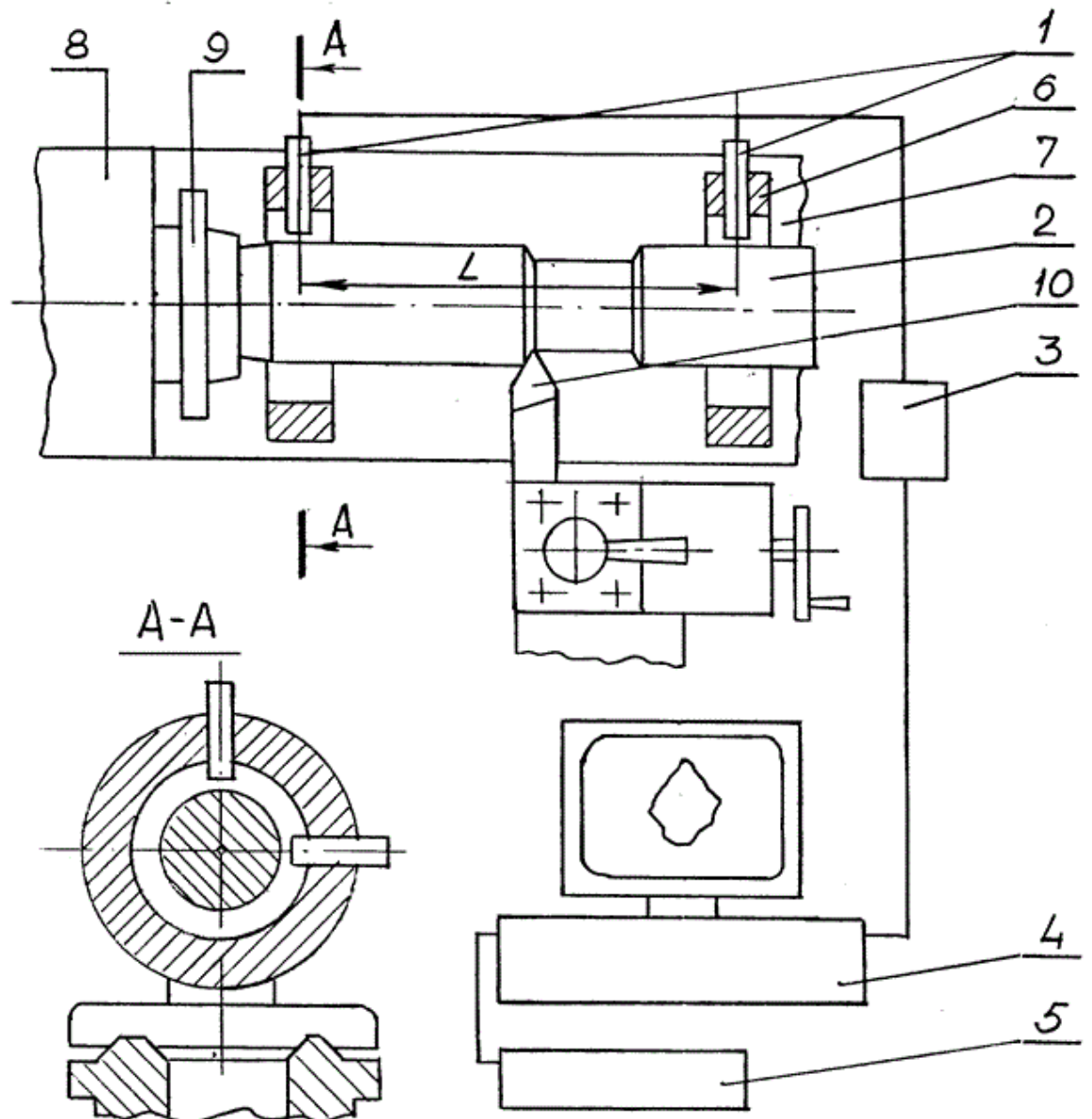


Figure 2.2. Method for diagnosing the spindle unit

3) A device for determining the radial dynamic stiffness of spindle knots of metal cutting machines.

Summary of the invention. A special mandrel is installed in the machine spindle unit, which is loaded with a pneumatic cylinder. From the rod of the pneumatic cylinder to the special mandrel through the stock is transferred the load. Compressed air is fed to the cushion through the channel in the pneumatic cylinder, so that the aerostatic force develops between the stock and the rim. Due

to the aerostatic load of the mandrel, the gap is constantly maintained. The loading of the special mandrel can be permanent or changed in accordance with the established law. The accuracy of the load is monitored and corrected by a feedback sensor. The dynamic radial stiffness is measured with the help of non-contact sensors.

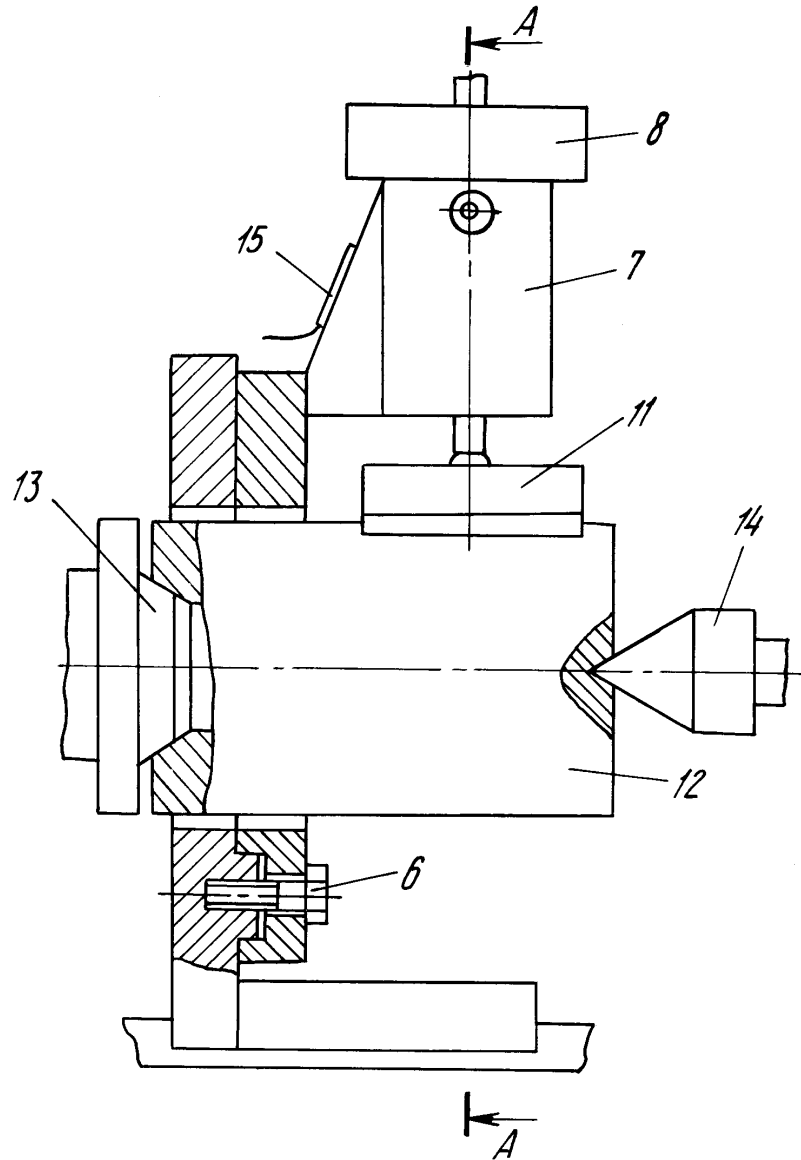


Figure 2.4. A device for determining the radial dynamic stiffness of spindle knots of metal cutting machines. View A.

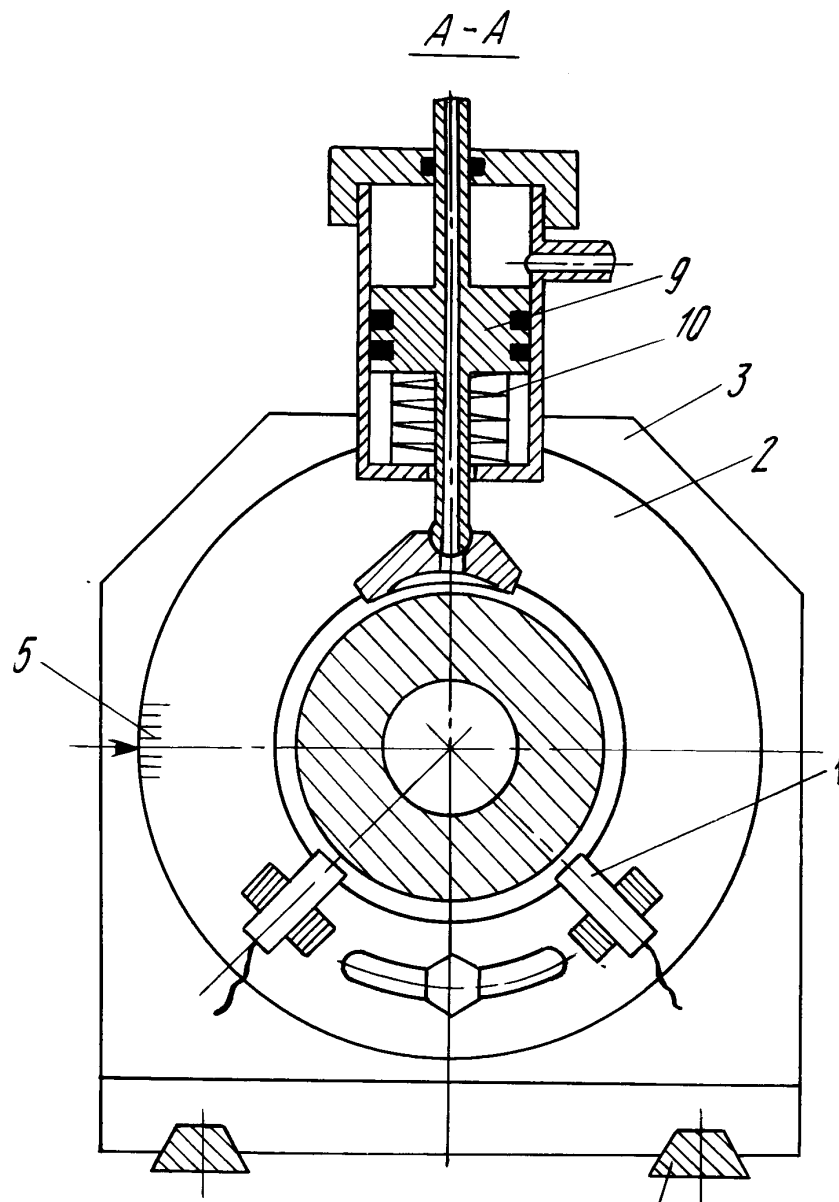


Figure 2.5. A device for determining the radial dynamic stiffness of spindle knots of metal cutting machines. View B.

The main disadvantages of this device are:

- Large device size;
- the need for a pneumatic system in the store;
- The complexity of the installation;

4) A method for diagnosing the relative position and rigidity of tools in boring operations in terms of the accuracy of the parts being machined.

Summary of the invention. Before the processing begins, the cross section and the values of the workpiece beating are measured, as well as the size and profile of the workpiece and the surface of the workpiece base. Then the workpiece is processed, the profile is measured in two sections. When the workpiece is fixed, the position of the measurement points relative to the clamping elements of the process system is fixed. After processing, the surface is measured strictly at the starting points. The measurement results determine the position of the tool rotation axis relative to the axis of the clamping elements of the process system. The mockups of the measurement points are shown in Fig. 2.6. - 2.8.

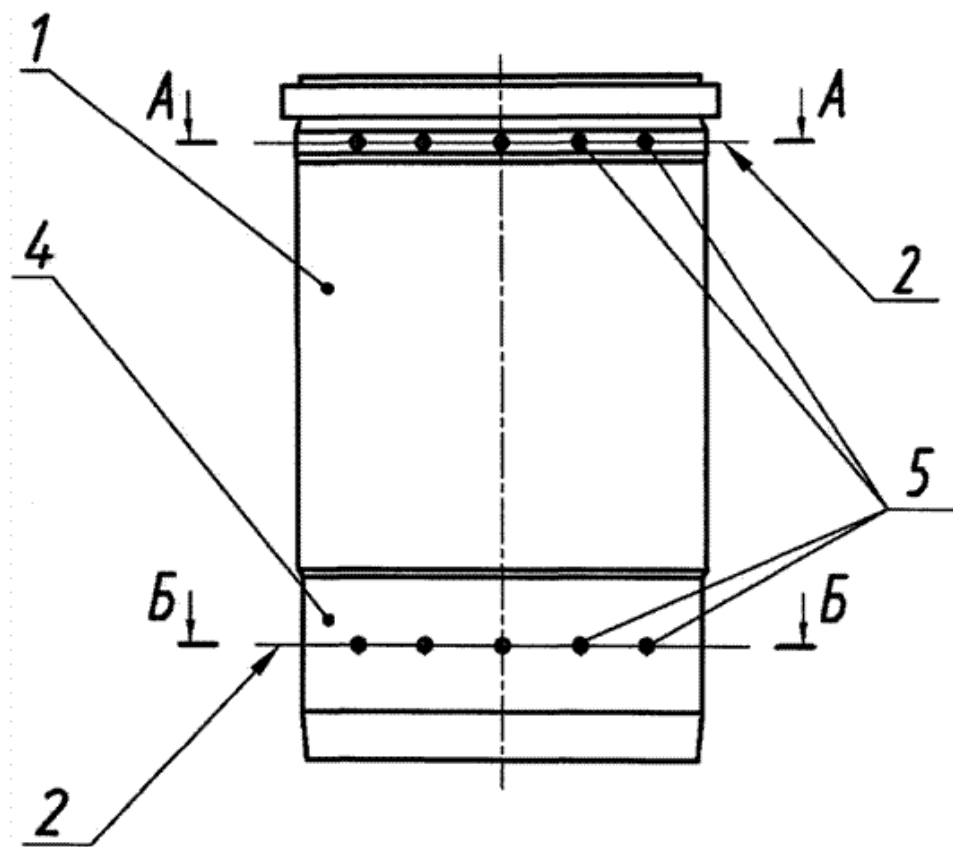


Figure 2.6. Layout of the workpiece.

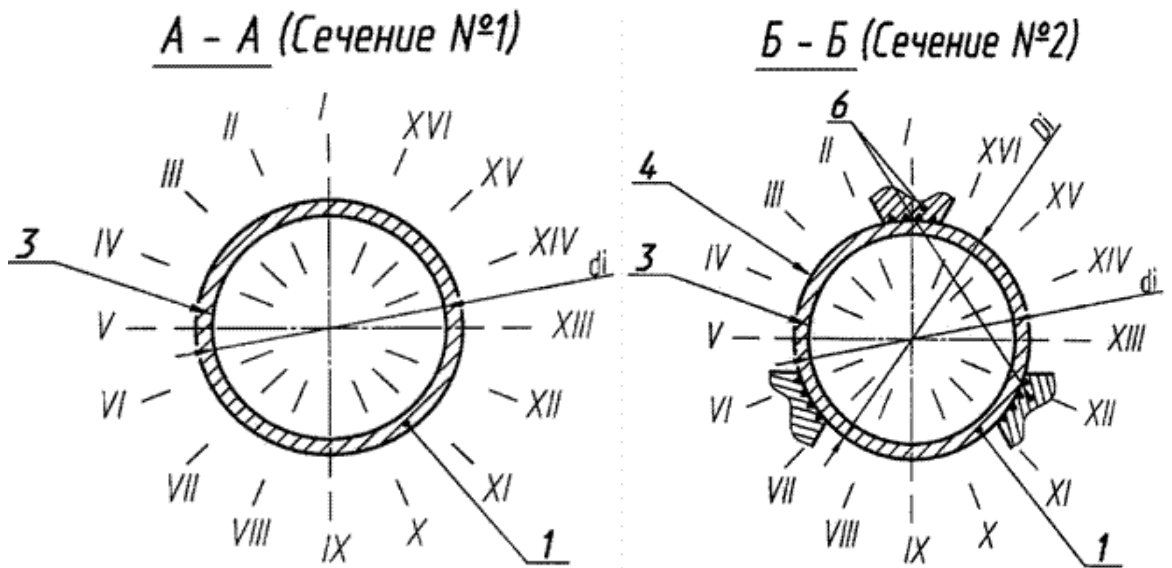


Figure 2.7. Section AA and Section B-B.

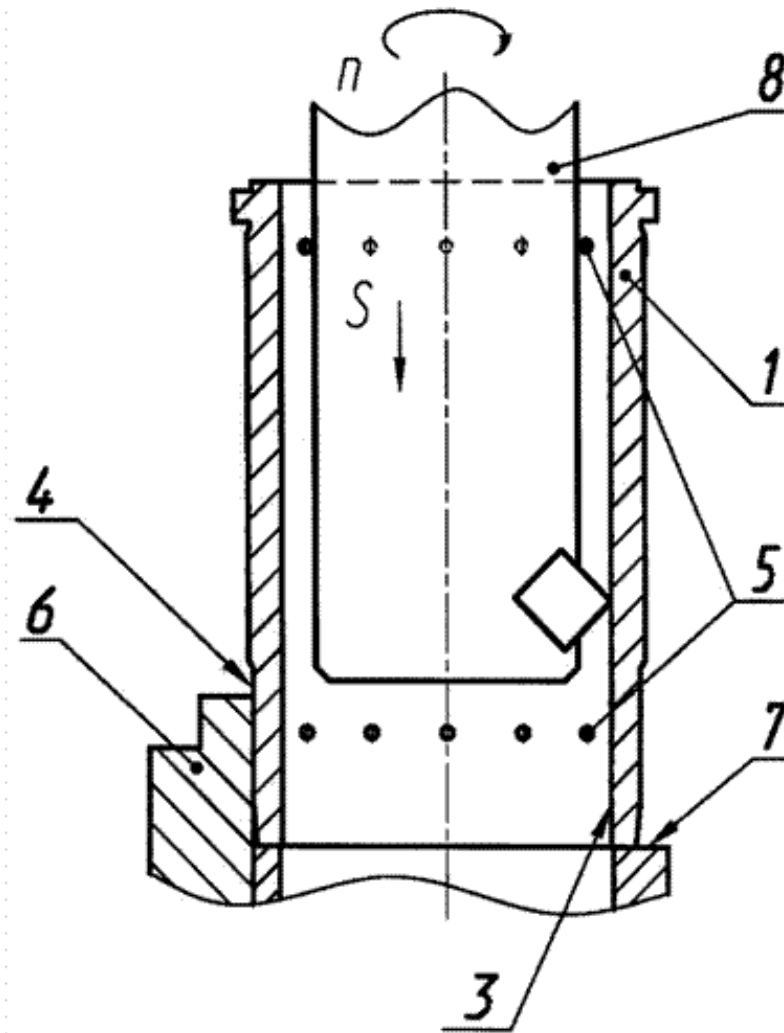


Figure 2.8. Scheme of processing the workpiece during the drilling operation.

The main disadvantages of this device are:

- Loading in the radial direction;
- The complexity of the installation;
- Great laboriousness.

5) Method for determining the rigidity of the technological system of a circular CNC grinding machine.

Summary of the invention. The blank is measured during processing with the active diameter control device, whose signal is fed to the controller and using the analog-to-digital converter, the actual resolution for deletion is envelope of metal. The rigidity of the technological system, in turn is determined on the basis of the calculated value of the radial component of the cutting force and the difference between the calculated and actual envelope of metal to the formula:

$$I_{\phi} = \frac{P_y}{(\Pi_p - \Pi_{\phi})} \quad (2.1)$$

Where: I_{ϕ} - Rigidity of the technological system, N / m;

P_y - Calculated value of the radial cutting force, N;

Π_p - Estimated envelope of metal;

Π_{ϕ} - Actual envelope of metal.

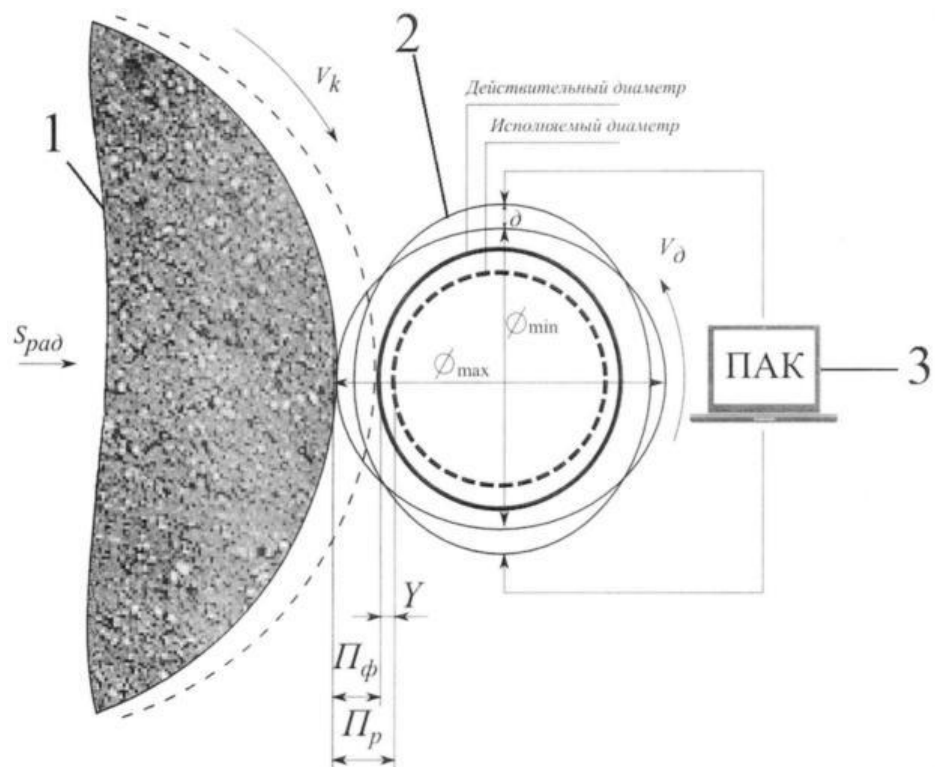


Figure 2.9. Method for determining the rigidity of the technological system of a cylindrical grinding machine with numerical control.

The main disadvantages of this device are:

- different strength of the grinding wheel in diameter;
- expensive equipment;
- Great laboriousness;

On the basis of the review, the following conclusion can be drawn: existing methods are difficult to apply, labor-intensive, expensive from the financial and resource side, in addition, they do not take into account the presence of three technology axes, which leads to a high error in researching.