

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский институт)
Политехнический институт
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензет

_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

В.И.Гузеев

_____ 2019 г.

Силы резания при ротационном фрезеровании

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР

Нормоконтролер

М.Ю. Попов

_____ 2019 г.

Руководитель, к.т.н., доцент,

С.Д. Сметанин

_____ 2019 г.

Автор работы

студент группы П-261

А.С. Золотарев

_____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Золотарев А.С. «Силы резания при ротационном фрезеровании» – Челябинск ЮУрГУ, П - 261, 73 с., 111 илл., 4 табл.

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены способы измерения силы резания при обработке фрезерованием, рассмотрены особенности ротационного фрезерования. Была разработана методика проведения экспериментального исследования сил резания при ротационном фрезеровании, описана экспериментальная установка. Были составлены диаграммы зависимости составляющих сил резания при ротационном фрезеровании, был проведён анализ результатов экспериментального исследования. Также был проведён анализ экономической эффективности обработки методом ротационного фрезерования.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР				
<i>Из</i>	<i>Лист</i>	<i>№</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>					
<i>Разраб.</i>	Золотарев				<i>Литер</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Провер.</i>	Сметанин								
<i>Рук</i>					Силы резания при				
<i>Н</i>		Попов			ротационном фрезеровании				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	ЮУрГУ – 15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР		ЮУрГУ Кафедра ТАМ.		<i>Лист</i>
<i>Утв.</i>		Гузев							2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ	6
1.1 Способы измерения силы резания при обработке фрезерованием.....	6
1.2 Особенности ротационного фрезерования.....	9
1.3 Кинематика ротационного фрезерования.....	11
1.4 Выводы по разделу	12
1.5 Факторы актуальности	13
1.6 Цель и задачи ВКР	14
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ.....	16
2.1 Методика проведения экспериментальных исследований сил резания при ротационном фрезеровании.....	16
2.2 Описание экспериментальной установки.....	18
2.2.1 Описание динамометра Kistler 9257В.....	23
2.3 Диаграммы зависимости составляющих силы резания при ротационном фрезеровании.	29
2.4 Анализ результатов экспериментального исследования	60
2.5 Выводы по разделу	61
3 АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ РОТАЦИОННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ.....	62
3.1 Влияние основных факторов обработки на экономическую эффективность	63
3.2 Анализ результатов экспериментального исследования с точки зрения экономической эффективности.....	65
3.3 Выводы по разделу	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	73

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

ВВЕДЕНИЕ

Повышение стойкости режущего инструмента достигается благодаря применению новых инструментальных материалов и методов их упрочнения, оптимизации рабочих углов режущего инструмента, использованию новых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и способов подачи их в зону резания.

Однако традиционные методы повышения стойкости режущего инструмента уже исчерпали себя и назрела необходимость их коренного изменения, а также разработки методов резания, основанных на новых принципах взаимодействия режущих элементов инструмента с материалом обрабатываемого изделия.

К числу таких прогрессивных методов обработки относится метод ротационного фрезерования. Он основан на замене традиционного трения скольжения между рабочими поверхностями режущего элемента и обрабатываемым материалом трением качения. Это достигается оснащением ротационного инструмента вращающейся чашкой, у которой режущая кромка имеет форму окружности, что позволяет осуществить ее непрерывное дополнительное вращение вокруг собственной оси. Оно может совершаться принудительно от специального привода или под действием сил трения от сходящей стружки и в контакте инструмента с деталью.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение производительности обработки на основе учёта сил резания при ротационном фрезеровании.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести обзор способов измерения сил резания при обработке фрезерованием;
- изучить особенности ротационного фрезерования;

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

- разработать методику проведения экспериментального исследования сил резания при ротационного фрезерования;
- проанализировать полученные результаты эксперимента;
- произвести анализ экономической эффективности обработки деталей методом ротационного фрезерования.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1 Способы измерения силы резания при обработке фрезерованием

Известно несколько принципиальных методов измерения силы резания.

Основными из них являются [1]:

- метод уравнивания. Из механики известно, что сила является причиной, обуславливающей ускорение движения тела. Следовательно, единственно прямой и наиболее точный метод измерения силы сводится к определению ускорения. При этом можно использовать метод уравнивания (метод весов), при котором измеряемую силу сравнивают с другой силой, направленной противоположно измеряемой, в момент равновесия. В этом случае ускорение равно нулю. На точность данного метода влияет только трение в шарнирах измерительного устройства. Данный метод обеспечивает высокую точность определения крутящего момента. Необходимость учёта потерь на трение в скользящих или вращающихся звеньях станка является органическим недостатком метода уравнивания. Он пригоден лишь для измерения крутящего момента при обработке отверстий. Применение этого способа для определения силы резания при фрезеровании не оправдывается из-за низкой точности измерения;
- метод торможения. Заключается в измерении крутящего момента при помощи тормозных устройств, относящихся к наиболее простым средствам определения силы резания и коэффициента полезного действия станка. Измеряют крутящий момент в два приема. Вначале производят обработку, регистрируя при этом, например, с помощью амперметра силу тока электродвигателя станка. Затем на шпиндель станка устанавливают тормоз с силоизмерительным устройством. Не меняя скорости вращения шпинделя, тормоз нагружают до тех пор,

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

пока амперметр, включенный в цепь электродвигателя, не покажет ту же нагрузку, что и при обработке. После этого по отсчетному устройству сил измерителя вычисляют крутящий момент при торможении, который с известным приближением равен крутящему моменту в процессе резания. Преимущество этого старого метода в простоте устройства, не требующего специальной дорогостоящей аппаратуры. Его недостаток – неточность показаний, так как с помощью торможения можно определить только значение окружной (тангенциальной) составляющей силы резания. Радиальная и осевая составляющие не учитываются;

- метод определения составляющих силы резания по расходуемой мощности. Является косвенным и отличается простотой. С помощью ваттметра измеряют мощность, потребляемую электродвигателем станка. По затраченной мощности определяют вначале мощность резания, а затем окружную (тангенциальную) силу. Однако для применения этого метода необходимо знать коэффициент полезного действия станка и электродвигателя при разных режимах работы, что требует дополнительных исследований. Кроме того, этим методом, как и методом торможения, можно определить только окружное усилие. Такой метод дает лишь приблизительные результаты при измерении составляющих силы резания;
- метод пластической деформации образца. При использовании этого метода составляющие силы резания измеряют следующим образом. Между передающей системой динамометра» оканчивающейся стальным шариком, и его опорной плоскостью вставляют эталонную пластинку из относительно мягкого металла (цинк, свинец, медь, мягкая сталь). Во время испытания сила перемещает или поворачивает передающую систему и шарик оставляет отпечаток на эталонной пластинке. Для определения силы, действовавшей при

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

резании, необходимо вынуть пластинку и измерить диаметр отпечатка. В этом случае по степени пластической деформации эталона вычисляют среднее значение силы. Такой метод оценки даёт некоторое осредненное значение неоднородной пластической деформации в поверхностном слое у дна надреза. Недостатком является то, что приходится ограничиваться оценкой пластической деформации поверхностных слоёв металла;

- метод упругой деформации. Основан на измерении упругих деформаций рабочего элемента динамометра под действием силы. Эти деформации передаются преобразователям (датчикам), в которых возникают различные механические, гидравлические, пневматические, магнитные и электрические явления. Анализ этих явлений даёт точное представление о силах, возникающих в процессе обработки. Одной из «сложностей этого метода является определение искомой силы по значению упругой деформации рабочего упругого элемента динамометра. Однако этот недостаток может влиять на точность измерения лишь в том случае, когда нарушается линейная зависимость между деформацией и силой;
- графический метод. При графическом методе данные экспериментов наносят на двойную логарифмическую сетку и по углу наклона прямой к оси абсцисс и отрезку, отсекаемому на оси ординат, находят степенную функцию. Например, требуется установить зависимость силы P от глубины резания и подачи s при обработке данной стали. Для этого проводятся две серии опытов с измерением сил резания одна – при переменной глубине резания и постоянной подаче, вторая — при переменной подаче и постоянной глубине резания. Обе серии опытов проводят инструментами одинаковой геометрии и при прочих одинаковых условиях;

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- метод непосредственного измерения сил резания при помощи динамометров. В настоящее время наиболее распространен. Динамометры имеют три основные части датчики, воспринимающие нагрузку приемники, регистрирующие нагрузку органы связи, соединяющие датчики и приемники. Наибольшее распространение получили электрические динамометры. Принцип действия их основан на изменении параметров электрической цепи (омического сопротивления, индуктивности, емкости и т.д.) под действием сил резания. Преимущества электрических динамометров следующие: высокая чувствительность, малые габариты и масса, возможность измерения малых величин составляющих силы резания, практическая безынерционность, что позволяет исследовать быстротекущие процессы.

1.2 Особенности ротационного фрезерования

С появлением многофункциональных станков, позволяющих согласовать угловую подачу заготовки и линейную подачу заготовки, стало возможным реализовать так называемое ротационное фрезерование – фрезерование поверхности детали при её вращении вокруг собственной оси. Этот способ обработки не нов, но из-за технологических сложностей его реализации на универсальных станках он применялся в исключительно редких случаях. Преимуществом этого способа обработки является возможность получить сложный наружный профиль детали, которая лишь условно может быть отнесена к телам вращения, полностью за один переход без переустановки. Такой способ обработки применим к деталям с эксцентрическим профилем, при обработке тяжелых и некруглых валов, шеек коленчатых валов, тормозных колодок и т. д.

Несмотря на кажущуюся простоту, процесс ротационного фрезерования сложнее, чем может показаться на первый взгляд: качество обработанной поверхности, точность формы, во многом зависит от корректности назначаемых параметров технологической наладки и режущего инструмента, таких как

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

величина смещения фрезы, диаметр фрезы, главный и вспомогательный углы в плане. Отдельно следует остановиться на последовательности перемещения фрезы относительно заготовки. Фреза должна врезаться в заготовку, перемещаясь в радиальном направлении. Окружная скорость рабочей подачи заготовки в первом приближении выбирается в соответствии с рекомендуемой подачей на зуб при торцовом фрезеровании. Отвод фрезы производится в осевом направлении.

Метод ротационного резания материалов основан на замене традиционного трения скольжения между рабочими поверхностями режущего элемента и обрабатываемым материалом трением качения. Это достигается оснащением ротационного инструмента вращающейся чашкой, у которой режущая кромка имеет форму окружности, что позволяет осуществить ее непрерывное дополнительное вращение вокруг собственной оси. Оно может совершаться принудительно от специального привода или под действием сил трения от сходящей стружки и в контакте инструмента с деталью.

Режущая чашка закрепляется на вращающемся элементе ротационного инструмента, которым чаще всего является шпиндель. Режущая кромка выполнена, как правило, в виде окружности и образуется путем заточки рабочих поверхностей (передней и задней) инструмента под определенными углами.

Методом ротационного резания могут обрабатываться наружные и внутренние поверхности, имеющие форму тел вращения – цилиндрические, конические, фасонные, а также торцовые.

В случае обработки ротационным резанием плоскости рабочее движение (вращение) сообщается корпусу ротационной фрезы, в котором под определенными углами установлены ротационные резцы таким образом, чтобы режущие чашки в процессе резания непрерывно вращались от взаимодействия с обрабатываемой плоскостью изделия. Движение подачи сообщается изделию в направлении, перпендикулярном оси вращения ротационной фрезы.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1.3 Кинематика ротационного фрезерования

Кинематические параметры процесса ротационного резания определяют его основные особенности и закономерности, условия стружкообразования, качество обработки, работоспособность режущего инструмента, являются исходными для выбора режимов резания и геометрии инструмента.

Рассмотрение вопросов кинематики начнем с анализа принципиальных кинематических схем. Основоположником учения о кинематике резания Г. И. Грановским [7] предложена классификация кинематических схем обработки резанием. Созданная академиком АН БССР Е. Г. Коноваловым теория формообразования поверхностей позволила создать единую классификацию различных технологических процессов. Все кинематические схемы резания разбиты на VIII групп в зависимости от сочетания, количества и вида составляющих формообразующих движений [8]. В соответствии с этой классификацией к IV группе относятся схемы обработки, характеризуемые одним вращательным и одним прямолинейным движениями. К этой группе относятся такие способы обработки ротационным резанием, как долбление, протягивание и строгание, причем лишь последний из них нашел практическое применение.

По кинематической схеме резания V группы работает специальный резец для подрезки торцов труб. Припуск снимается за один оборот резца, а глубина резания устанавливается высотой винтовой спирали с калибрующим участком.

Большинство ротационных инструментов работает по схемам VII группы, в этом случае одно из двух вращательных движений сообщается режущей части инструмента, а другое — либо инструменту (фрезерование), либо детали (точение, растачивание). Совокупность этих вращений и определяет сложное формообразующее движение. Движение подачи в таких схемах является прямолинейным. Практическое применение нашла лишь небольшая часть кинематических схем резания VII группы. Эти схемы показаны на рисунке 1.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

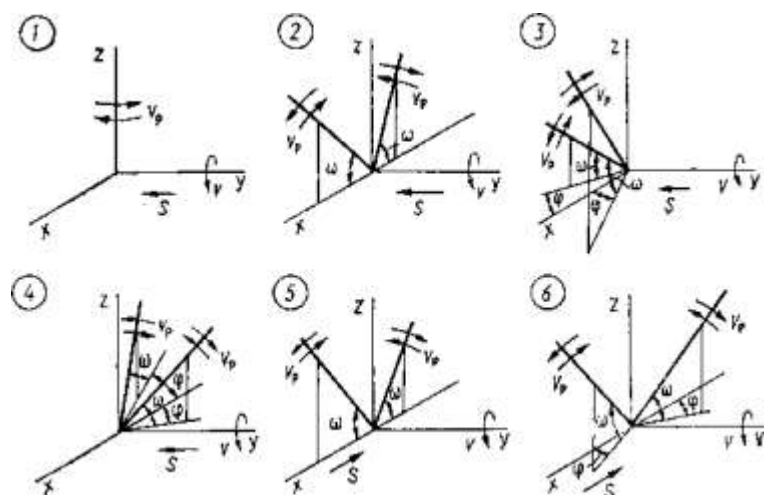


Рисунок 1 – Кинематические схемы резания VII группы, реализованные в ротационном режущем инструменте

Схема 1 реализована в конструкциях токарного ротационного инструмента с принудительным приводом, схема 2 — в токарном само- и принудительно-вращающемся инструменте по первой геометрической схеме ротационного резания, а также при зенкеровании. Схемы 3, 4 использованы при разработке токарных и расточных ротационных резцов, установленных по второй геометрической схеме ротационного резания. Схемы 5, 6 использованы при разработке торцовых фрез с вращающимися режущими пластинами. Кинематика процесса ротационного резания влияет на динамические процессы ротационного резания.

1.4 Выводы по разделу

1. Рассмотрены способы измерения сил резания при ротационном фрезеровании. Были рассмотрены шесть методов измерения силы резания:

- метод уравнивания;
- метод торможения;
- метод определения составляющих силы резания по расходуемой мощности;
- метод пластической деформации образца;
- метод упругой деформации;

- метод непосредственного измерения сил резания при помощи динамометров;
- графический метод.

После рассмотрения различных методов измерения силы резания, был выбран метод непосредственного измерения сил резания при помощи динамометров. Для проведения исследования выбор был остановлен на электрических динамометрах.

2. Рассмотрены особенности и кинематика процесса ротационного фрезерования. Несмотря на кажущуюся простоту, процесс ротационного фрезерования сложнее, чем может показаться на первый взгляд: качество обработанной поверхности, точность формы, во многом зависит от корректности назначаемых параметров технологической наладки и режущего инструмента, таких как величина смещения фрезы, диаметр фрезы, главный и вспомогательный углы в плане.

1.5 Факторы актуальности

Повышение производительности режущего инструмента достигается благодаря применению новых инструментальных материалов и методов их упрочнения, оптимизации рабочих углов режущего инструмента, использованию новых смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и способов подачи их в зону резания.

Однако традиционные методы повышения производительности режущего инструмента уже исчерпали себя и назрела необходимость их коренного изменения, а также разработки методов резания, основанных на новых принципах взаимодействия режущих элементов инструмента с материалом обрабатываемого изделия.

К числу таких прогрессивных методов обработки относится метод ротационного фрезерования. Он основан на замене традиционного трения скольжения между рабочими поверхностями режущего элемента и

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обрабатываемым материалом трением качения. Это достигается оснащением ротационной фрезы вращающейся чашкой, у которой режущая кромка имеет форму окружности, что позволяет осуществить ее непрерывное дополнительное вращение вокруг собственной оси. Оно может совершаться принудительно от специального привода или под действием сил трения от сходящей стружки и в контакте инструмента с деталью.

Способ ротационного фрезерования материалов обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами обработки материалов резанием. Благодаря большой длине круговой режущей кромки лезвия, непрерывному вращению его во время работы, обеспечивающему прерывистость и кратковременность работы каждого его участка, хорошим условиям его охлаждения лезвия за время холостого пробега и значительно меньшей истинной скорости резания по сравнению со скоростью главного движения температура в зоне резания при обработке ротационным инструментом по сравнению традиционным снижается до 40%.

Однако из-за отсутствия в литературе данных по динамическим процессам ротационного фрезерования было принято решение провести экспериментальное исследование динамики ротационного фрезерования.

1.6 Цель и задачи ВКР

Целью выпускной квалификационной работы является повышение производительности обработки на основе учёта сил резания при ротационном фрезеровании.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести обзор способов измерения сил резания при обработке фрезерованием;
- изучить особенности ротационного фрезерования;
- разработать методику проведения экспериментального исследования сил резания при ротационном фрезеровании;

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

- проанализировать полученные результаты эксперимента;
- провести анализ экономической эффективности обработки деталей методом ротационного фрезерования.

Направленность ВКР: теория резания (наука). Объект исследования: ротационное фрезерование.

Предмет исследования: силы резания при ротационном фрезеровании.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ.

2.1 Методика проведения экспериментальных исследований сил резания при ротационном фрезеровании

Стойкость инструмента зависит от сил резания. Чем выше силы резания, тем ниже стойкость инструмента. Принято решение провести экспериментальное исследование сил резания при ротационном фрезеровании, по результатам которого будет проведён анализ экономической эффективности. С помощью экспериментальной установки была измерена сила резания в 29 опытах. Данные были представлены в виде графика, отражающего зависимость силы резания от времени измерения. В процессе проведения экспериментального исследования будут изменяться следующие параметры обработки: λ – угол наклона режущей кромки, S – подача, t – глубина фрезерования, n – частота вращения шпинделя, которая ограничена возможностью фрезерного станка СФ-15. Угол наклона режущей кромки изменяется в пределах от 10 до 70°. Подача в процессе экспериментального исследования принимает значения 20, 50, 100 мм/мин. Для обработки заготовки выбрана глубина фрезерования 1, 1,75, 3 мм. Частота вращения шпинделя в процессе экспериментального исследования будет устанавливаться на значения 200, 315, 500 об/мин.

Типовой график зависимости составляющей силы резания P от времени представлен на рисунке 2.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

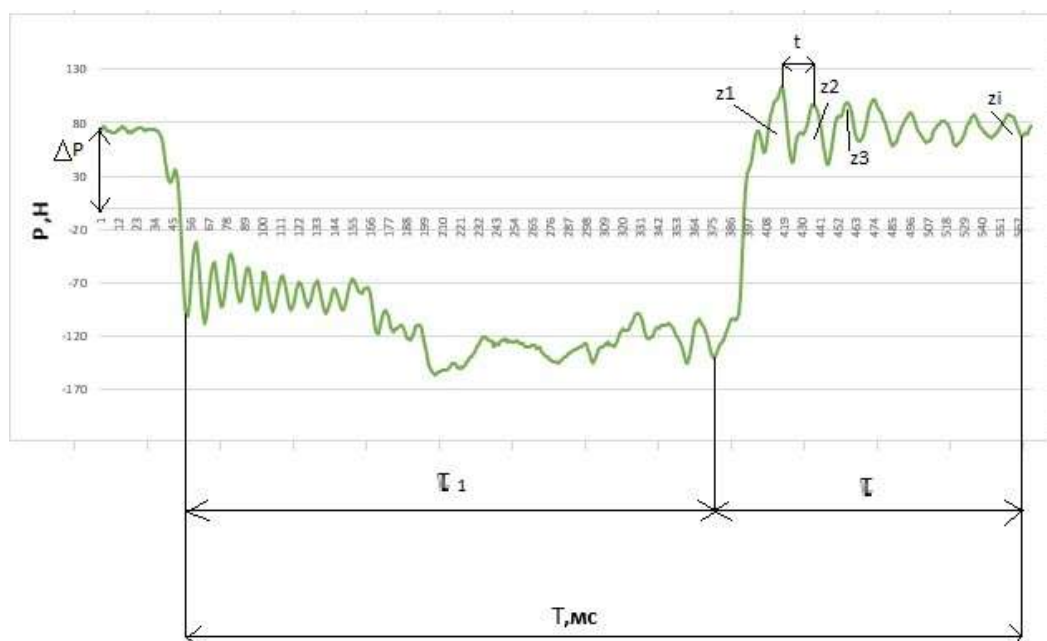


Рисунок 2 – Типовой график зависимости составляющей силы резания P от времени

T – суммарное время проведения измерения.

t_1 – время, при котором режущий блок не находится в контакте с заготовкой. Этот период времени характеризуется затухающими колебаниями.

τ – время контакта режущего блока с заготовкой. Характеризуется резким увеличением силы резания и последующим периодическим изменением силы резания.

t – время контакта зуба фрезы с заготовкой. Характеризуется периодическим изменением силы резания. Отсюда можно выяснить сколько зубьев были на дуге контакта с заготовкой.

ΔP – разница между значением составляющей силы резания в момент начала контакта ротационной фрезы с заготовкой и нулевым уровнем. Величина ΔP получается из-за того, что начало измерения ведётся уже при наличии определённого значения силы резания (рисунок 2).

Обработка методом фрезерования имеет прерывистый характер резания. После контакта режущего элемента с заготовкой в технологической системе начинаются колебания, вызванные действием силы резания на заготовку. После

отвода режущего элемента от заготовки колебания уменьшаются, но не затухают, т.к. на технологическую систему по инерции продолжают действовать колебания. Затем в процесс резания вступает следующий режущий элемент колебания в технологической системе вновь усиливаются и т.д. Зная время первого контакта режущего элемента с заготовкой момент времени при втором касании режущего элемента с заготовкой, можно вычислить период времени изменения колебаний и затем измерить динамометром силу резания, которая вызывает данные колебания в технологической системе. Колебания при изменении частоты вращения будут разными, поэтому отличаться будет и диаграмма. Для анализа результатов необходимо наложить друг на друга данные диаграммы и проанализировать их расхождение.

2.2 Описание экспериментальной установки

Для изучения сил резания при обработке способом ротационного фрезерования была подготовлена установка (рисунок 3), которая состоит следующих элементов: ротационная фреза 1, режущий блок 2, заготовка 3, динамометр Kistler 9257B 4, соединенный с усилителем 5070A01110 5 (рисунок 4), персональный компьютер 6 (рисунок 5) со специальным программным обеспечением «Kistler DynoWare» для фиксации показаний динамометра. Главным элементом ротационной фрезы является режущий блок. Режущий блок состоит из гладкого режущего элемента и зубчатого режущего элемента (рисунок 6). Измерения проводились на вертикально-фрезерном станке СФ15 (Рисунок 7). В качестве заготовки использовался металлический брусок из стали 40 и брусок из капролона. Высокая жесткость крепления динамометра к столу станка, что важно для качества полученных данных, обеспечивалась четырьмя стальными прихватами 7.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18



Рисунок 3 – Экспериментальная установка



Рисунок 4 – Усилитель 5070A01110

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

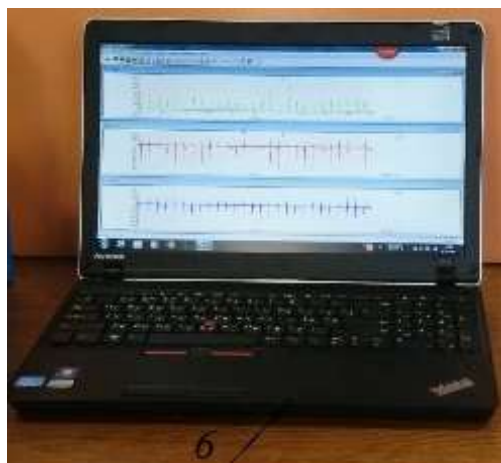


Рисунок 5 – персональный компьютер со специальным программным обеспечением «Kistler DynoWare»



Рисунок 6 – Режущий блок



Рисунок 7 – Станок СФ15

Динамометр представляет собой плиту с резьбовыми отверстиями для крепления заготовки. На заготовке выполняется два отверстия с межцентровым расстоянием 100 мм для крепления ее к динамометру с помощью винтов. К динамометру с помощью установочных винтов крепится заготовка. Динамометр

Kistler 9257B позволяет фиксировать составляющие силы резания по трем ортогональным составляющим (X, Y, Z) вне зависимости от места ее приложения. Для усиления и преобразования сигнала применяется усилитель-преобразователь Kistler 5070A01110, передающий данные на персональный компьютер с программным обеспечением DynoWare, обеспечивающим их визуализацию, документирование и хранение. Данные представлены в виде графика.

DynoWare – программное обеспечение, предназначенное для сбора и обработки данных. Также имеется программный пакет для измерения силы резания, крутящего момента и т.д. Является продуктом компании Kistler, т.е. программное обеспечение полностью совместимо с динамометром. DynoWare представлена в виде и диалоговых окон и графиков. Панель меню является доступом ко всем областям DynoWare. Панель разделена на секции, показывающие определенные функции, такие как файл обработка, конфигурация сбора данных, конфигурация аппаратных средств, просмотр данных, контроль окна и получение помощи. В дополнение к панели меню существует подробная панель инструментов к найденным в обработке текста и электронной таблице программы. Панель инструментов состоит из символов, выполняющих определенные функции. Выборка, уровень и продолжительность испытаний удобно располагаются и легкодоступны. Единицы измерения данных могут быть настроены к требуемым физическим величинам. Графики разработаны так, чтобы их было легко читать и легко настраивать. Программное обеспечение DynoWare позволяет записывать и графически отображать силу резания и крутящий момент. Программное обеспечение может также использоваться для других задач измерения. На карте сбора данных доступны 28 каналов для измерения. Программное обеспечение поддерживает карты сбора данных по шине PCI, устанавливаемой в персональный компьютер или ноутбук. В ПО DynoWare при определении силы резания можно задать разную плотность измерений вследствие чего будет отличаться длительность измерений (рисунок 8).

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

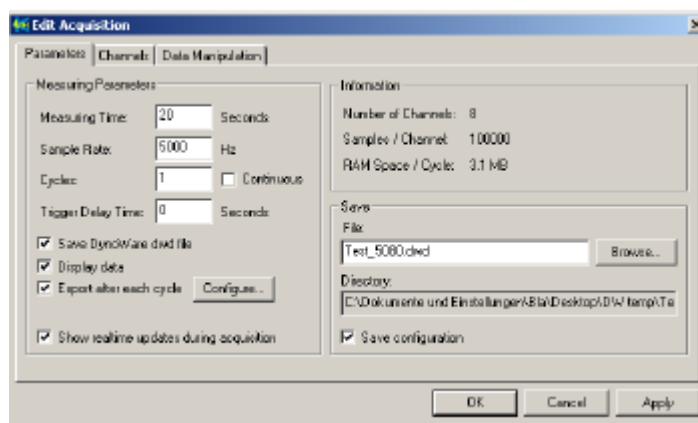


Рисунок 8 – График изменения составляющих сил резания

Плотность измерений характеризуется количеством замеров за промежутки времени измерения. Чем больше плотность измерения, тем более достоверным получается график. Однако высокая плотность измерений приводит к большому размеру файла, что затрудняет чтение данного файла, а также дальнейшую обработку и анализ результатов исследования. Оптимальным промежутком измерений являются 2 секунды, т.к. за это время фреза совершает несколько оборотов (~10 оборотов), что позволяет получить более достоверные данные о измеряемом процессе.

Схема измерений с помощью экспериментальной установки представлена на рисунке 9.

В состав экспериментальной установки входит динамометр, заготовка, режущий блок, который состоит из гладкого и зубчатого режущих элементов. В процессе проведения экспериментального исследования будут изменяться следующие параметры обработки: λ – угол наклона режущей кромки, S – подача, t – глубина фрезерования, n – частота вращения шпинделя, которая ограничена возможностью фрезерного станка СФ-15. Угол наклона режущей кромки изменяется в пределах от 10 до 70°. Подача в процессе экспериментального исследования принимает значения 20, 50, 100 мм/мин. Для обработки заготовки выбрана глубина фрезерования 1, 1,75, 3 мм. Частота вращения шпинделя в процессе экспериментального исследования будет устанавливаться на значения 200, 315, 500 об/мин.

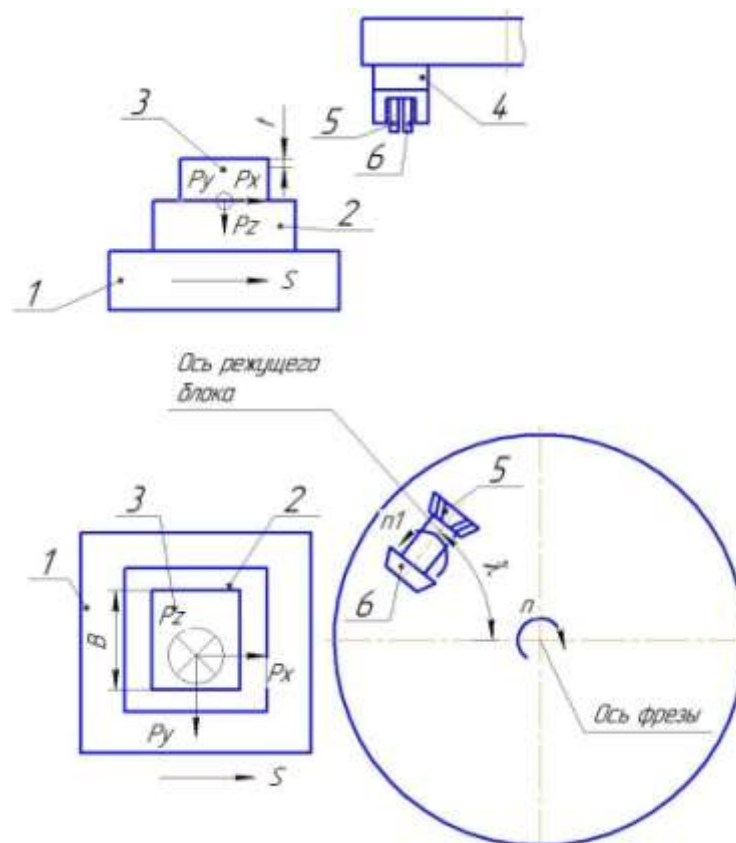


Рисунок 9 – Схема экспериментальной установки

1 – стол станка, 2 – динамометр, 3 – заготовка, 4 – режущий блок, 5 – зубчатый режущий элемент, 6 – гладкий режущий элемент, P_x , P_y , P_z – составляющие силы резания, S – подача, B – ширина заготовки, λ – угол наклона режущей кромки.

2.2.1 Описание динамометра Kistler 9257B

Основным элементом измерительной системы является трехкомпонентный динамометр фирмы Kistler (Швейцария), модель 9257B, внешний вид которого представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид динамометра модели 9257В

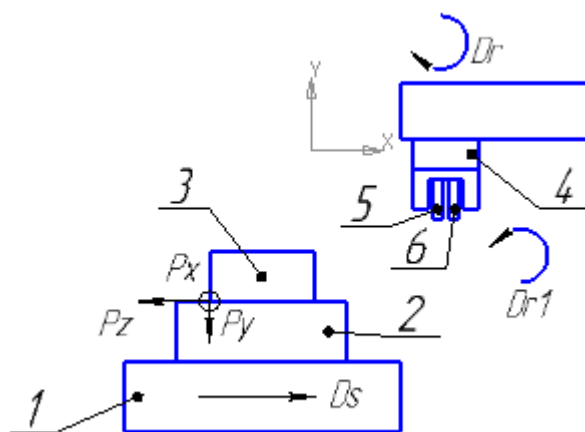


Рисунок 11 – Направление измерения составляющих сил резания

1 – стол станка, 2 – динамометр, 3 – заготовка, 4 – режущий блок, 5 – режущий элемент, 6 – гладкий элемент

Пьезоэлектрический принцип идеально подходит для создания многокомпонентных датчиков силы. Структура многокомпонентного датчика аналогична структуре однокомпонентного датчика, изображенной на рисунке 12. Используется пара кварцевых колец для определения силы в направлении оси Z и две дополнительные пары для определения поперечных сил. Многокомпонентные датчики силы, как правило, не используются отдельно, а устанавливаются совместно, в количестве от 3 до 4 штук, образуя динамометр.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 12 – Структура трехкомпонентного датчика силы и динамометра

Результирующая сила, действующая на динамометр пропорциональна алгебраической сумме соответствующих компонент отдельных сил, которые образуются в результате параллельного расположения, что отражено на рисунке 13. Таким образом, динамометр является многокомпонентным датчиком силы, независимым от точки ее приложения.

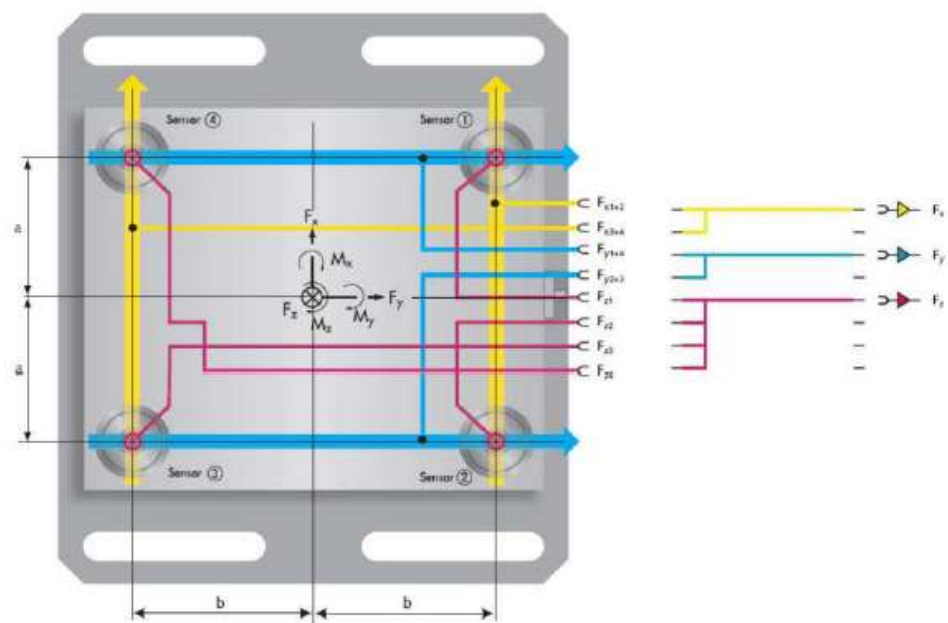


Рисунок 13 – Структура трехкомпонентного динамометра

Силы резания рассчитываются по следующим формулам:

$$F_x = F_{x1+x2} + F_{x3+x4}$$

$$F_y = F_{y1+y4} + F_{y2+y3}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Основным применением динамометра является: динамические и квазистатические измерения; силы резания при точении, фрезеровании, шлифовании и т.п.; аэродинамические испытания моделей.

Габаритные и присоединительные размеры указаны на рисунке 14

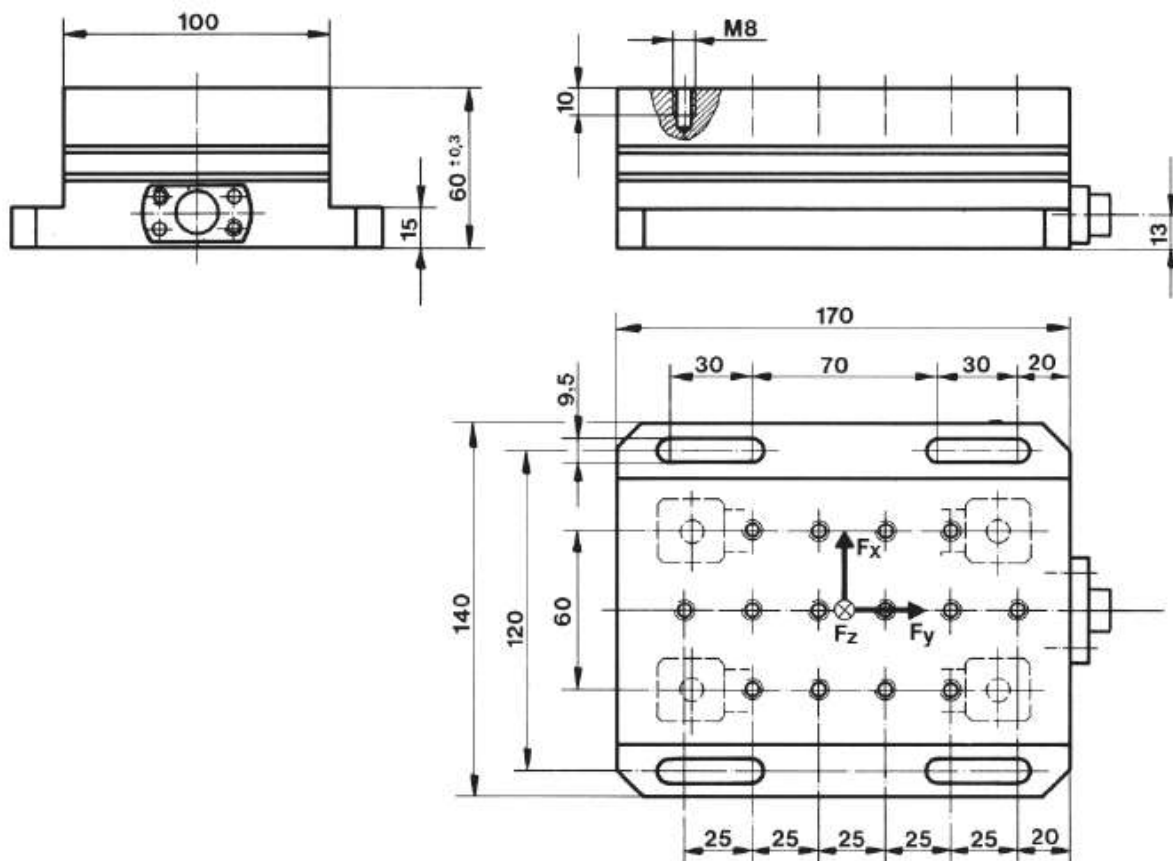


Рисунок 14 – Габаритные и присоединительные размеры динамометра

Динамометр модели 9257В имеет следующие преимущества: компактная конструкция, высокое разрешение, высокая жесткость и собственная частота, невосприимчивость к воздействию температуры, стойкость к коррозии, герметичность к проникновению СОЖ.

Технические данные динамометра представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные динамометра модели 9257В

Технические данные			Тип 9257В
Наименование	Обозначения	Единицы измерения	
Калибровка			Калиброван
Диапазон измерения	Fx, Fy, Fz	кН	±5,0
Чувствительность	Fx, Fy	пКл/Н	≈7,5
	Fz	пКл/Н	≈-3,7
Собственная частота	fnx, fny	кГц	≈2,3
	fnz	кГц	≈3,5
Диапазон рабочих температур		°С	От 0 до 70
Длина		мм	170
Ширина		мм	100
Высота		мм	60
Соединение			Fisher 9-контактный
Герметизация			Сварка/эпоксидная
Масса		кг	7,3

Для усиления и преобразования сигнала использовался 8-канальный усилитель-преобразователь типа 5070A01110, фирмы Kistler (Швейцария), внешний вид которого представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Внешний вид усилителя-преобразователя типа 5070A01110

6-канальная модификация предназначена для 6-компонентных измерений "сила-момент", в лабораториях, исследовательских учреждениях и конструкторских бюро.

Технические данные усилителя-преобразователя представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные усилителя-преобразователя типа 5070A01110

Технические данные		Тип 5070A01110
Наименование	Единицы измерения	
Диапазон измерения	пКл	От 200 до 200000 От -200000 до -200
Диапазон частот	кГц	От 0 до 45
Выходной сигнал	В	От -10 до 10
Питание	В	От 100 до 240
Интерфейс		RS-232C

Для сбора и анализа данных использовалось программное обеспечение DynoWare фирмы Kistler (Швейцария), версия 2.4.1.6.

Kistler DynoWare универсально и просто в применении и совместимо с динамометрами или одно- и многокомпонентными датчиками силы. При анализе сигнала DynoWare обеспечивает непрерывную визуализацию измеряемых кривых, а также имеет все необходимые математические и графические функции. Наряду с простой конфигурацией самых важных средств измерения, DynoWare поддерживает документирование измерительных процессов и хранение данных конфигураций и измерений.

Простое управление, настройка и контроль измерительных приборов Kistler посредством интерфейсов RS-232C или IEEE 488; мощные графические возможности; полезные функции для оценки и расчётов; одновременная регистрация данных до 6 измерительных каналов; а также для записи и оценки любых физических величин.

2.3 Диаграммы зависимости составляющих силы резания при ротационном фрезеровании.

На основе исходных данных, представленных в таблице 3, был проведён эксперимент, по окончании которого данные были собраны в сводную таблицу 4, по которой была составлена диаграмма величины составляющих силы резания в течении времени измерений, которое составляет 2 секунды.

Таблица 3 – Исходные данные

Параметры опытов:					
Ширина заготовки В = 98 мм					
Симметричная схема фрезерования:					
№	λ , град	t, мм	n, об/мин	S, мм/мин	Материал
1	10	1,75	315	50	Капролон
2	20	1,75	315	50	Капролон
3	30	1,75	315	50	Капролон
4	40	1,75	315	50	Капролон
5	50	1,75	315	50	Капролон
6	60	1,75	315	50	Капролон
7	30	1	200	20	Капролон
8	30	1	200	100	Капролон
9	30	1	500	100	Капролон
10	30	1	500	20	Капролон
11	30	3	200	20	Капролон
12	30	3	200	100	Капролон
13	30	3	500	100	Капролон
14	30	3	500	20	Капролон
15	30	3	315	100	Капролон
16	30	1	315	50	Сталь 40
17	10	1	315	50	Сталь 40
18	20	1	315	50	Сталь 40
19	30	1	315	50	Сталь 40
20	40	3	500	100	Сталь 40
21	50	3	500	100	Сталь 40
22	60	3	500	100	Сталь 40
23	70	3	500	100	Сталь 40
24	40	1	200	20	Сталь 40
25	40	1	200	20	Сталь 40
26	40	1	200	20	Сталь 40
27	40	1	200	20	Сталь 40
28	60	1	315	50	Сталь 40
29	70	1,75	315	50	Сталь 40

Полученные результаты представлены в сводной таблице 4

Таблица 4 – Сводная таблица результатов экспериментального исследования

№ п/п	Составляющая силы резания(ПИК),Н			Нулевой уровень, Н			Время контакта, мс	Шаг контакта, мс	Число зубьев
	Rx	Ry	Rz	ΔRx	ΔPy	ΔPz	T	τ	zi
1	96,74	59,21	-152,28	1,53	2,13	30	230	20	11,5
2	61,65	76,29	-130,61	3,05	2,89	33,26	238	16	6
3	86,82	70,04	-114,14	0,61	2,59	36,62	230	20	11,5
4	77,67	56,46	-65,31	5,95	3,36	54,93	214	10	12
5	72,48	67,59	-117,19	4,12	3,05	48,83	211	22	11
6	122,07	88,19	-255,74	0,92	2,44	31,74	91	20	4
7	59,21	12,97	40,59	8,69	7,78	82,39	154	18	9
8	138,55	43,18	-155,95	9,15	2,89	72,93	346	22	14
9	78,89	34,94	-60,73	9,76	5,34	75,99	137	16	7
10	37,84	12,66	46,99	11,59	0,15	78,73	136	18	7,5
11	90,64	24,72	-117,49	9,92	7,63	86,98	263	20	17
12	168,76	116,43	-325,01	28,83	9,5	208,13	142	21	4,5
13	230,25	62,71	-75,99	32,19	29,14	248,11	137	17	7
14	94,29	-19,07	180,66	34,18	26,25	244,75	132	9	13,5
15	688,93	456,85	-1808,5	33,87	10,5	242	199	22	11
16	98,01	-100	123,08	94,19	100	122,71	391	76	6
17	99,99	-100	126,11	72,18	100	125,35	27	2	1
18	100	-100	126,69	72,35	100	125,69	381	37	9
19	74,58	74,39	147,61	74,08	73,97	146,63	12	2	7
20	57,68	86,29	88,24	96,47	32,41	150,87	65	22	10
21	62,03	78,58	104,89	18,17	18,71	114,63	47	19	6
22	65,08	118,22	117,06	56,94	5,56	87,52	39	16	4,5
23	74,51	71,89	104,26	27,84	39,64	121,66	148	9	13
24	83,62	60,04	78,21	64,27	10,51	149,53	107	16	11
25	85,23	124,17	89,63	71,34	26,53	97,96	69	29	9,5
26	135,76	96,84	110,86	92,54	56,17	85,72	102	8	17
27	94,82	78,43	178,42	72,94	78,41	168,75	109	6	13,5
28	108,61	93,45	57,81	93,84	16,44	203,41	78	14	15
29	109,29	66,54	105,26	19,45	25,94	89,71	27	22	10

Зависимости составляющих силы резания R_x , R_y , R_z от времени измерения 29 опытов представлены на рисунках 16 – 72.

Опыт 1 (рисунки 16 – 18):

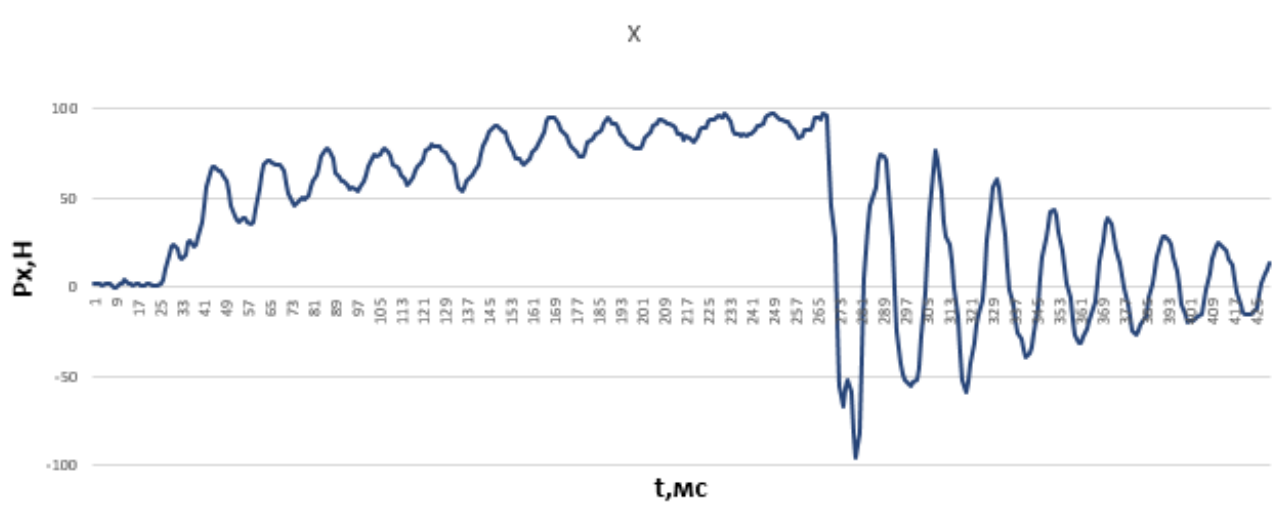


Рисунок 16 – Зависимость осевой составляющей силы резания R_x от времени

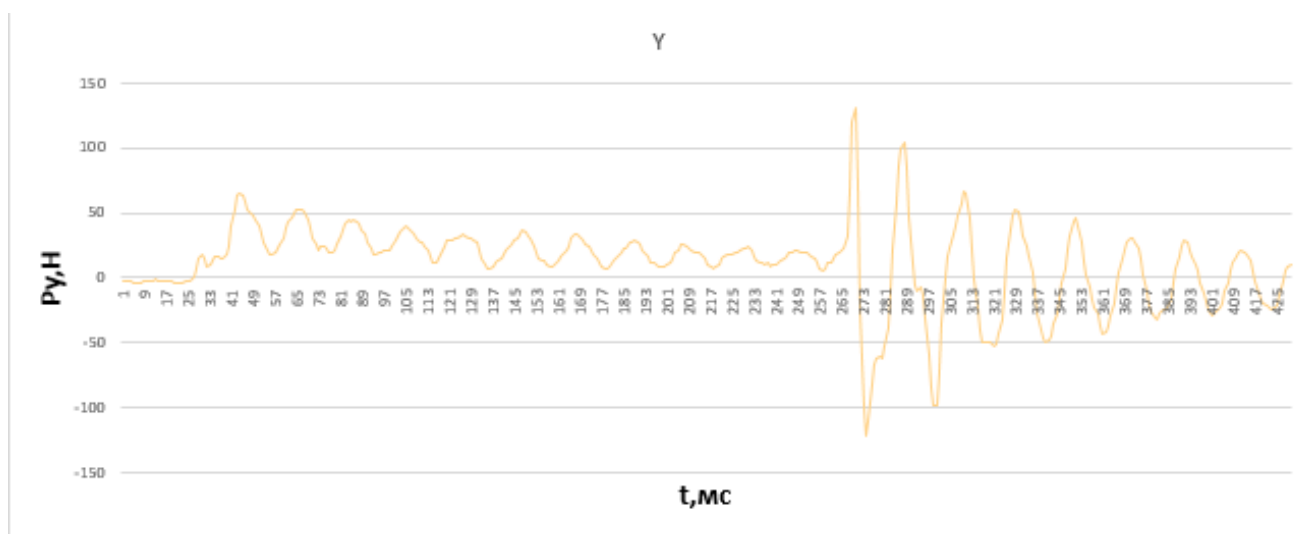


Рисунок 17 – Зависимость радиальной составляющей силы резания R_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

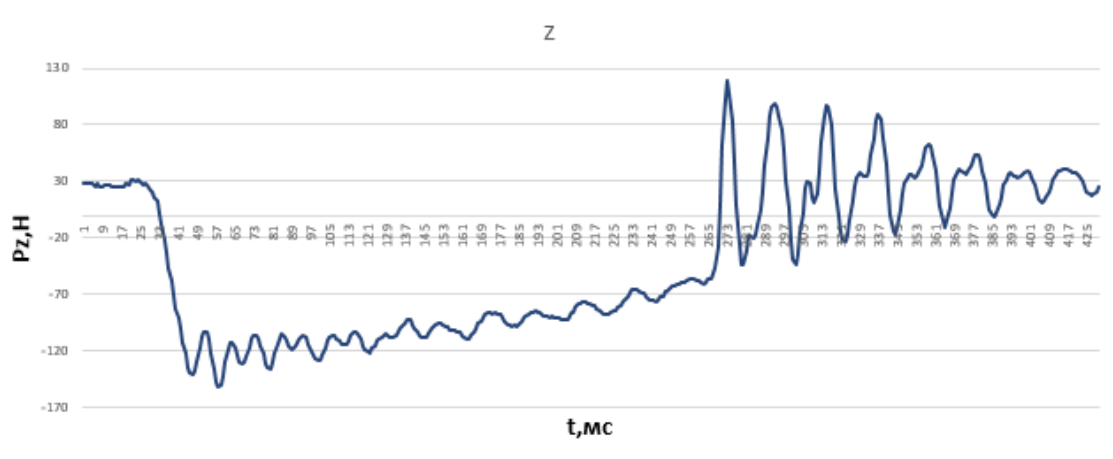


Рисунок 18 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 2 (рисунки 19 –21):

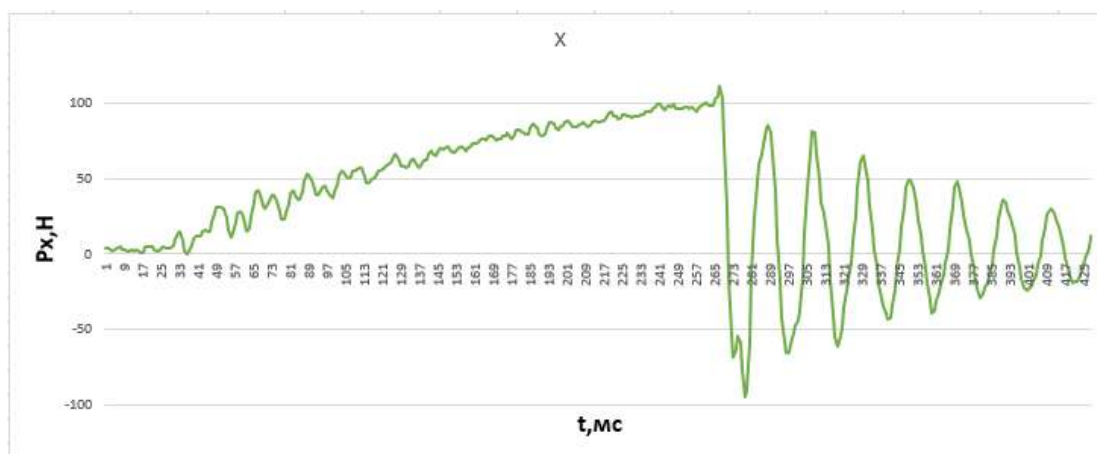


Рисунок 19 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

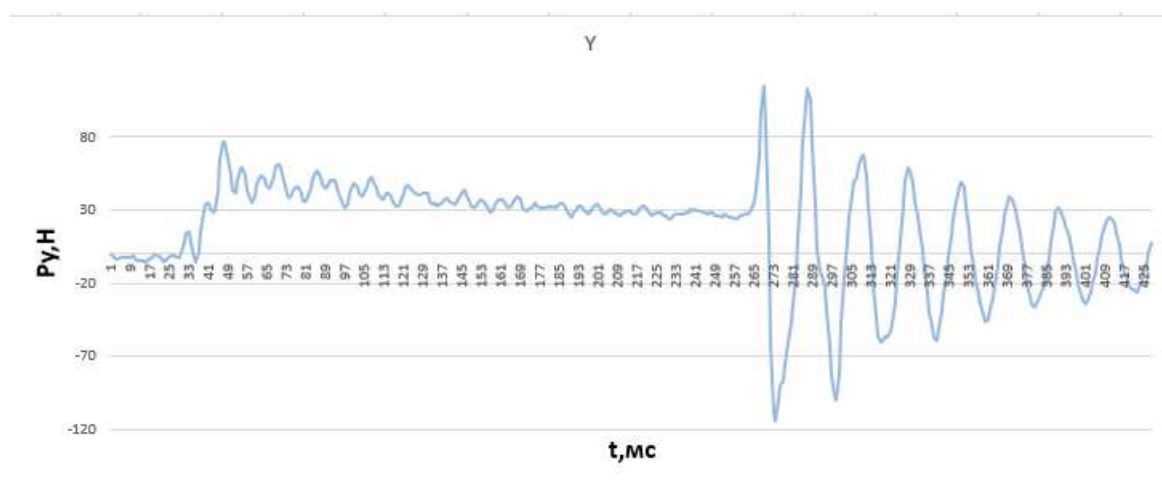


Рисунок 20 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

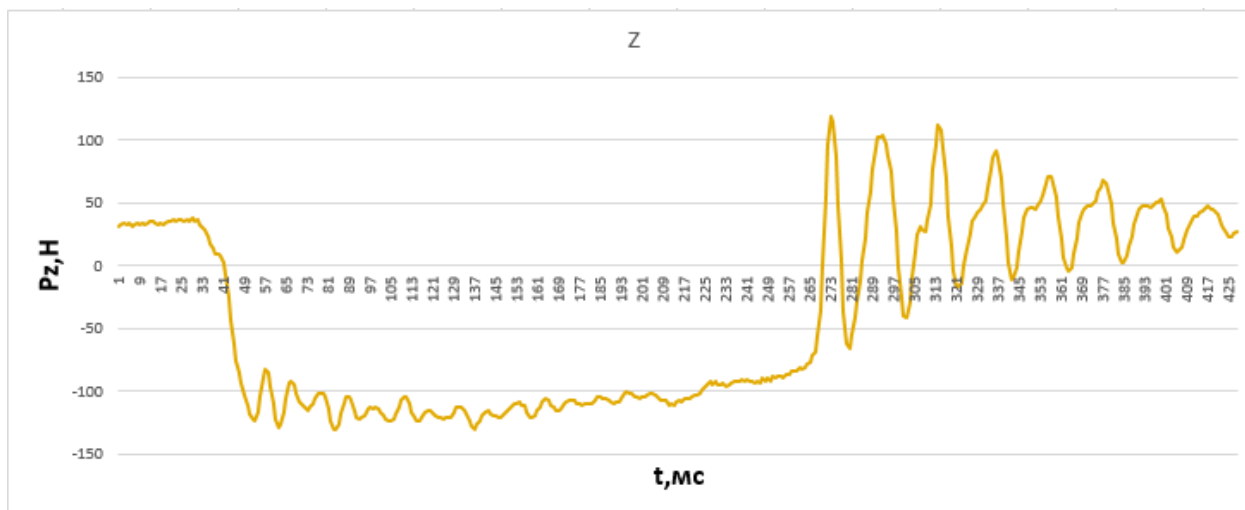


Рисунок 21 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 3 (рисунки 22 – 24):

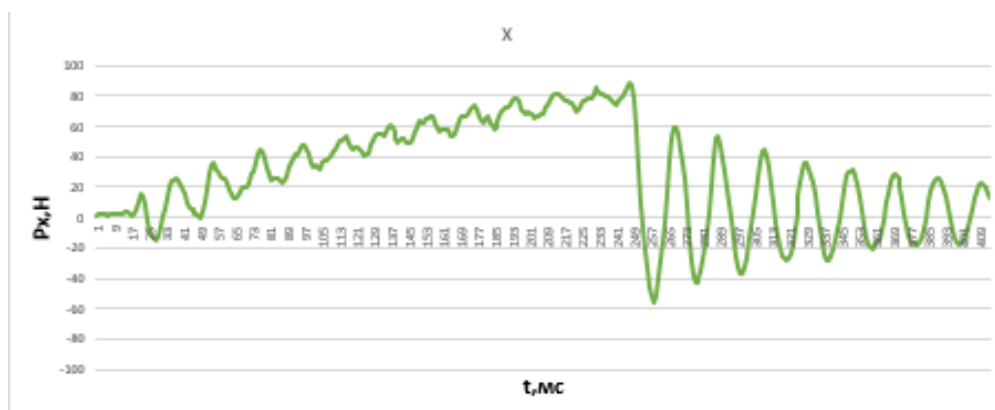


Рисунок 22 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

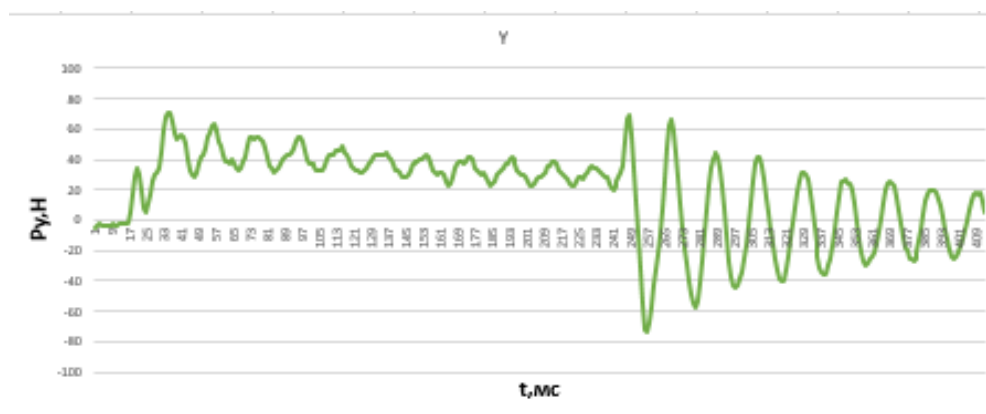


Рисунок 23 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

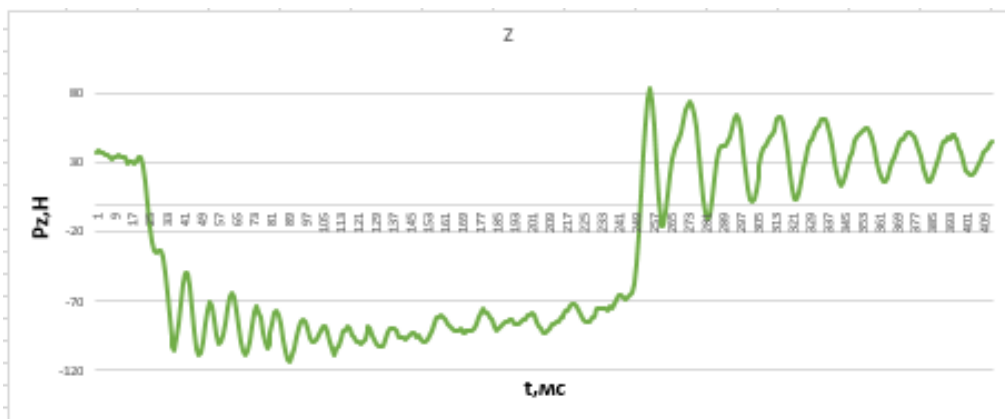


Рисунок 24 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 4 (рисунки 25 – 27):

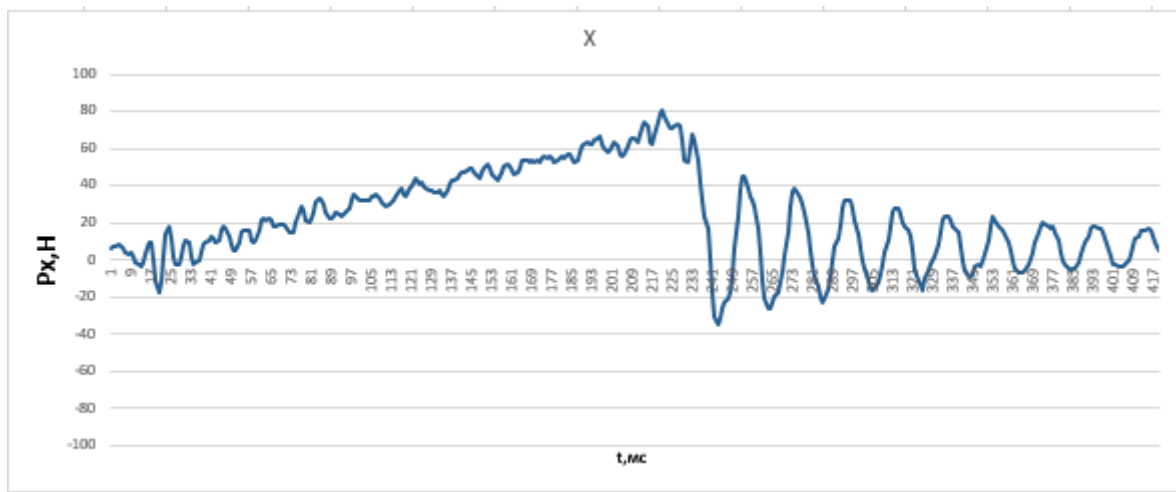


Рисунок 25 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

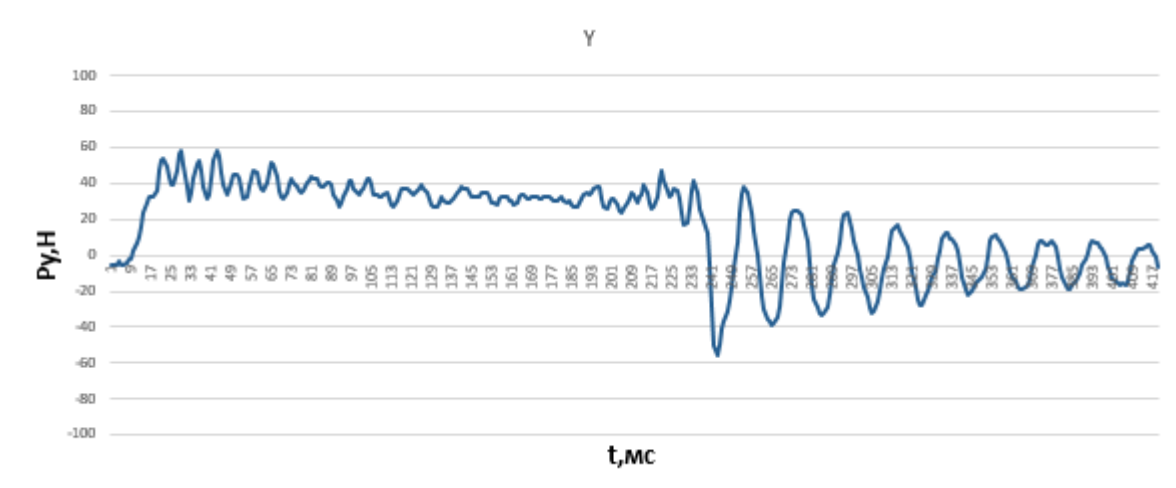


Рисунок 26 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

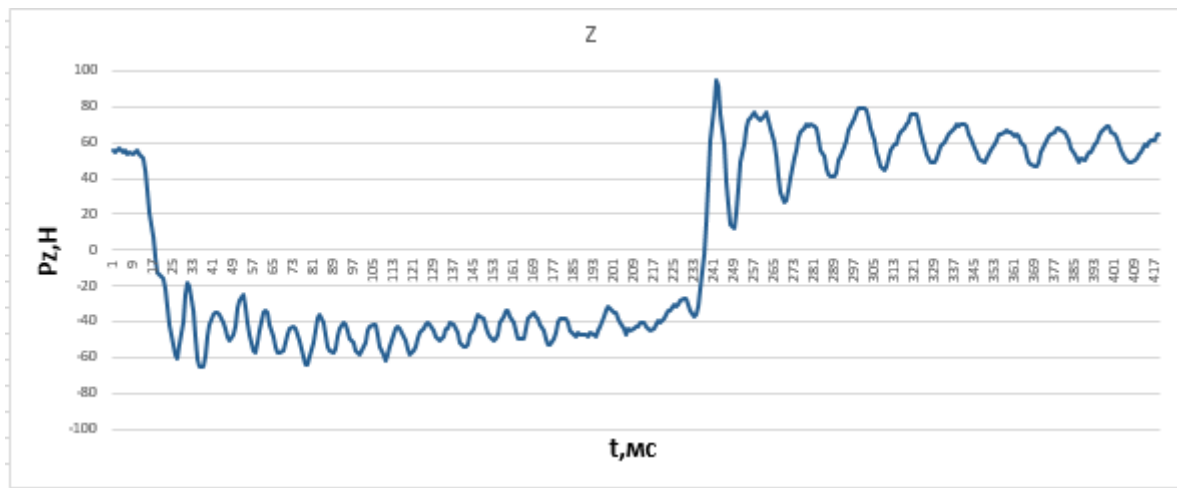


Рисунок 27 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 5 (рисунки 28 – 30):

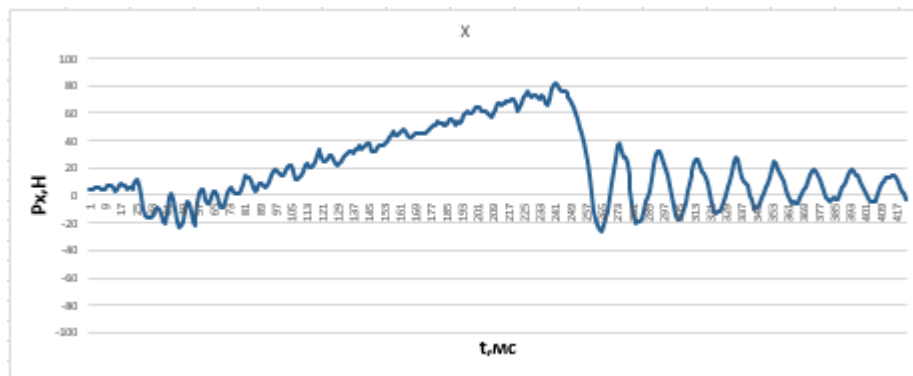


Рисунок 28 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

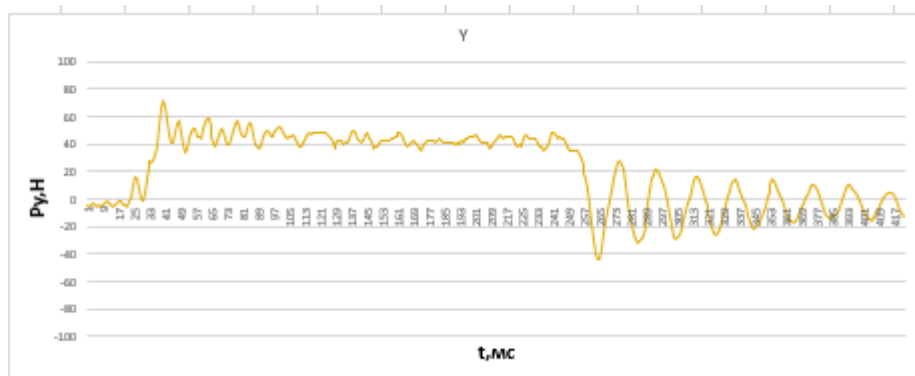


Рисунок 29 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

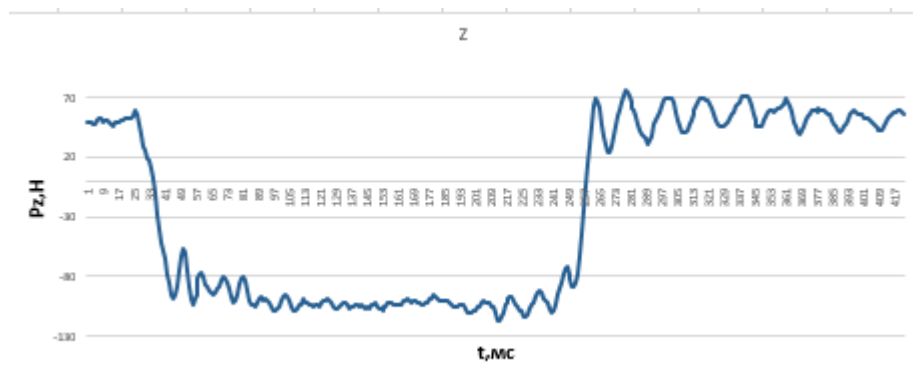


Рисунок 30 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 6 (рисунки 31 – 33):

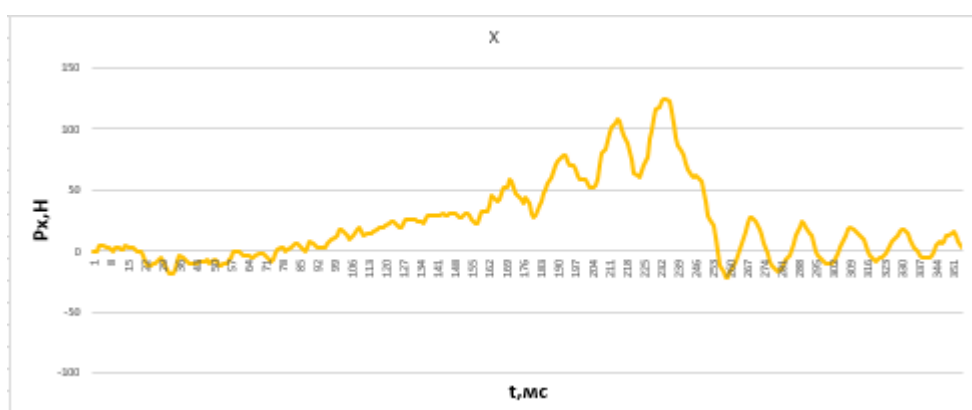


Рисунок 31 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

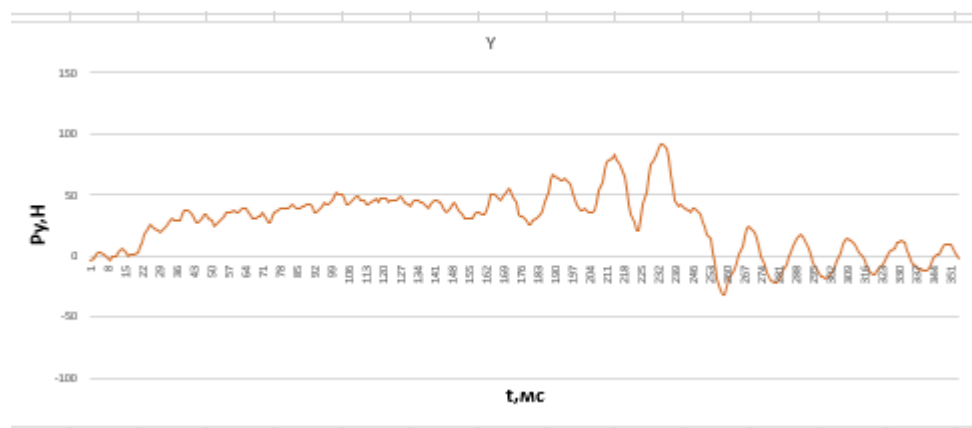


Рисунок 32 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

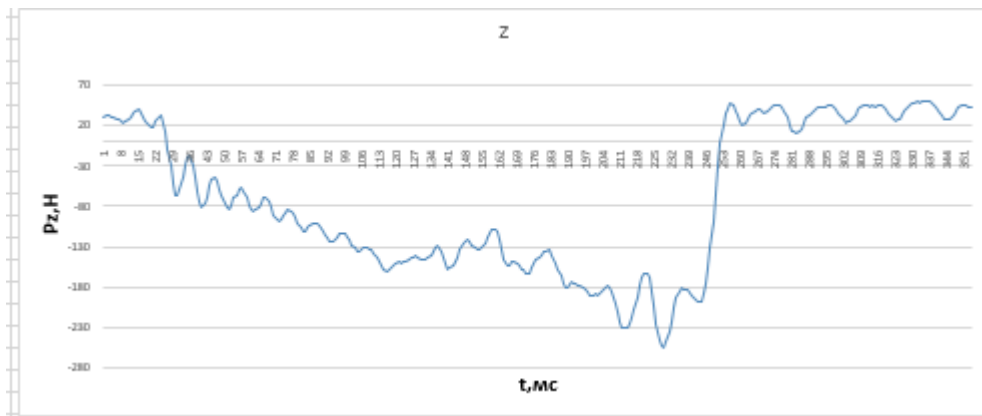


Рисунок 33 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 7 (рисунки 34 – 36):

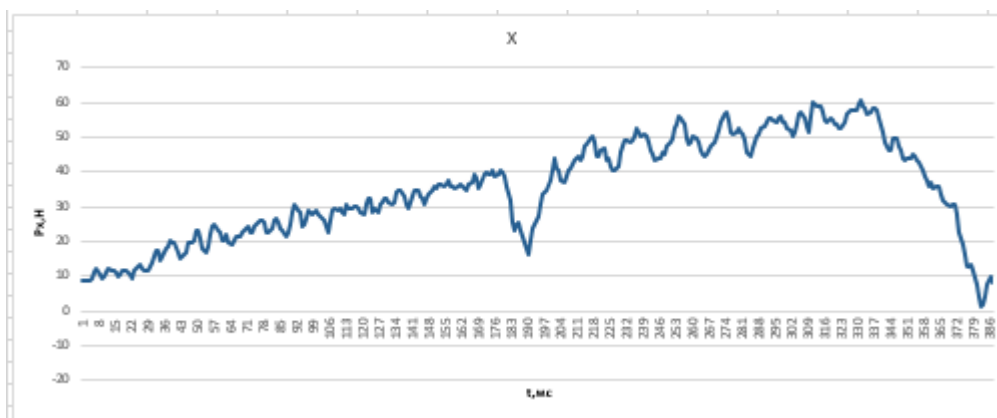


Рисунок 34 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

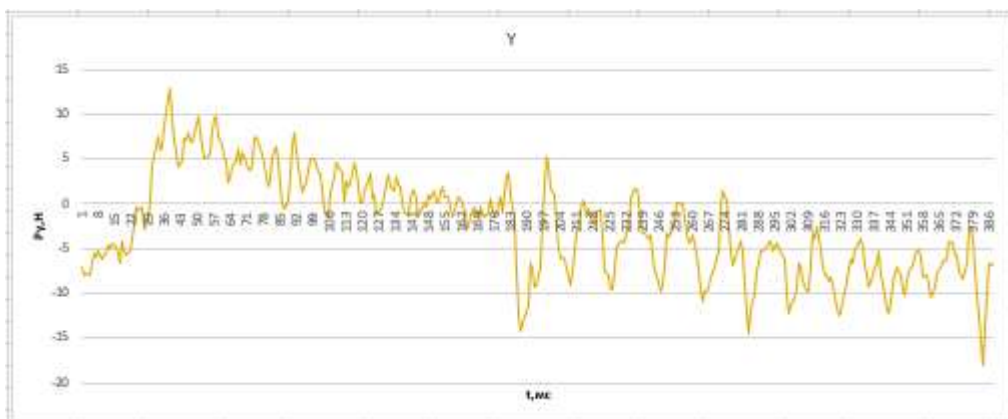


Рисунок 35 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

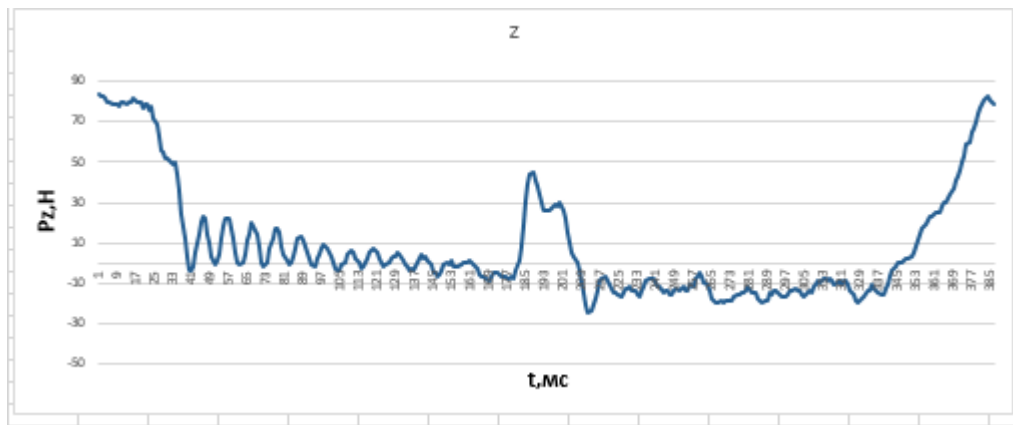


Рисунок 36 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 8 (рисунки 37 – 39):

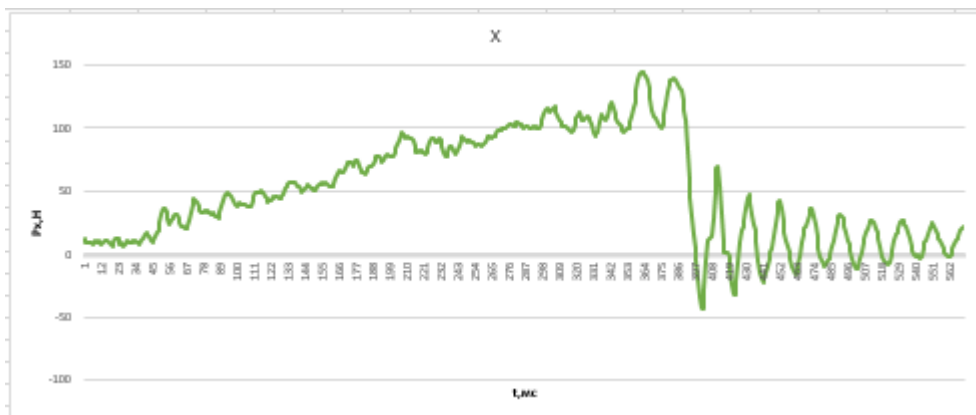


Рисунок 37 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

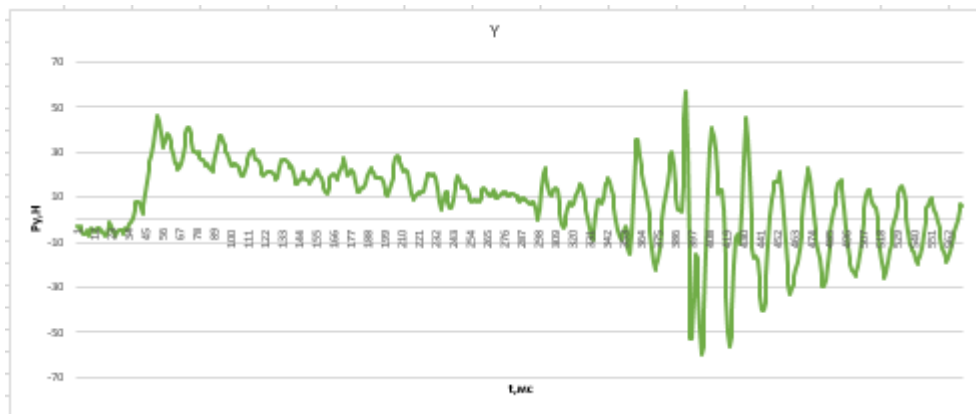


Рисунок 38 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

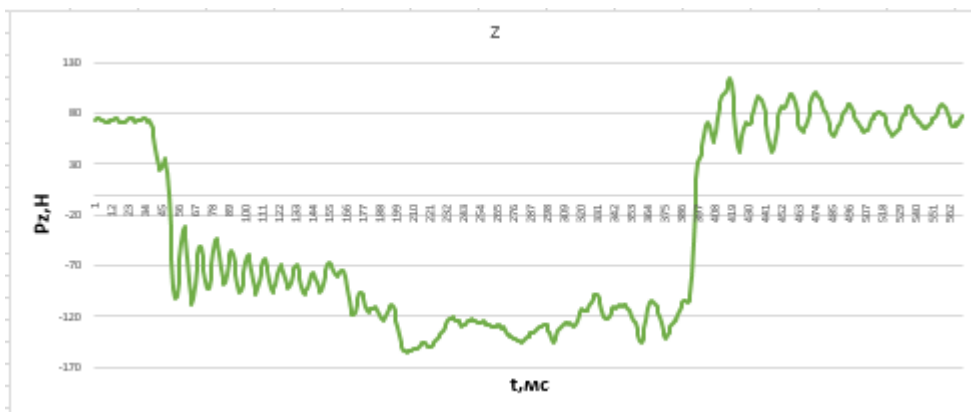


Рисунок 39 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 9 (рисунки 40 – 42):

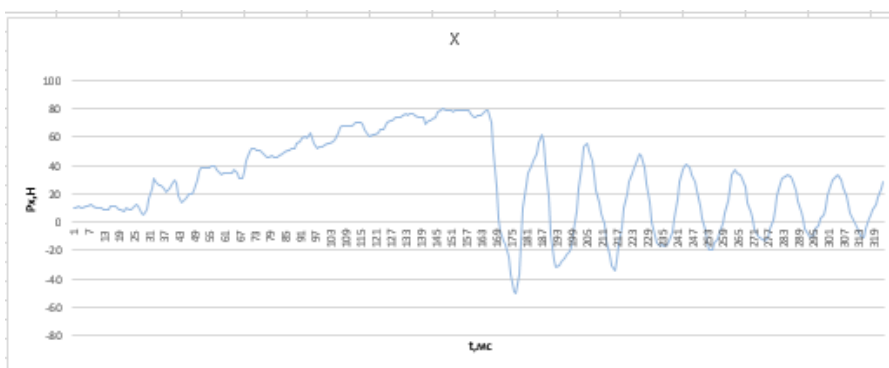


Рисунок 40 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

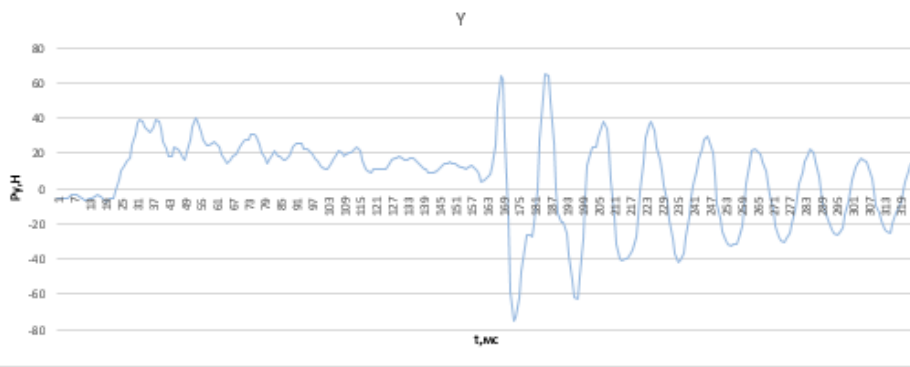


Рисунок 41 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

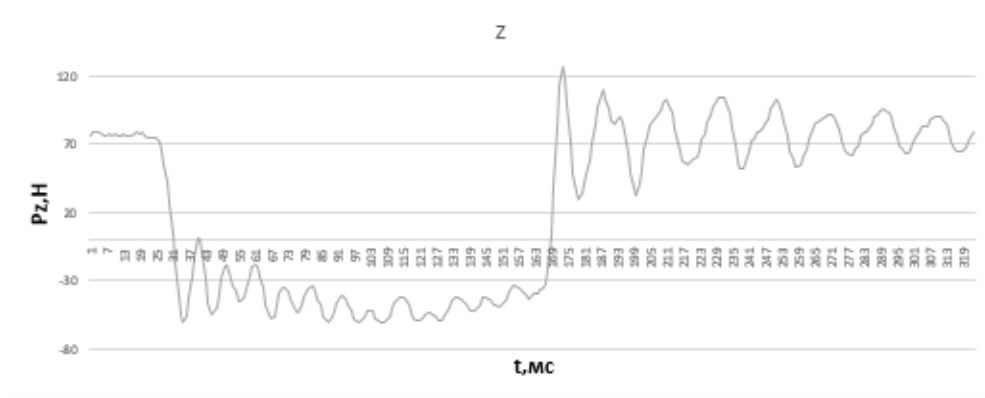


Рисунок 42 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 10 (рисунки 43 – 45):

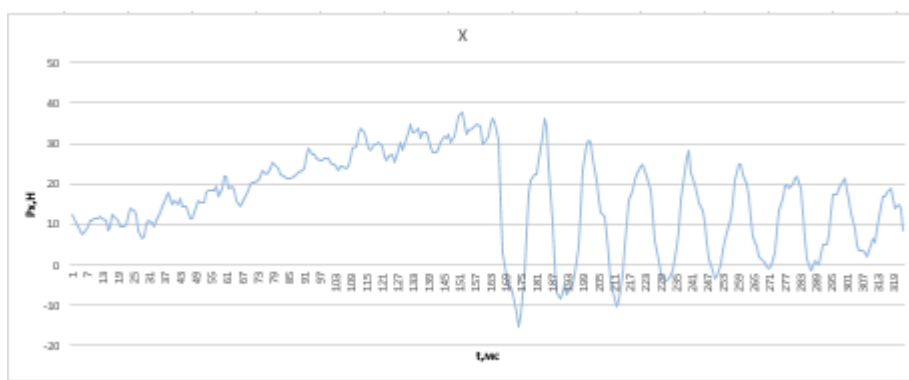


Рисунок 43 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

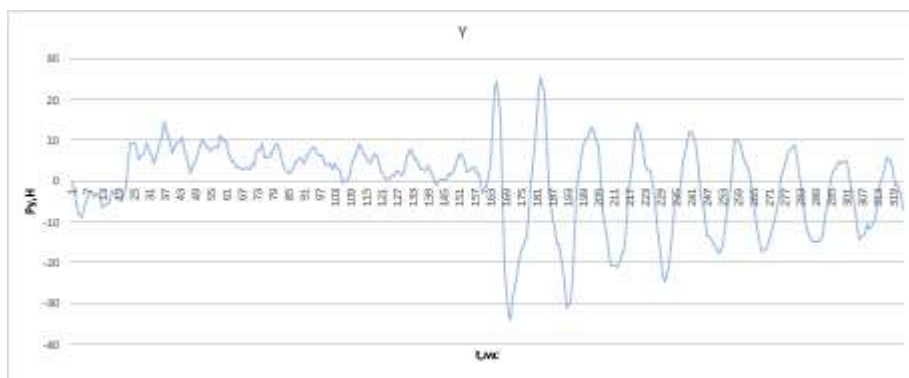


Рисунок 44 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

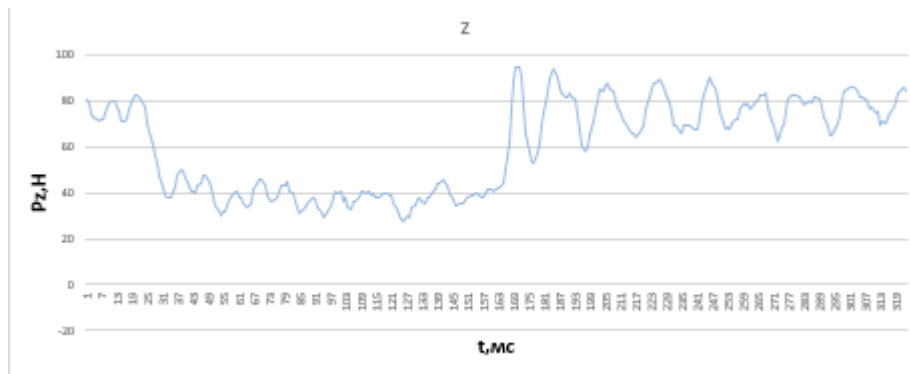


Рисунок 45 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 11 (рисунки 46 – 48):

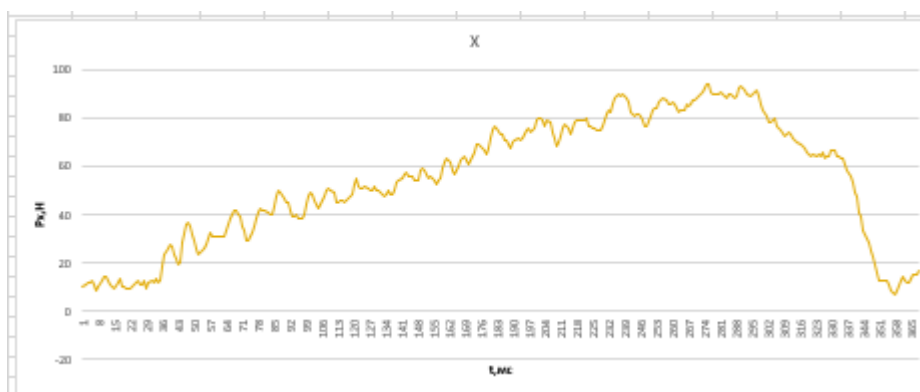


Рисунок 46 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

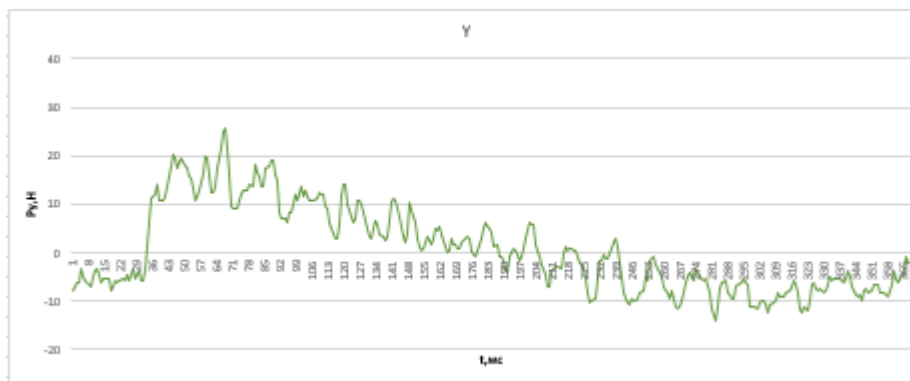


Рисунок 47 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

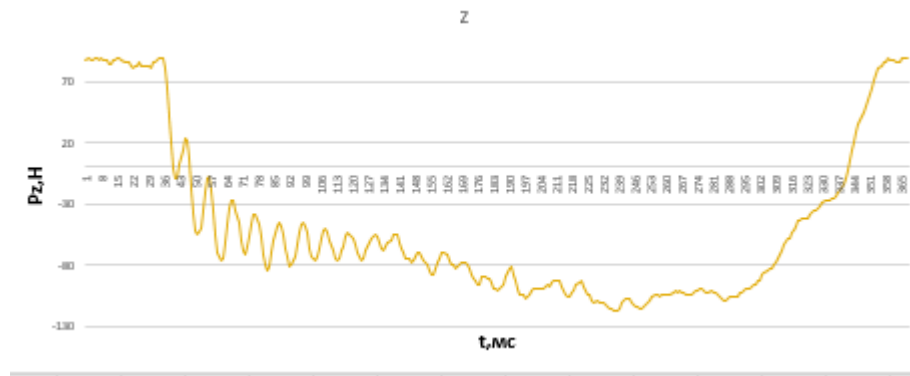


Рисунок 48 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 12 (рисунки 49 – 51):

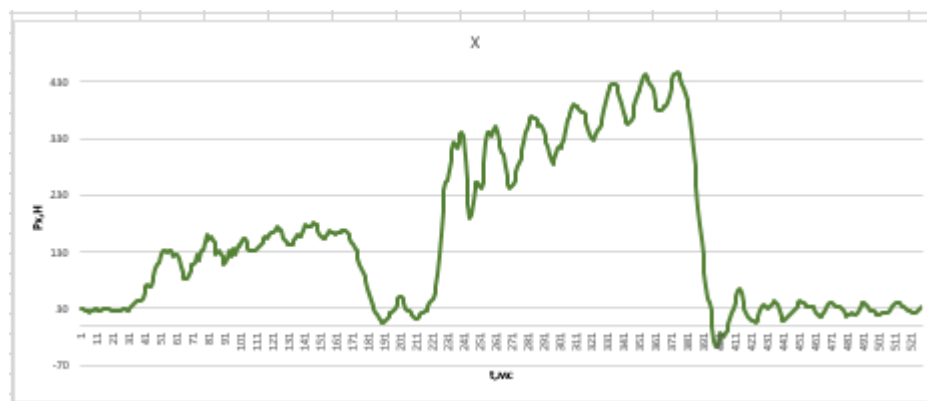


Рисунок 49 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

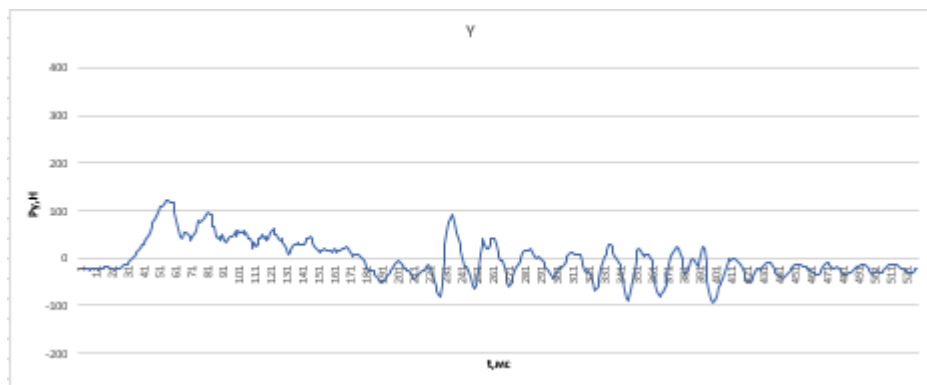


Рисунок 50 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

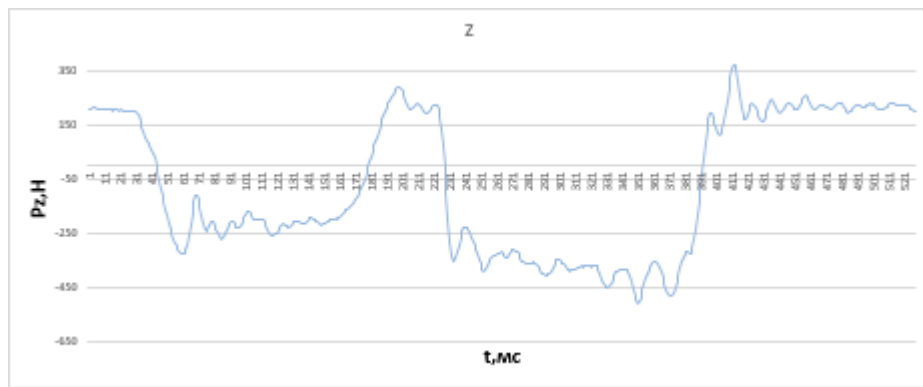


Рисунок 51 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 13 (рисунки 52 – 54):

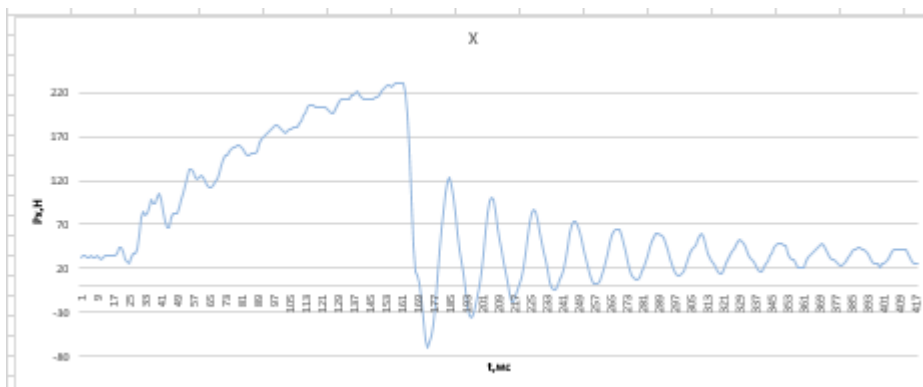


Рисунок 52 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

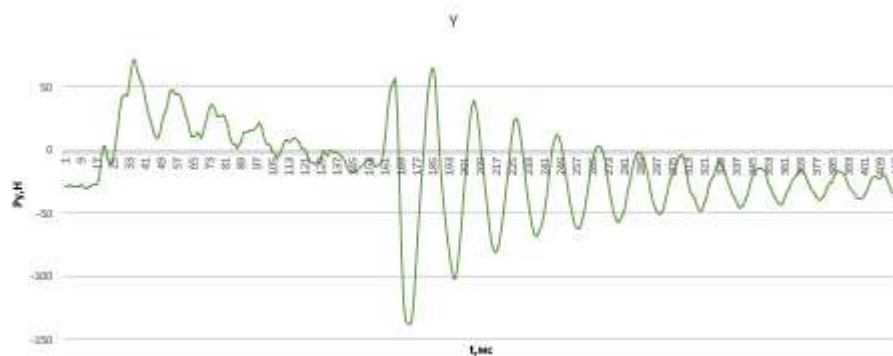


Рисунок 53 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

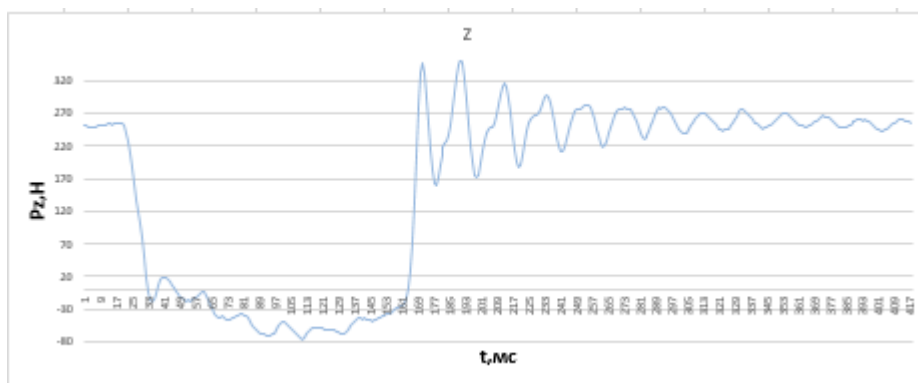


Рисунок 54– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 14 (рисунки 55 – 57):

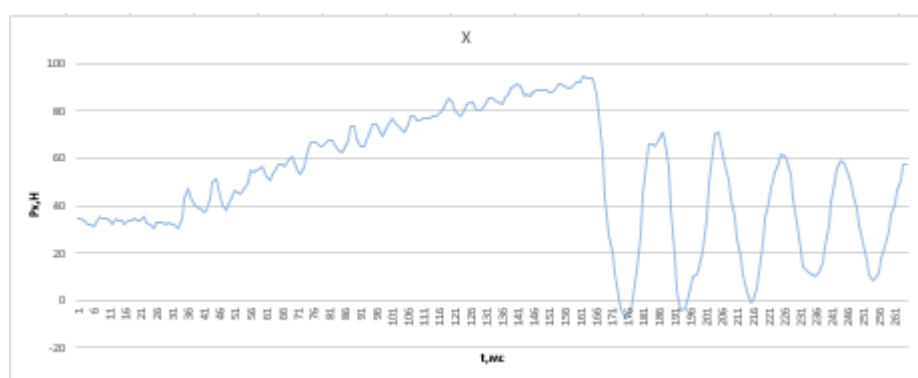


Рисунок 55 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

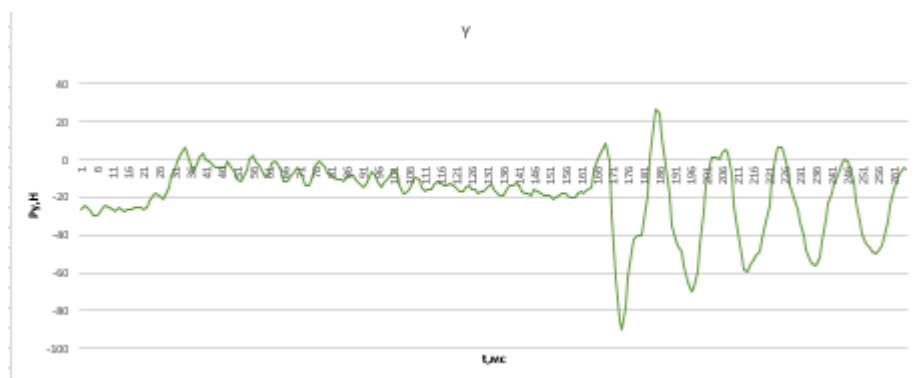


Рисунок 56 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

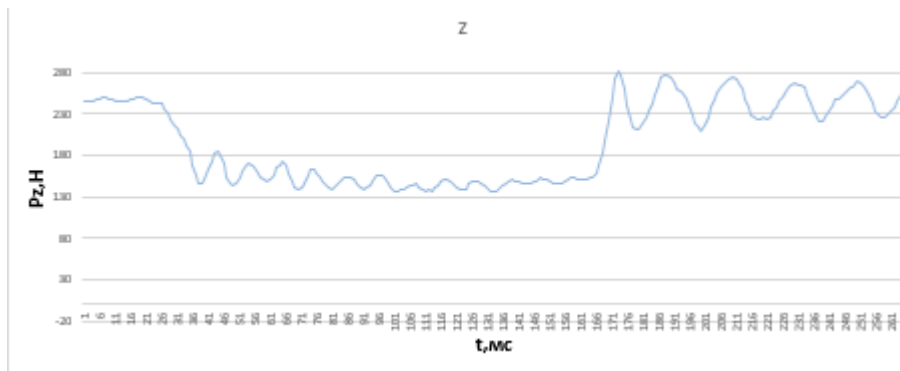


Рисунок 57 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 15 (рисунки 58 – 60):

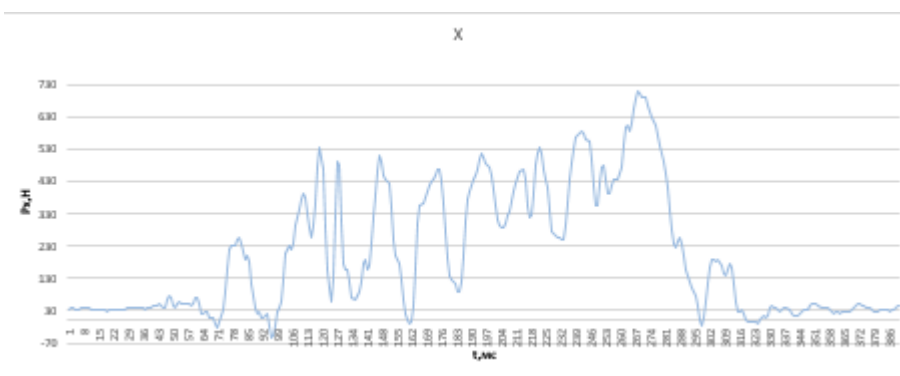


Рисунок 58 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

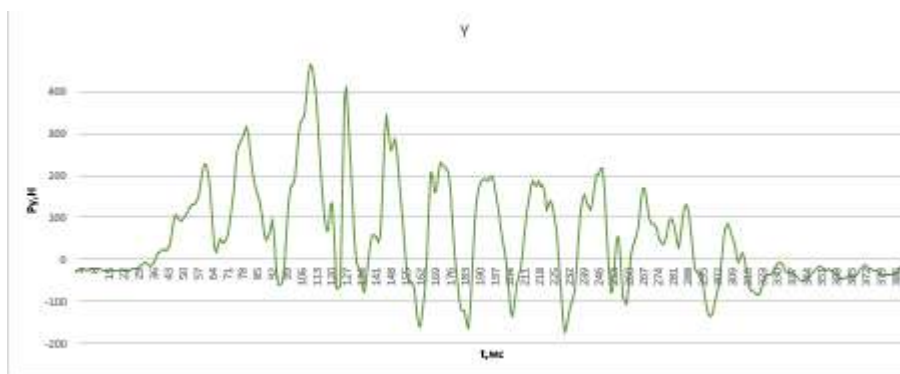


Рисунок 59 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

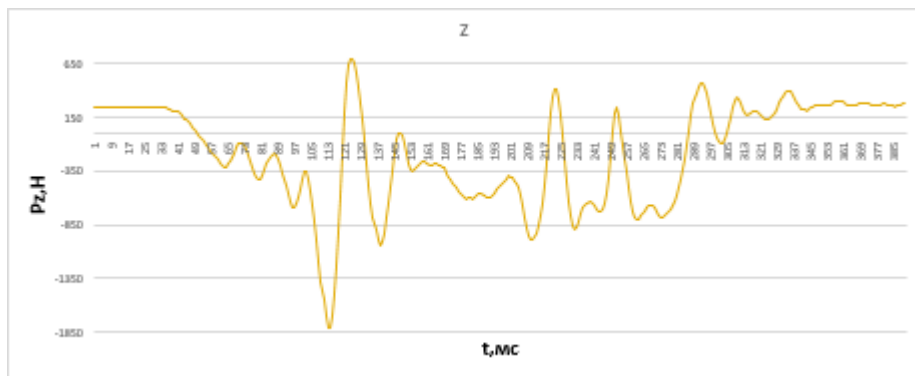


Рисунок 60– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 16(рисунки 61 – 63):

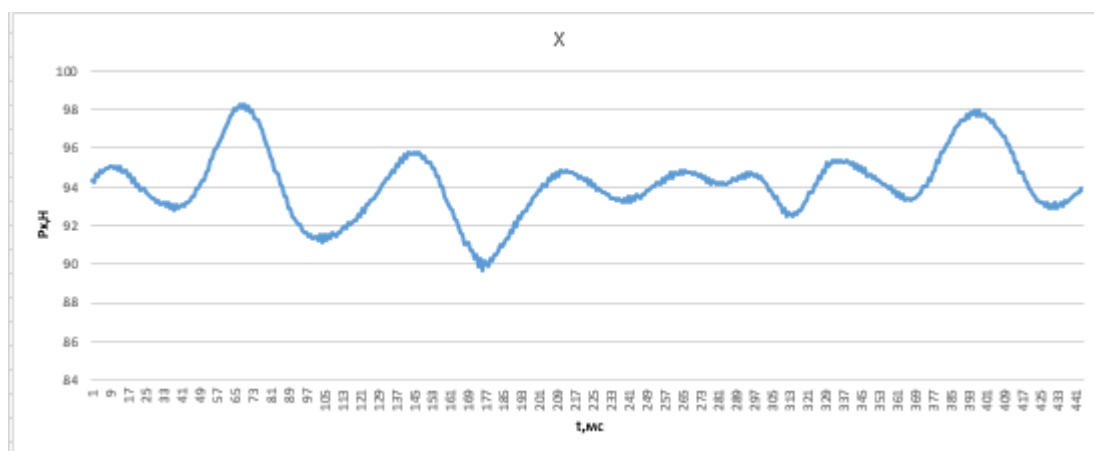


Рисунок 61 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

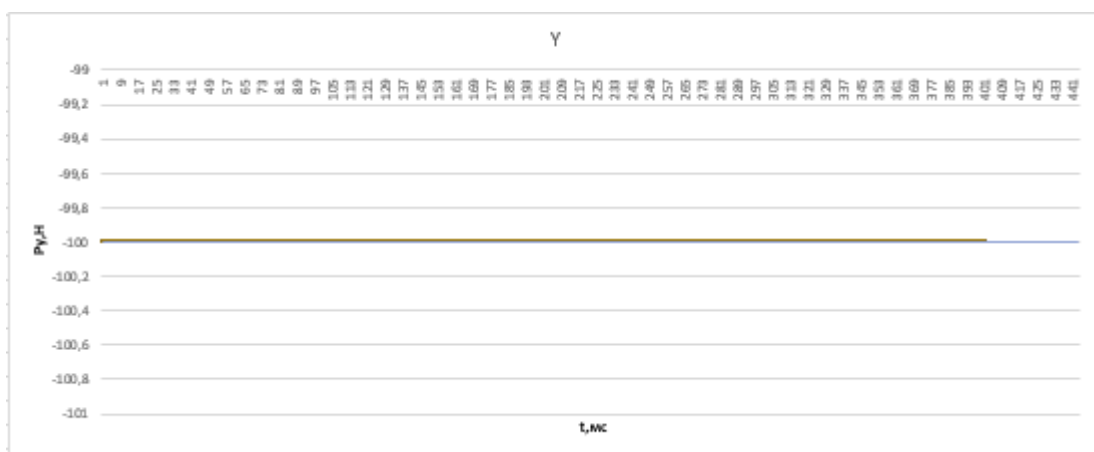


Рисунок 62 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

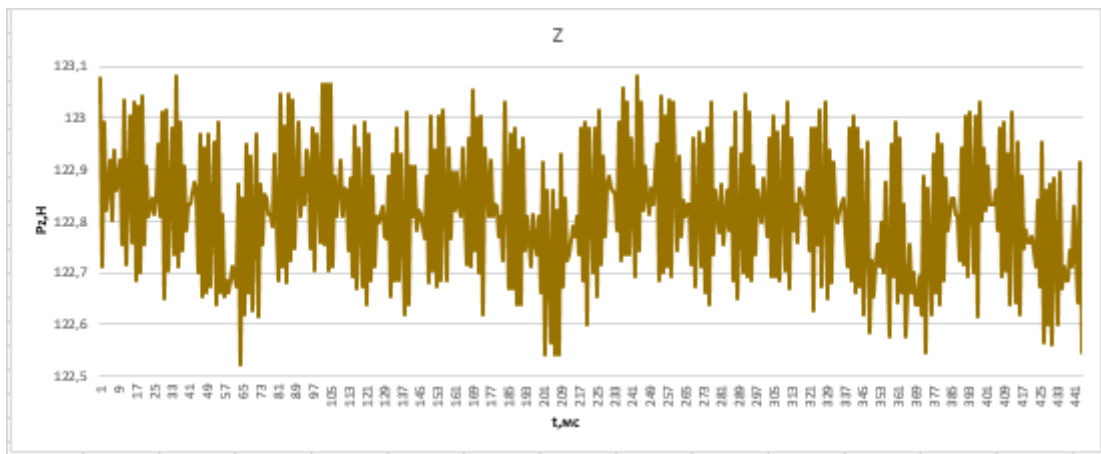


Рисунок 63– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 17(рисунки 64 – 66):

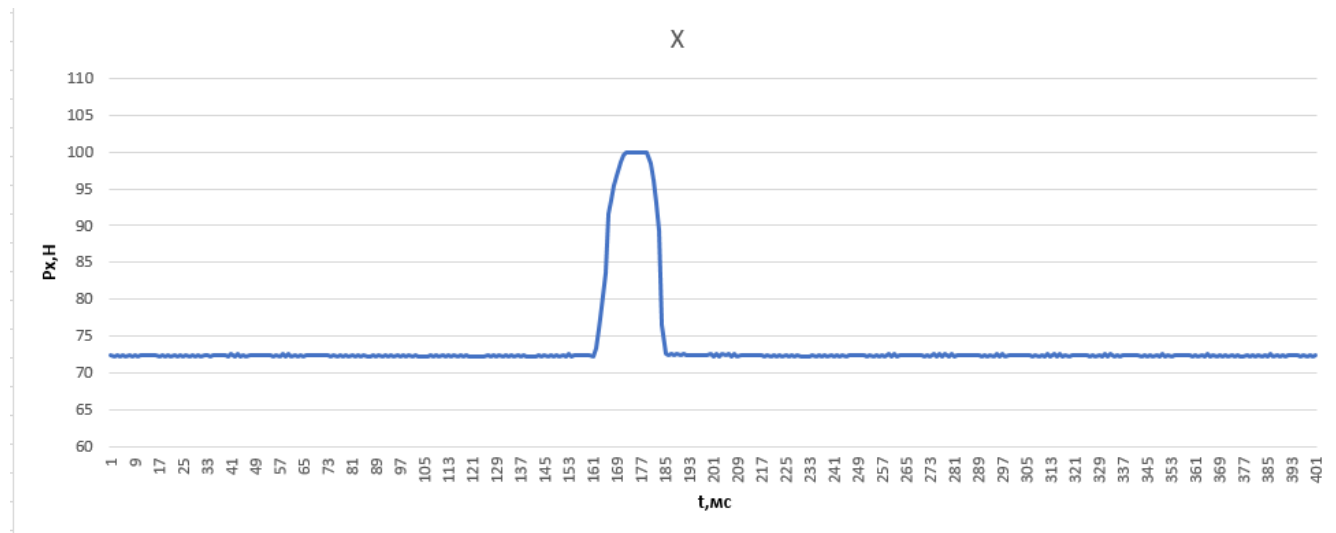


Рисунок 64 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

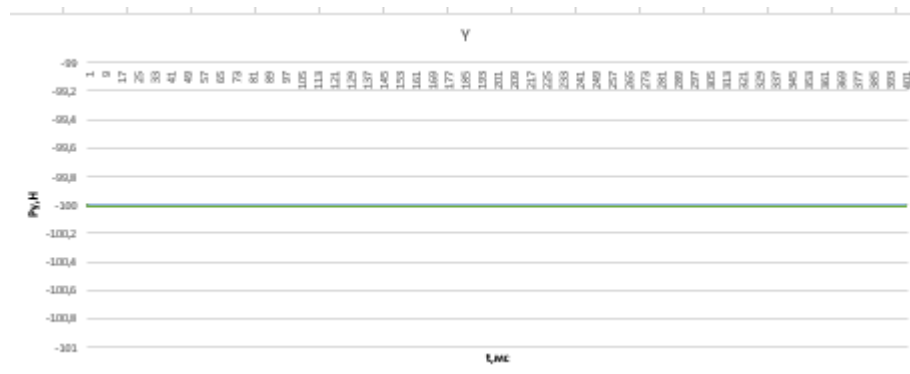


Рисунок 65 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

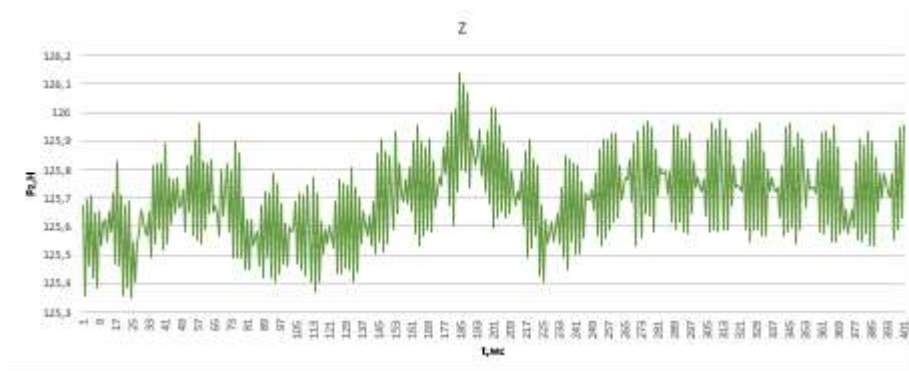


Рисунок 66– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 18(рисунки 67 – 69):

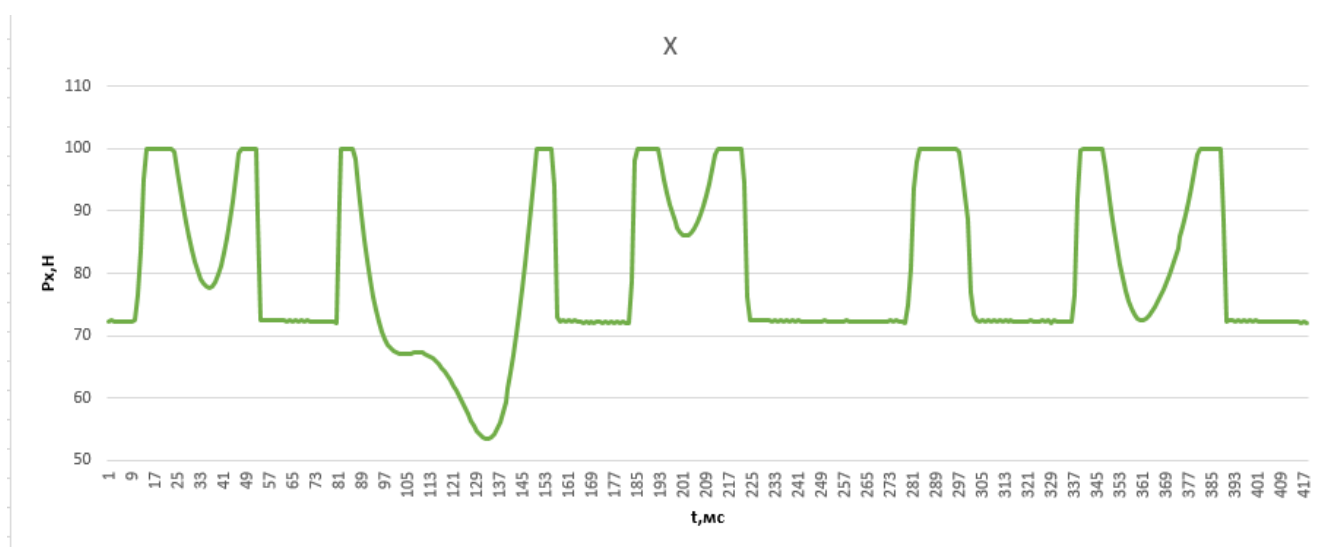


Рисунок 67 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени



Рисунок 68 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

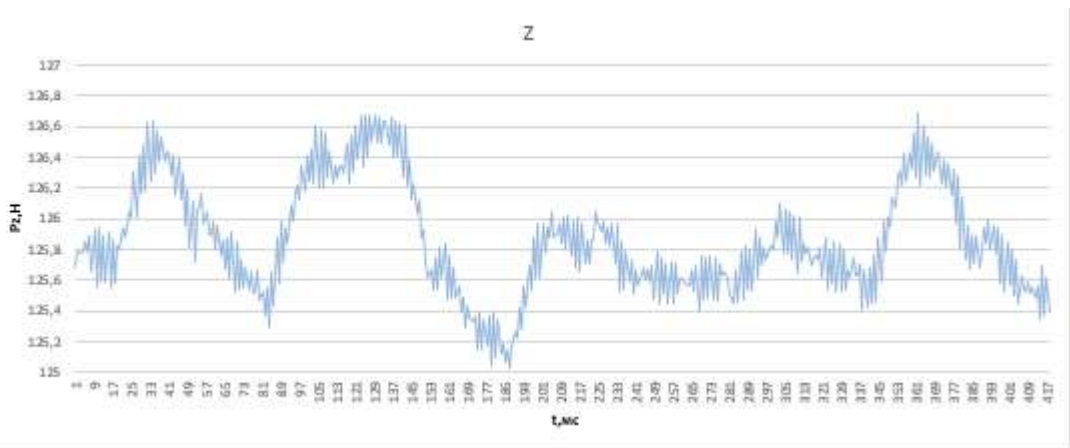


Рисунок 69 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 19(рисунки 70 – 72):

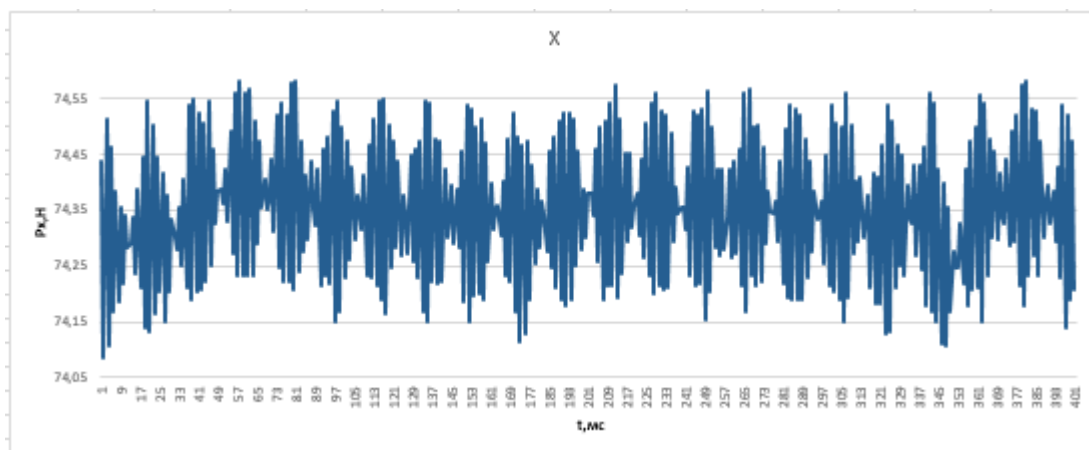


Рисунок 70 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

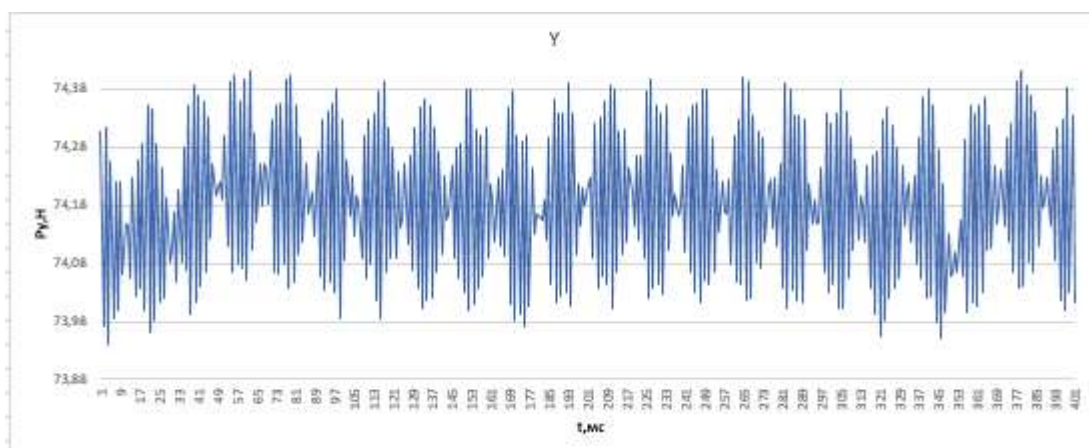


Рисунок 71 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

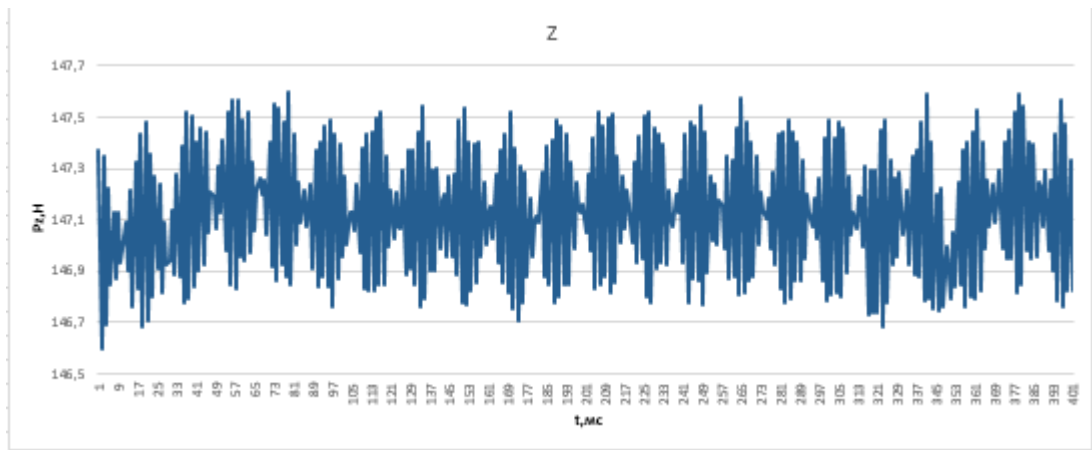


Рисунок 72– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 20(рисунки 73 – 75):

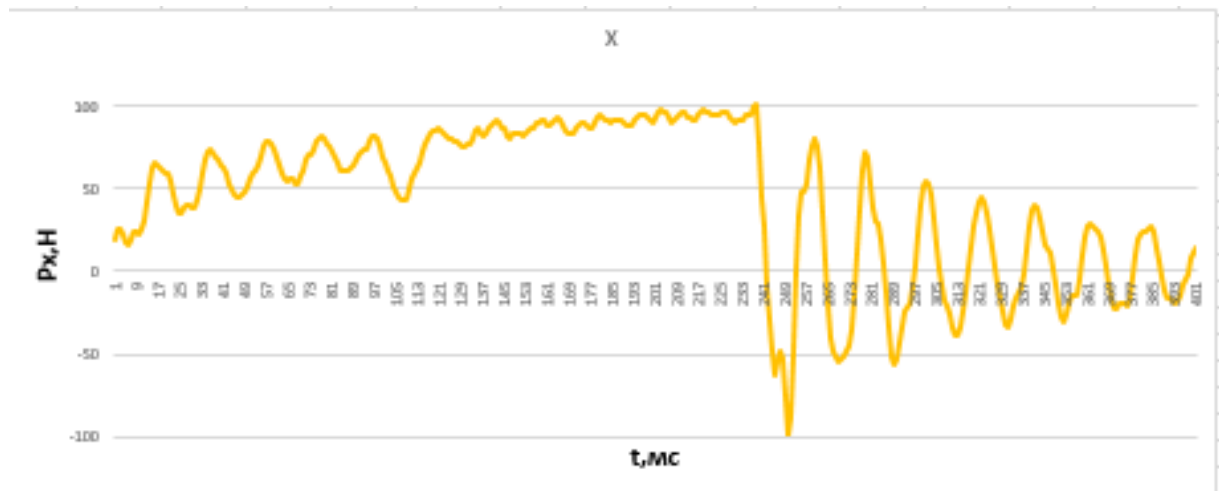


Рисунок 73 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

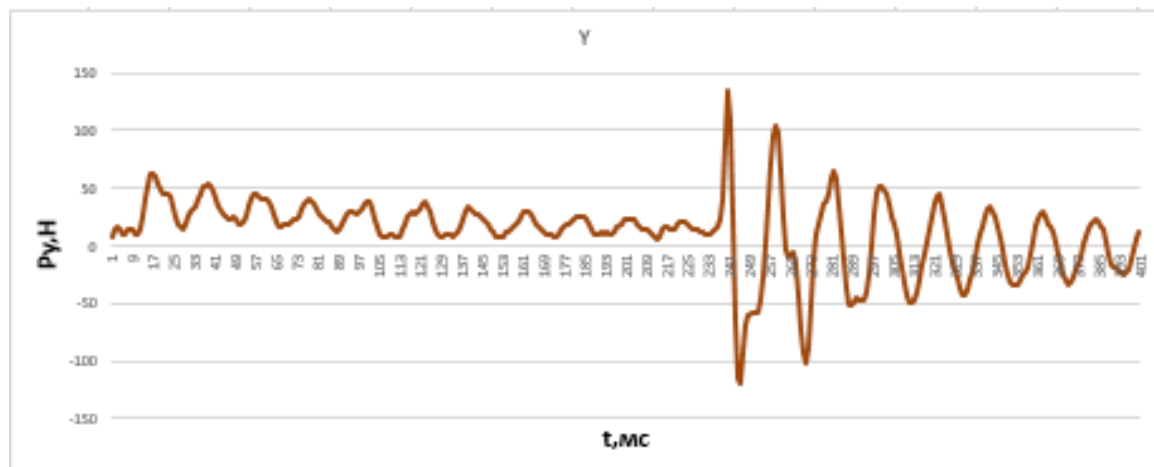


Рисунок 74 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

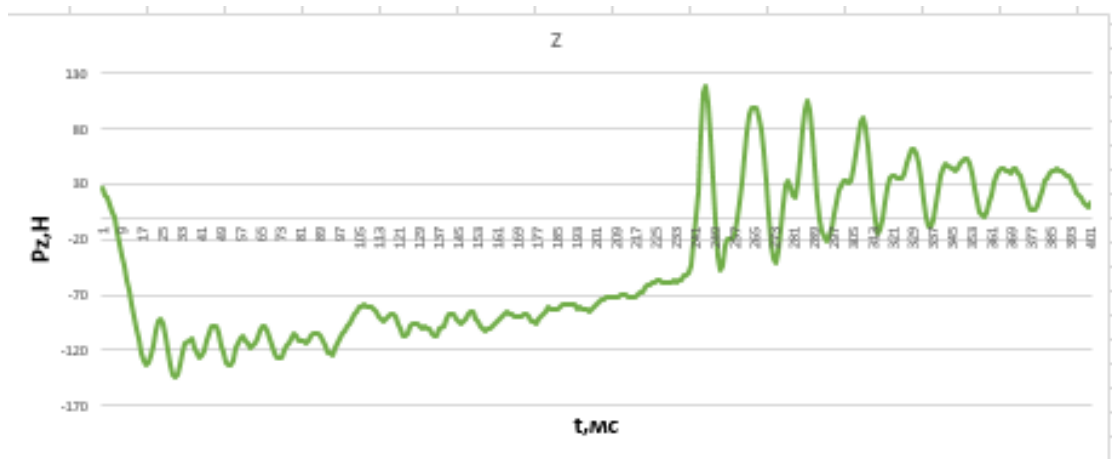


Рисунок 75– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 21(рисунки 76 – 78):

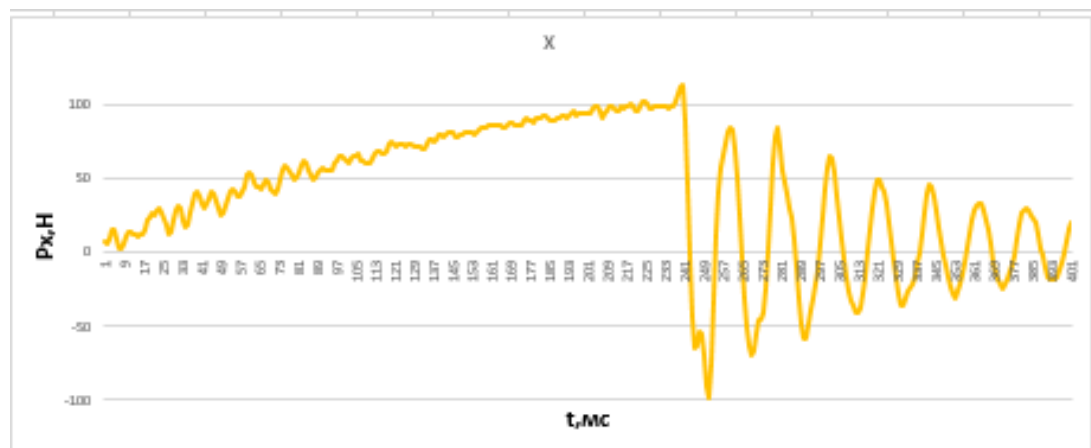


Рисунок 76 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

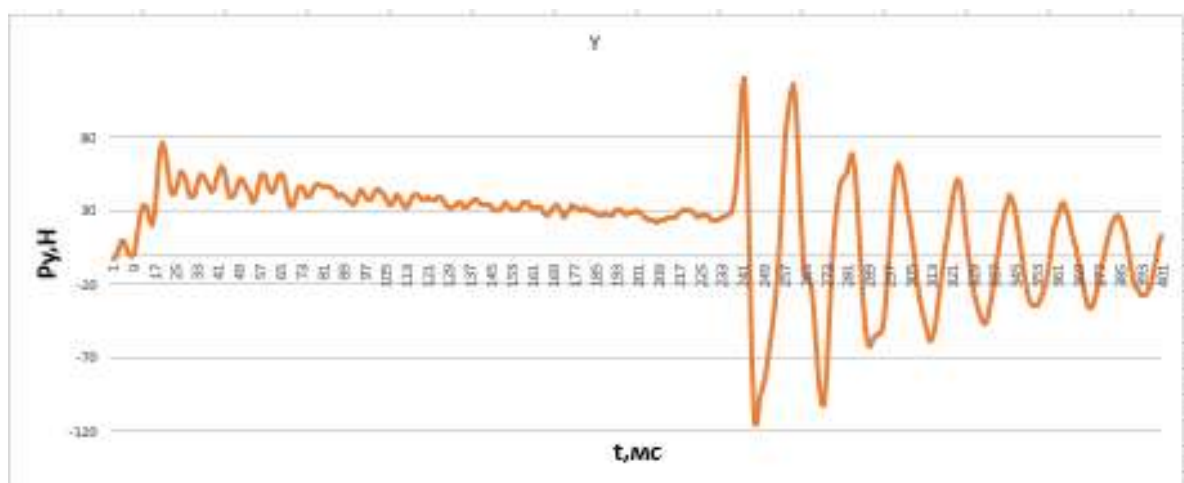


Рисунок 77 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

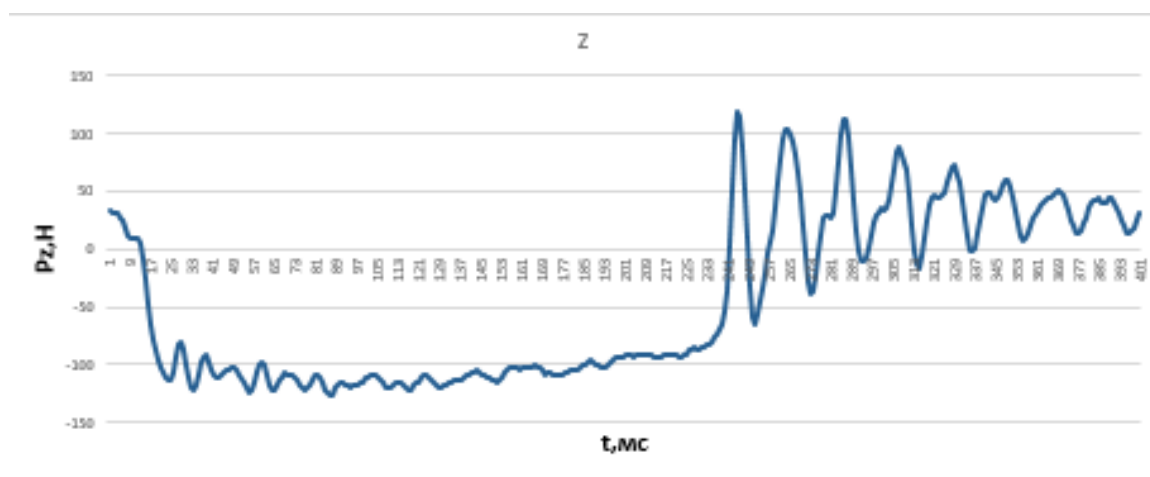


Рисунок 78– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 22(рисунки 79 – 81):

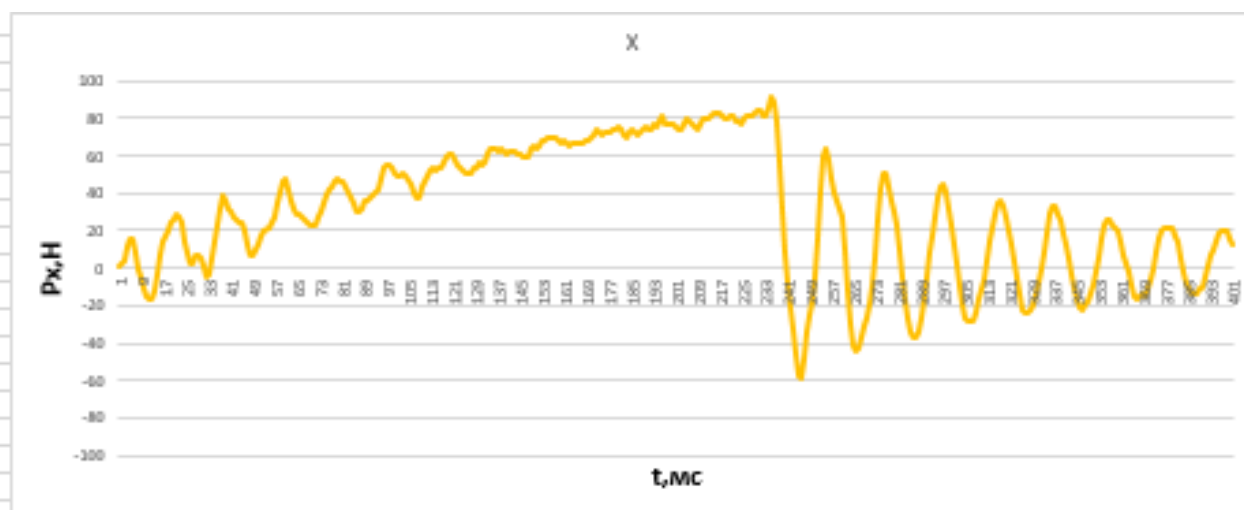


Рисунок 79 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

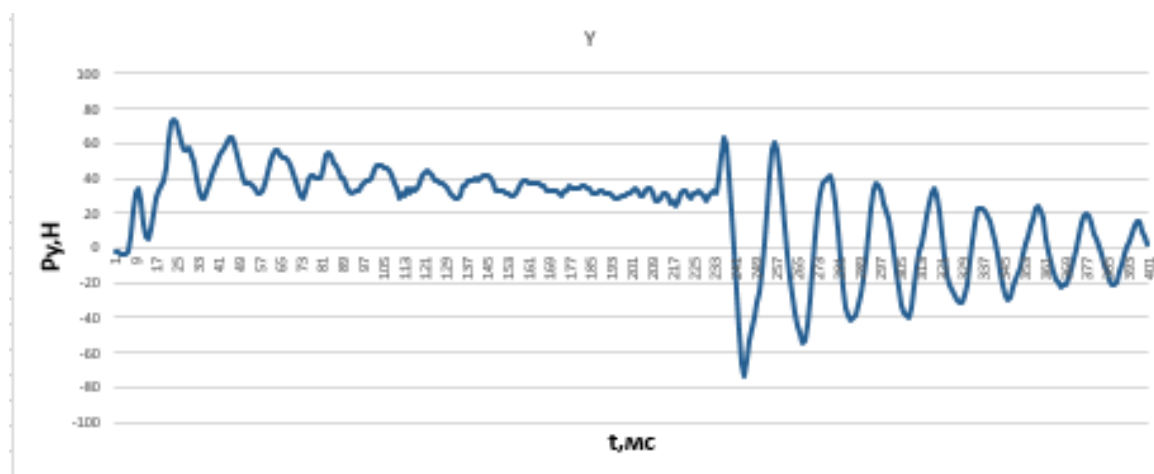


Рисунок 80 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

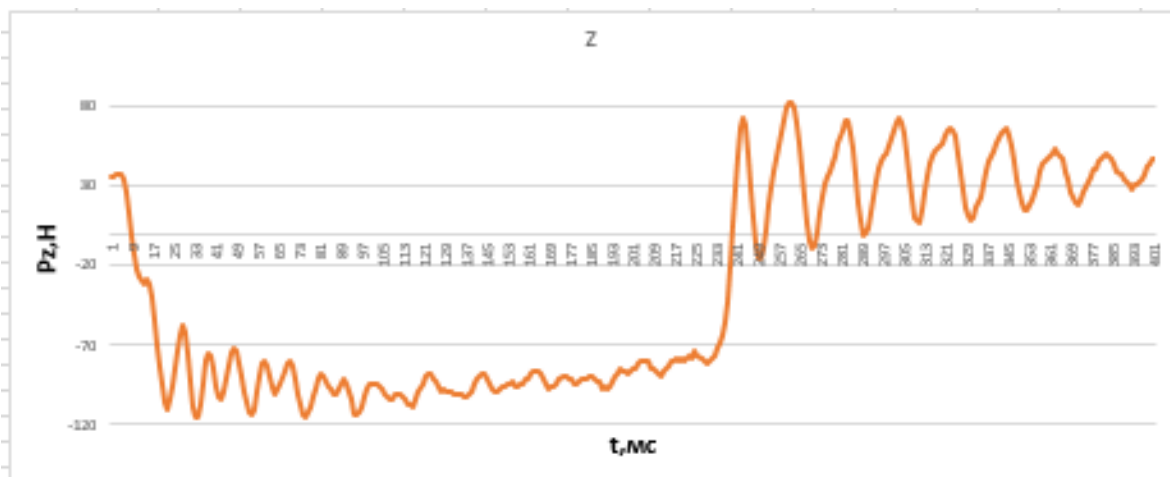


Рисунок 81 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 23(рисунки 82 – 84):

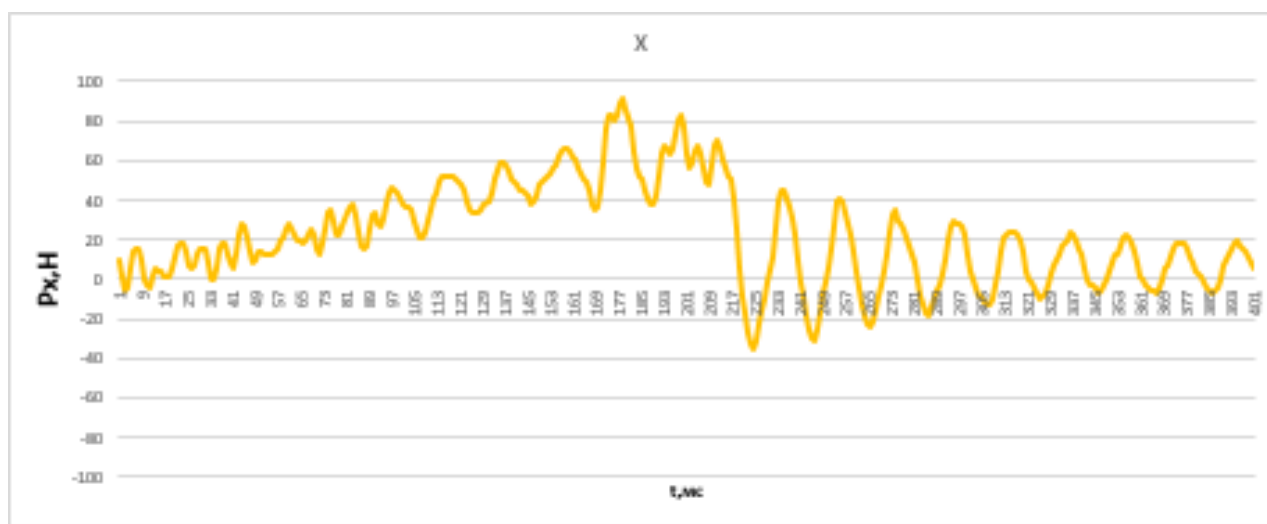


Рисунок 82 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

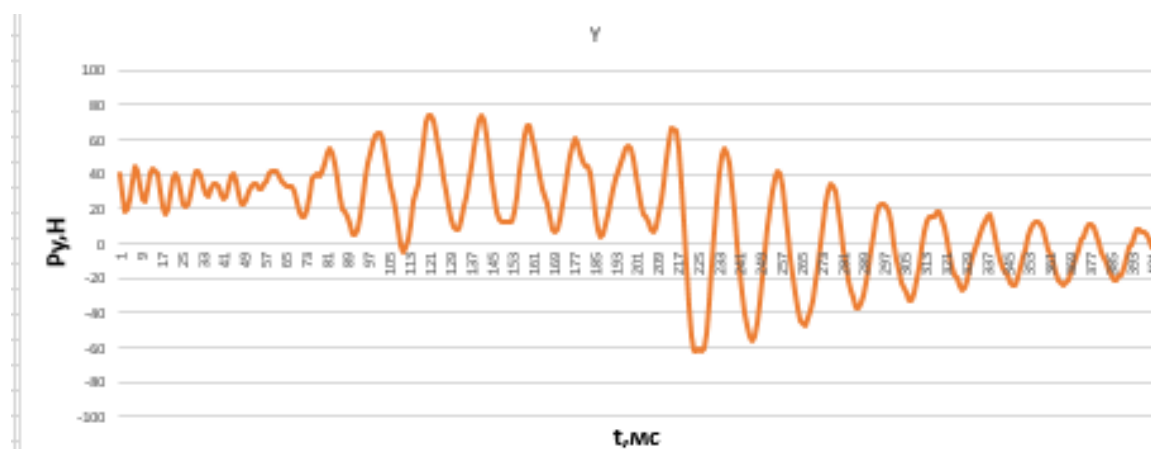


Рисунок 83 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

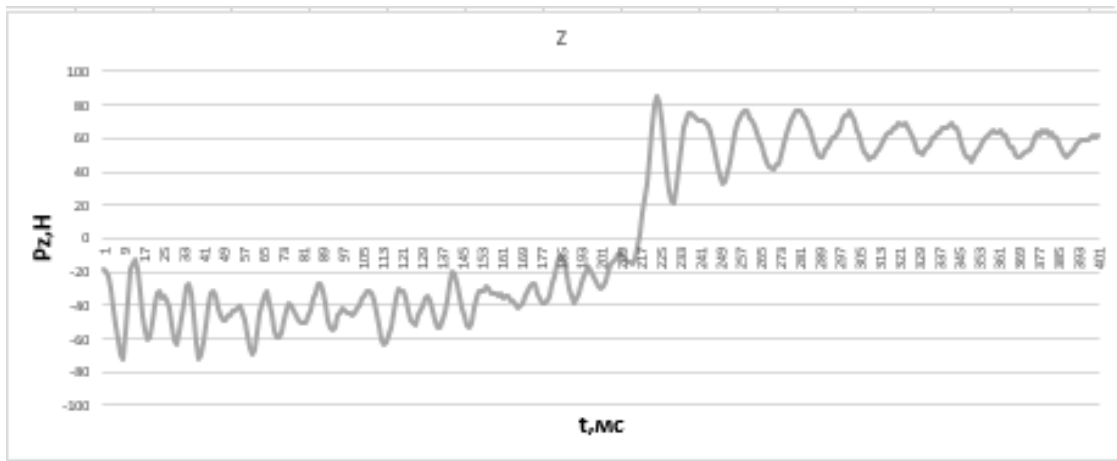


Рисунок 84– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 24(рисунки 85 – 87):

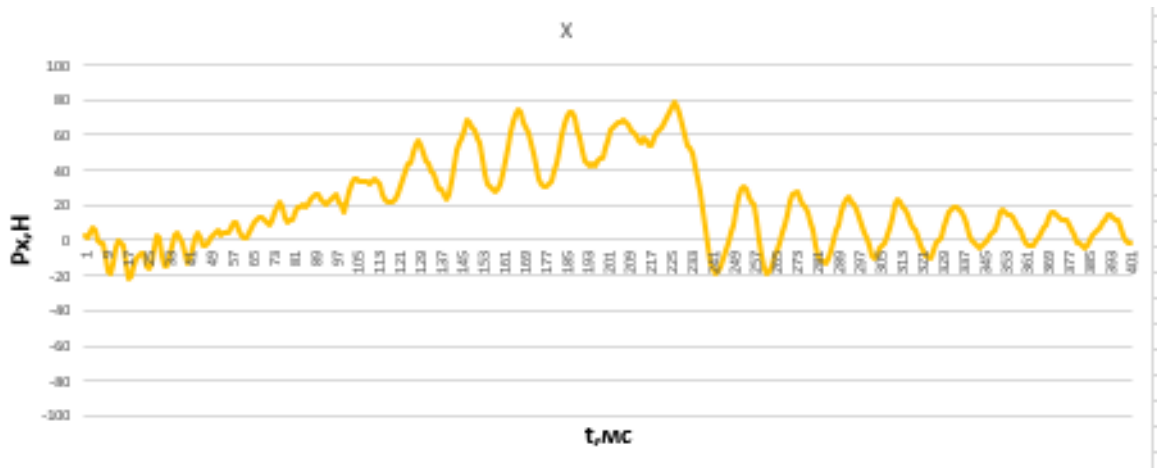


Рисунок 85 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

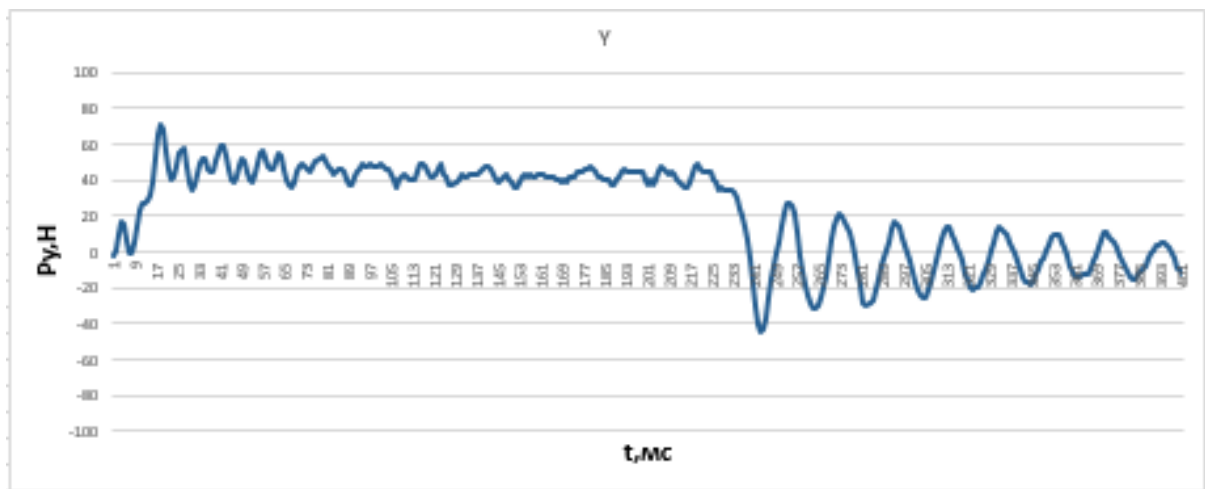


Рисунок 86– Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

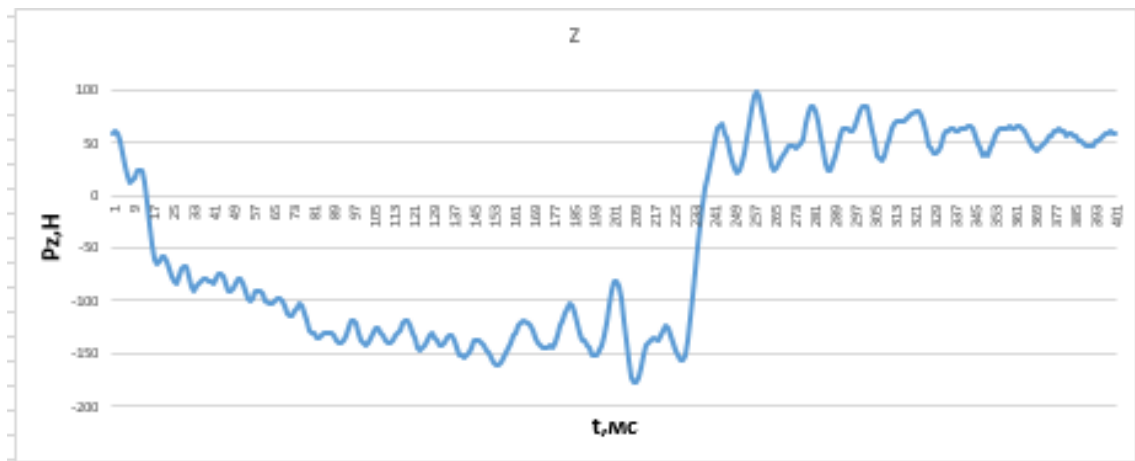


Рисунок 87– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 25(рисунки 88 – 90):

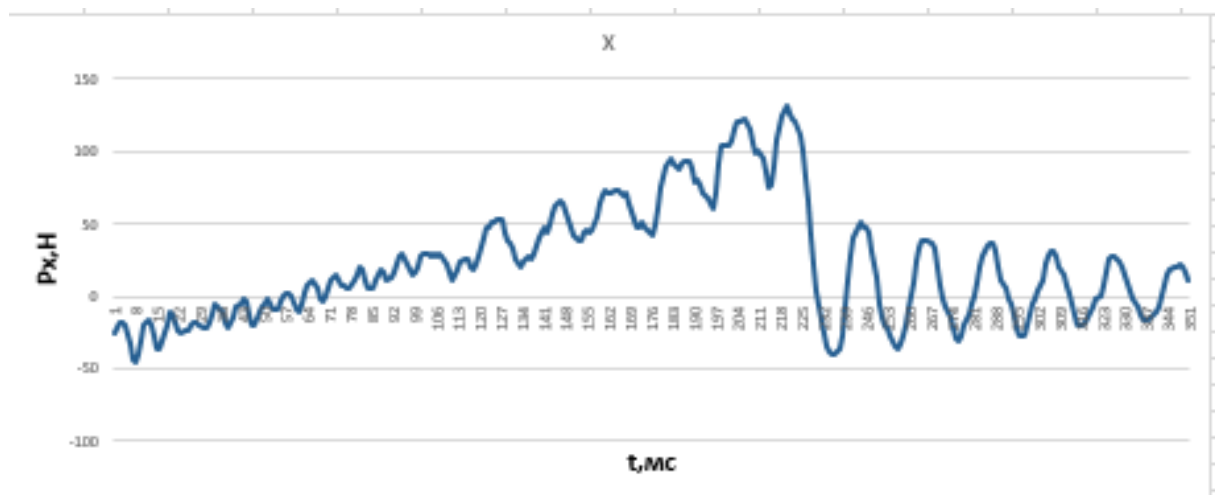


Рисунок 88 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

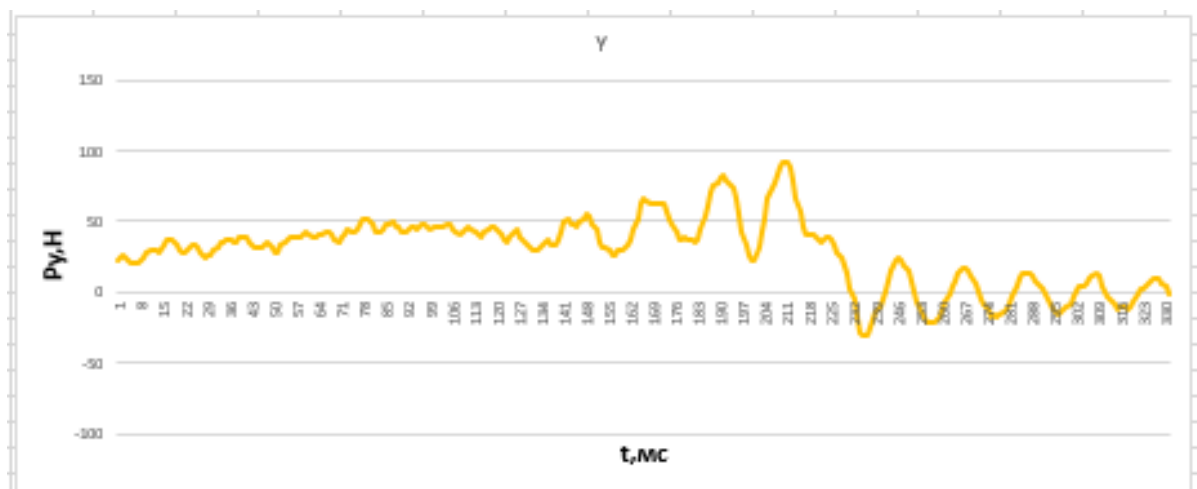


Рисунок 89 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

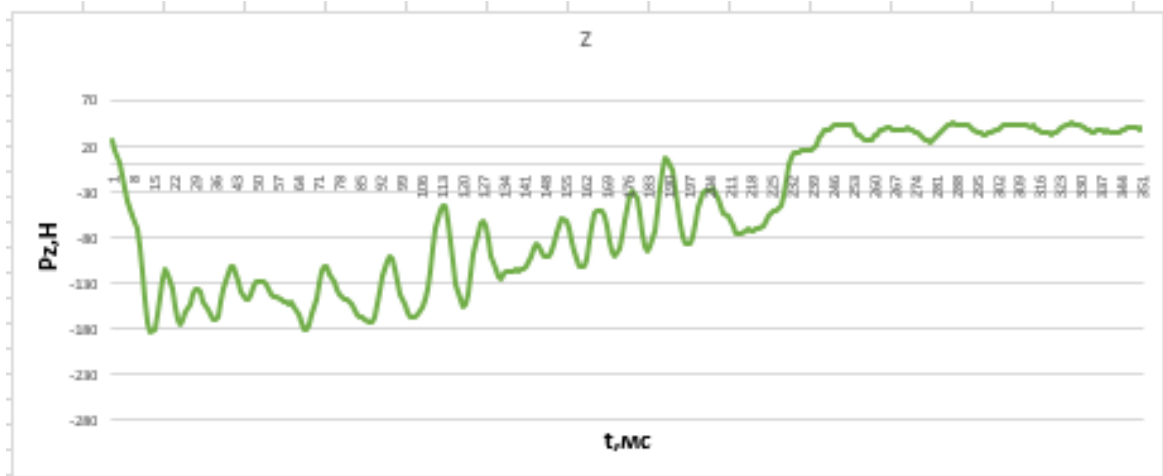


Рисунок 90– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 26(рисунки 91 – 93):



Рисунок 91 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

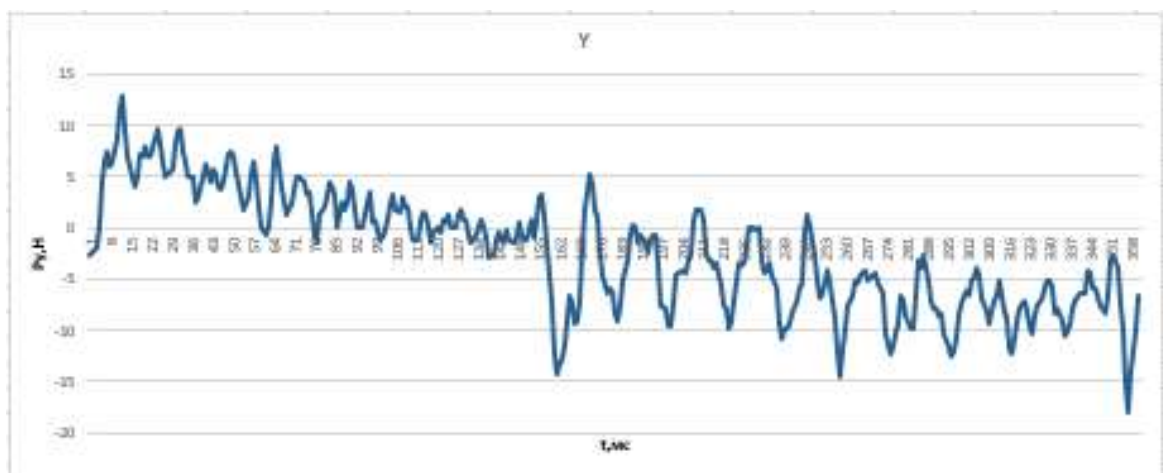


Рисунок 92 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

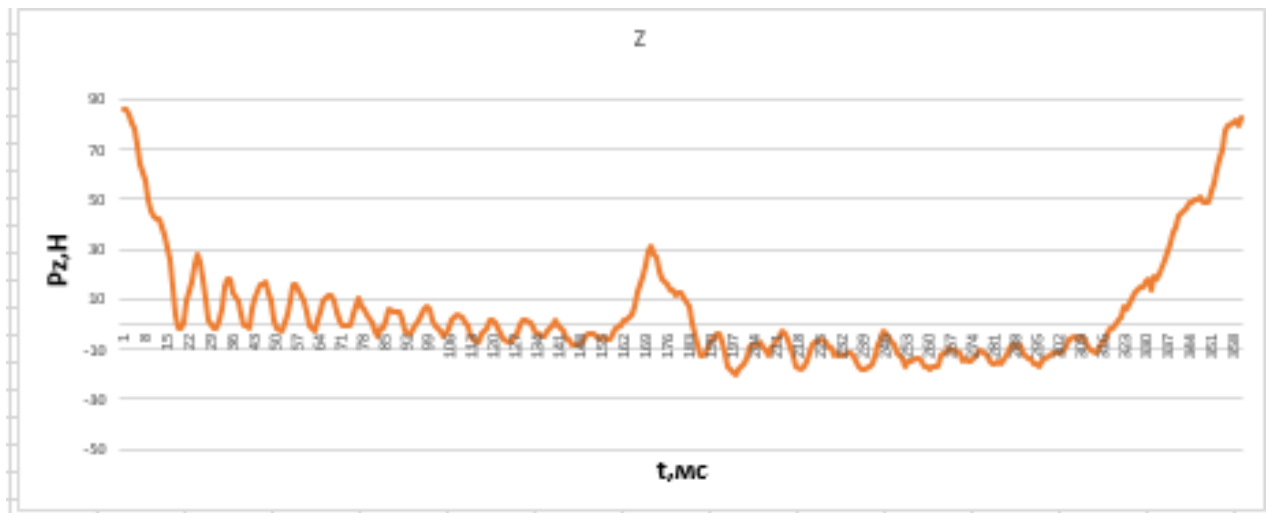


Рисунок 93– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 27(рисунки 94 – 96):

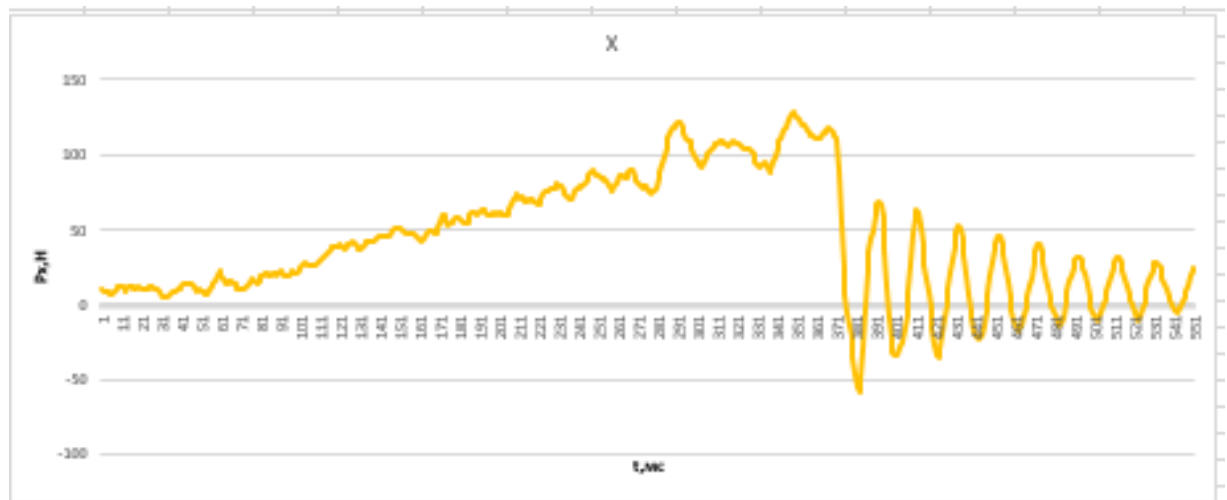


Рисунок 94 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

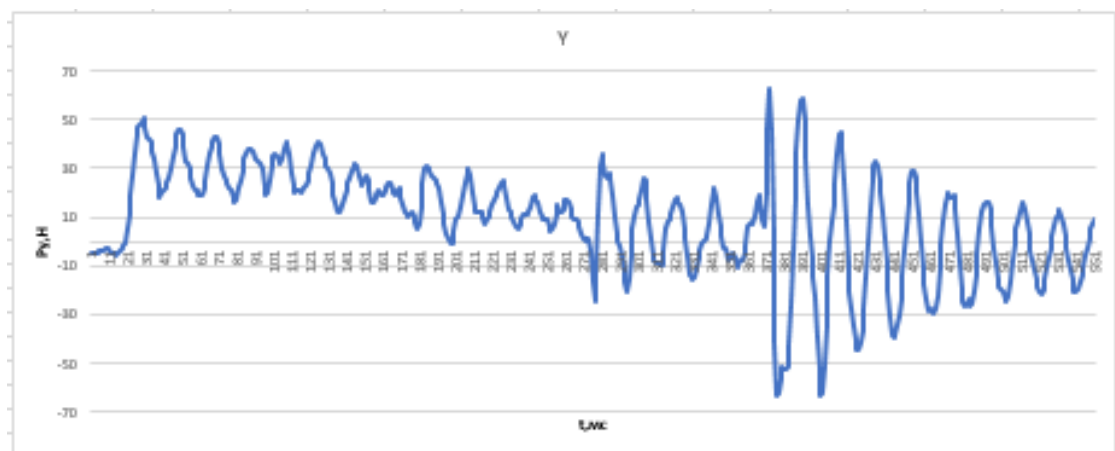


Рисунок 95 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

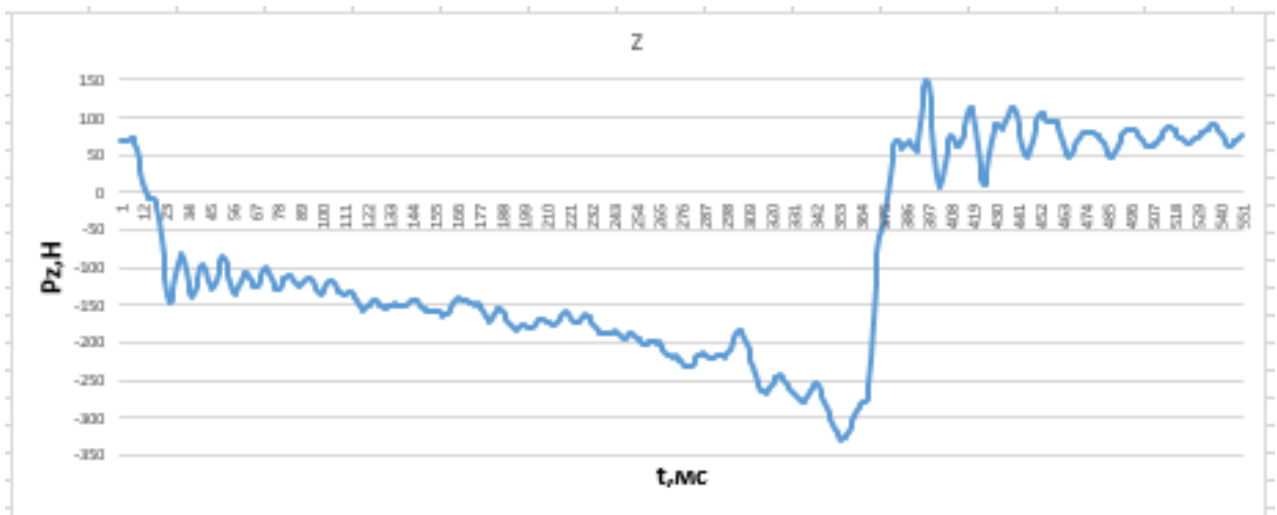


Рисунок 96– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 28(рисунки 97 – 99):

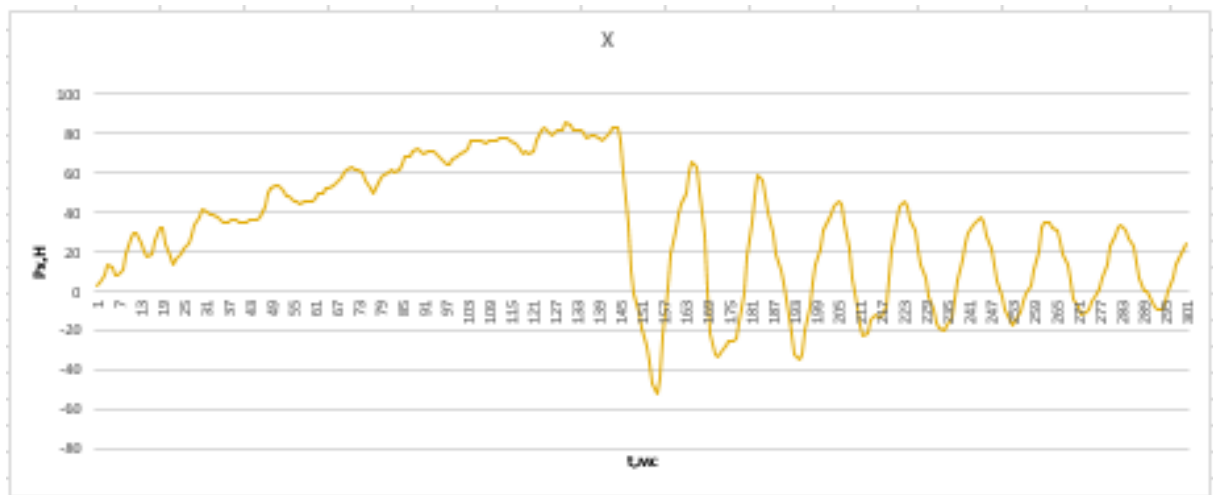


Рисунок 97 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

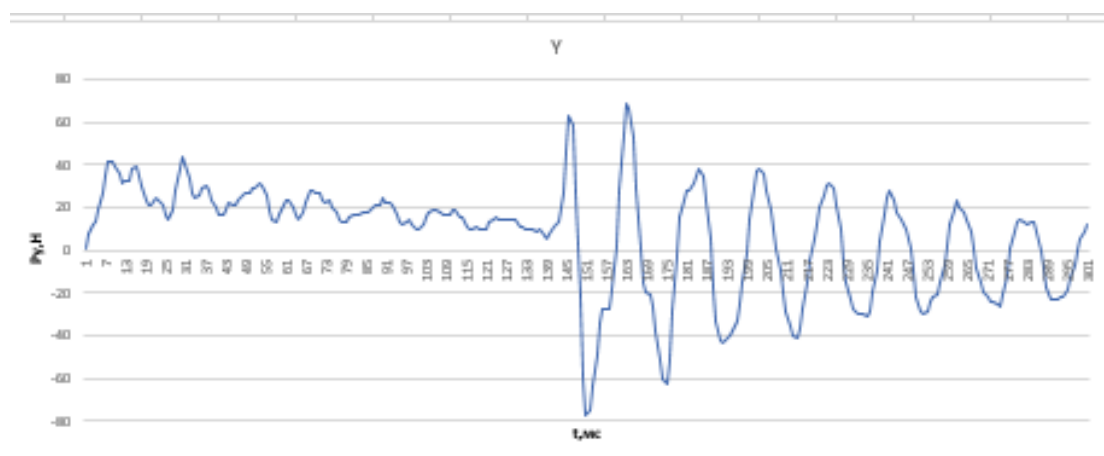


Рисунок 98 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

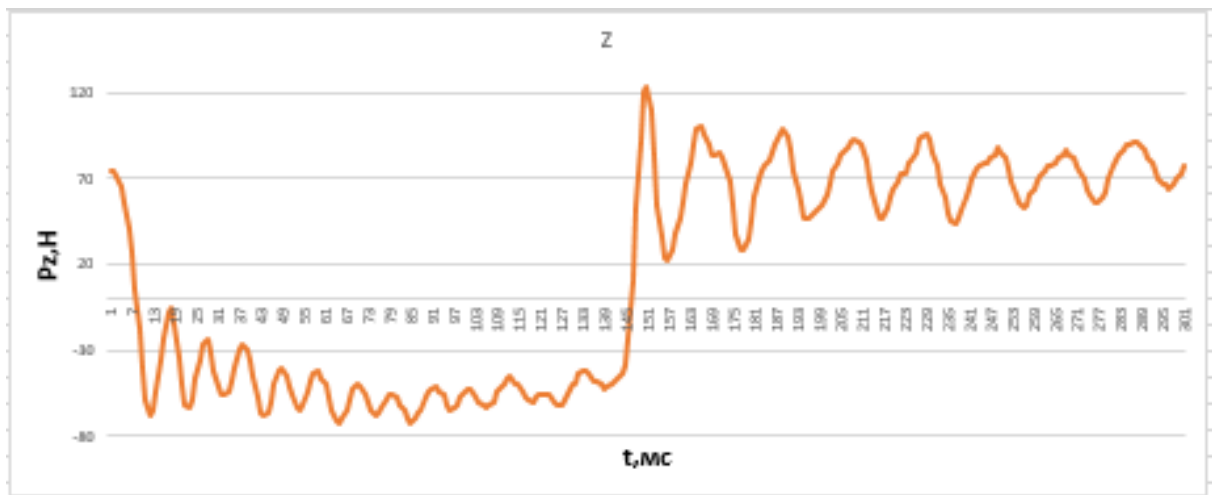


Рисунок 99– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

Опыт 29(рисунки 100 – 102):

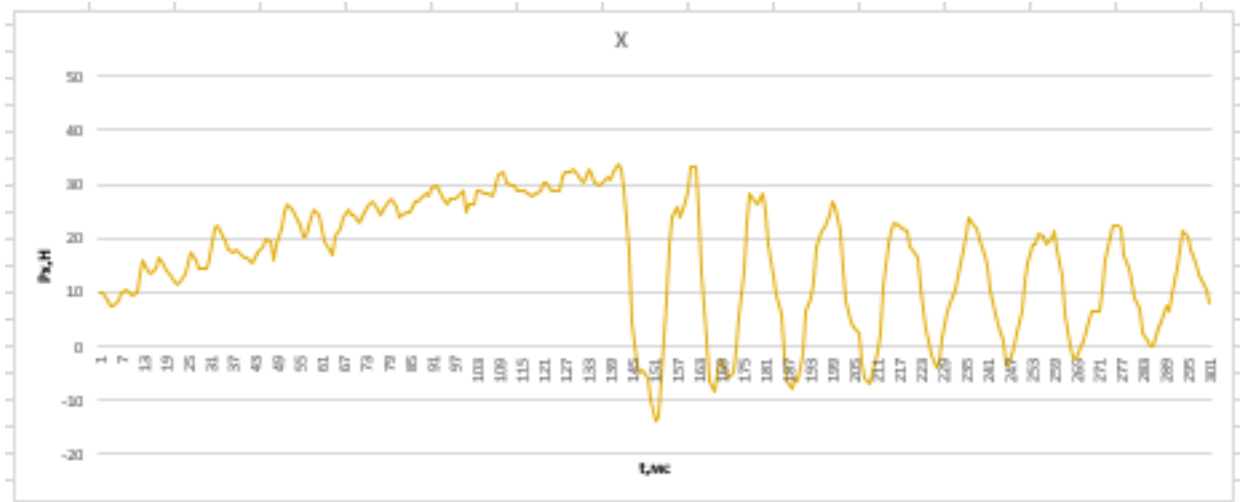


Рисунок 100 – Зависимость осевой составляющей силы резания P_x от времени

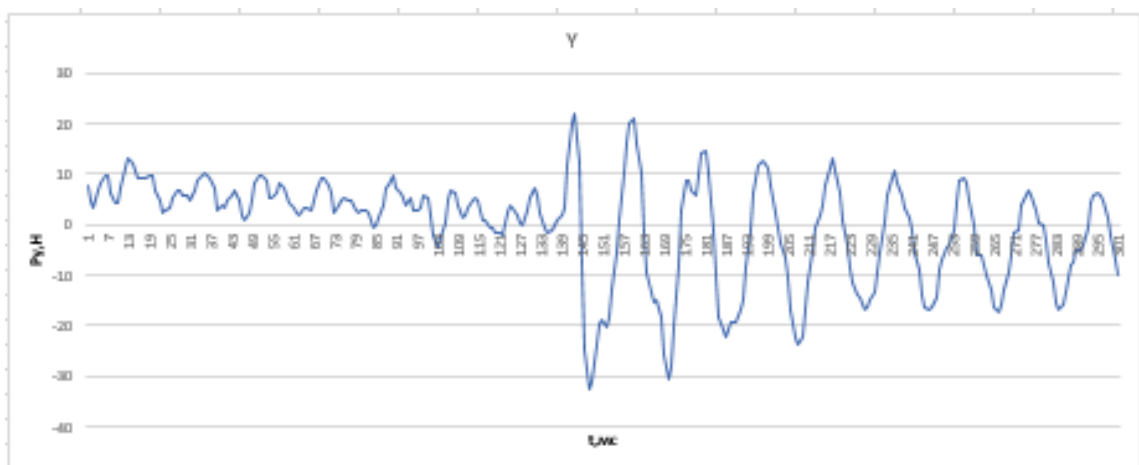


Рисунок 101 – Зависимость радиальной составляющей силы резания P_y от времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

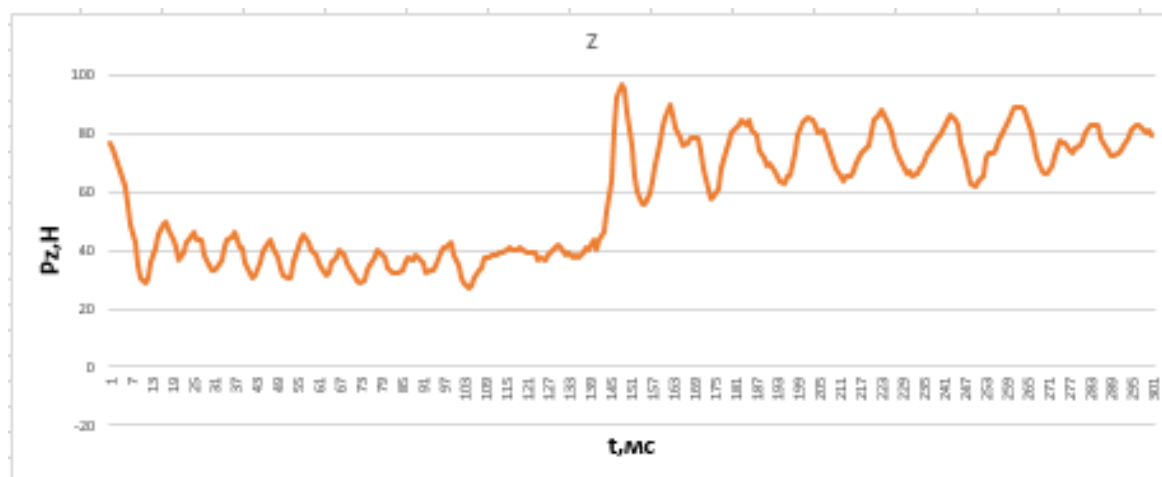


Рисунок 102– Зависимость тангенциальной составляющей силы резания P_z от времени

2.4 Анализ результатов экспериментального исследования

Обработка результатов заключалась в построении диаграммы колебаний составляющей силы резания в зависимости от определённых переменных параметров обработки: глубина фрезерования t , угла наклона режущей кромки λ , частоты вращения двигателя станка n , а также материала заготовки.

Диаграмма представлена в виде кривой (рисунок 2). С увеличением угла λ кривая составляющей силы резания монотонно возрастает. Возрастание составляющей силы резания незначительно, следовательно, изменение угла λ при других постоянных параметрах имеет небольшое влияние на силу резания.

С увеличением глубины фрезерования кривая составляющей силы резания (рисунок 2) сначала изменяется незначительно, а затем кривая изменяется более заметно, сначала монотонно убывая, а затем возрастая.

С увеличением частоты вращения кривая составляющей силы резания (рисунок 2) сначала изменяется незначительно, а затем кривая изменяется более заметно, сначала монотонно убывая, а затем возрастая.

При изменении материала с капролона на сталь 40, величина составляющей силы резания возрастает, при этом кривая составляющей силы резания по ходу времени изменяется незначительно.

2.5 Выводы по разделу

1. Для проведения исследования лучшим методом для измерения составляющих сил резания является метод непосредственного измерения сил резания при помощи электрических динамометров, т.к. принцип его действия основан на изменении параметров электрической цепи (омического сопротивления, индуктивности, емкости и т.д.) под действием сил резания. Динамометр способен измерять значения всех составляющих сил резания и показывать полную информацию о данной механической обработке.

2. При обработке результатов исследования стало известно влияние определённых переменных параметров на составляющие силы резания. При увеличении угла наклона режущей кромки λ при постоянной глубине резания и частоте вращения имеет небольшое влияние на силу резания. При изменении частоты вращения при постоянной глубине резания и углу λ кривая составляющей силы резания изменяется с большей амплитудой. То же самое можно сказать и про влияние глубины фрезерования на составляющие силы резания.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

3 АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ РОТАЦИОННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Экономическая эффективность – результативность экономической системы, выражающаяся в отношении полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам. Складывается как интегральный показатель эффективности на разных уровнях экономической системы, является итоговой характеристикой функционирования национальной экономики.

Эффективность производства — категория, которая характеризует отдачу, результативность производства. Она свидетельствует не о темпах прироста объемов производства, а о том, какой ценой, какими затратами ресурсов достигается этот прирост, то есть свидетельствует о качестве экономического роста.

Отдельно стоит рассмотреть анализ экономической эффективности обработки заготовок методом ротационного фрезерования, т.к. экономическая эффективность обработки способом ротационного фрезерования имеет свои особенности по сравнению с экономической эффективностью как общего машиностроения, так и традиционного фрезерования.

Актуальность сравнительного анализа экономической эффективности при ротационном фрезеровании заключается в том, чтобы произвести обоснованный выбор параметров обработки и режимов резания в условиях конкретного производства с точки зрения производительности и экономичности, учитывая при этом стойкость ротационной фрезы.

Экономический анализ необходим для того, чтобы понять главные процессы в экономической среде, оценить текущее состояние экономики и сформулировать ожидания в отношении ее будущего развития.

Таким образом, цель экономического анализа — установить надежную основу для оценки состояния и перспектив процесса обработки заготовок методом ротационного фрезерования.

3.1 Влияние основных факторов обработки на экономическую эффективность

При анализе экономической эффективности важными звеньями являются стойкость инструмента и производительность обработки.

Под стойкостью инструмента понимают суммарное время его работы между переточками на определенном режиме резания. Это время также называется периодом стойкости инструмента. Стойкость измеряется в минутах и может быть различной для разных случаев обработки. В зависимости от критерия износа различают два вида стойкости: физическую, когда в качестве критерия принимают допустимый износ по задней поверхности и размерную, определяемую по достижении допустимого значения радиального износа. Стойкость инструмента зависит от физико-механических свойств материала инструмента и заготовки, режима резания, геометрии инструмента и условий обработки. Стойкость – это важный технологический фактор, влияющий на производительность и стоимость обработки резанием. Чем выше стойкость инструмента, тем меньше потери времени, связанные с его заточкой и подналадкой на станке, тем меньше расход инструментов. Наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость резания. Повышение стойкости фрезы, которое можно достигнуть понижением скорости резания, подачи и глубины резания, вызывает уменьшение производительности обработки, что негативно влияет на экономическую эффективность.

Производительность при механической обработке заготовок зависит от ряда факторов, основными из которых являются степень технологичности объекта производства и его элементов, а также характер организации производственного процесса и технический уровень производства, в частности степень его механизации и автоматизации. Основными направлениями повышения производительности механической обработки являются:

- совершенствование методов изготовления заготовок с целью приближения их форм к формам готовых деталей и повышения точности их размеров;
- совершенствование методов механической обработки путем:
- механизации и автоматизации производственных процессов, осуществляемых в механических цехах;
- осуществления концентрации технологического процесса применением многошпиндельных и многорезцовых станков, позволяющих одновременное выполнение различных переходов и одновременную обработку нескольких заготовок;
- повышения режимов резания за счет применения высококачественных материалов и рациональных конструкций режущих инструментов, использования наиболее современных станков и приспособлений;
- уменьшения времени на установку, закрепление заготовок и раскрепление обработанных деталей на станках применением более совершенных приспособлений с пневматическими и гидравлическими приводами и уменьшения времени на управление станками и их автоматизацией;

Отдельно стоит рассмотреть анализ экономической эффективности обработки заготовок методом ротационного фрезерования, т.к. этот процесс имеет свои особенности по сравнению с экономической эффективностью как общего машиностроения, так и традиционного фрезерования.

Одним из главных факторов производительности при обработке заготовок методом ротационного фрезерования являются:

- глубина фрезерования;
- подача.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2 Анализ результатов экспериментального исследования с точки зрения экономической эффективности

После проведения экспериментального исследования была рассмотрена зависимость силы резания от параметров обработки (угол λ , глубина фрезерования t и подача S). Зависимость составляющей силы резания P_x от угла наклона режущей кромки λ представлена на рисунке 103.

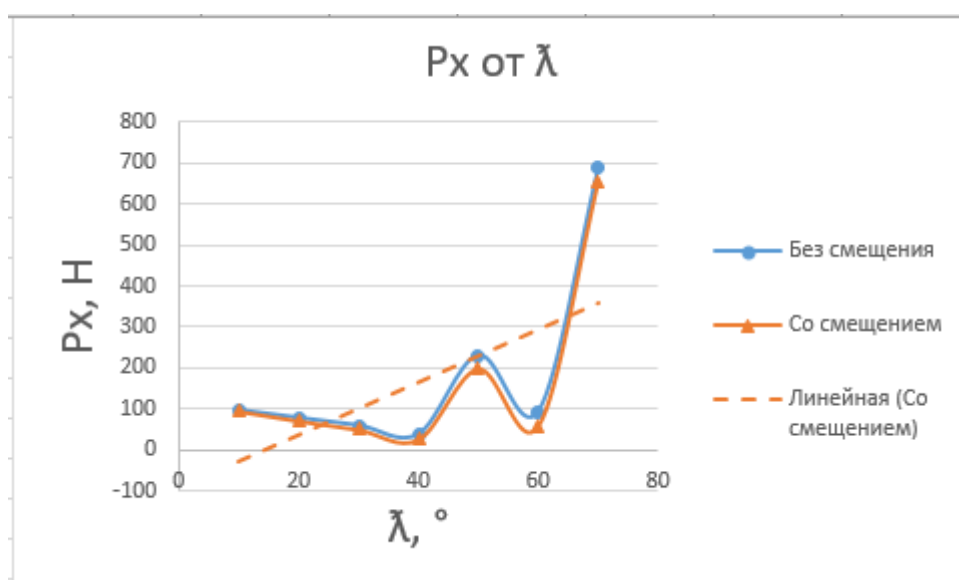


Рисунок 103– Зависимость составляющей силы резания P_x от угла наклона режущей кромки λ

Осевая составляющая силы резания P_x показывает максимальное значение при $\lambda=50^\circ$.

Зависимость составляющей силы резания P_y от угла наклона режущей кромки λ представлена на рисунке 104.

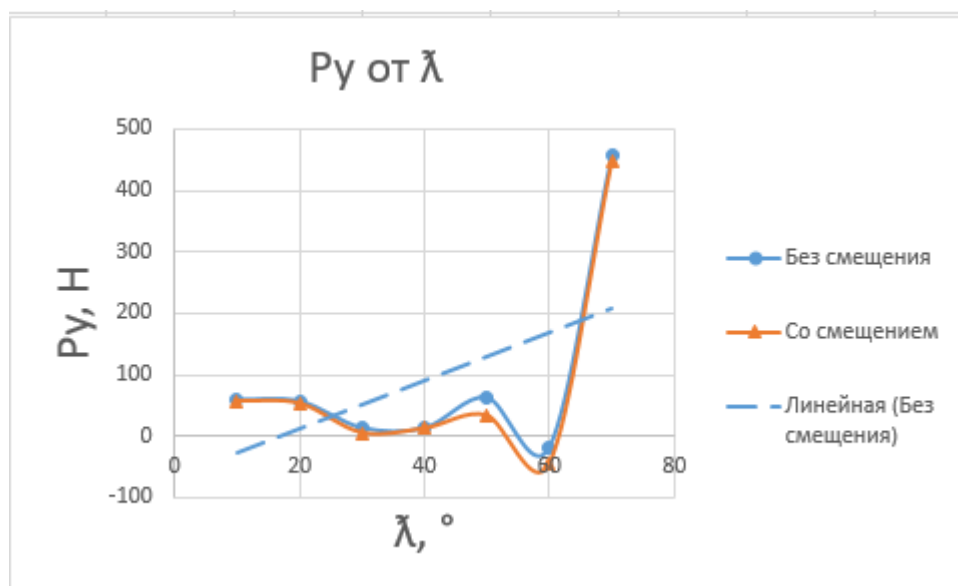


Рисунок 104 – Зависимость составляющей силы резания P_y от угла наклона режущей кромки λ

Радиальная составляющая силы резания P_y показывает максимальное значение при $\lambda=50^\circ$.

Зависимость составляющей силы резания P_z от угла наклона режущей кромки λ представлена на рисунке 105.

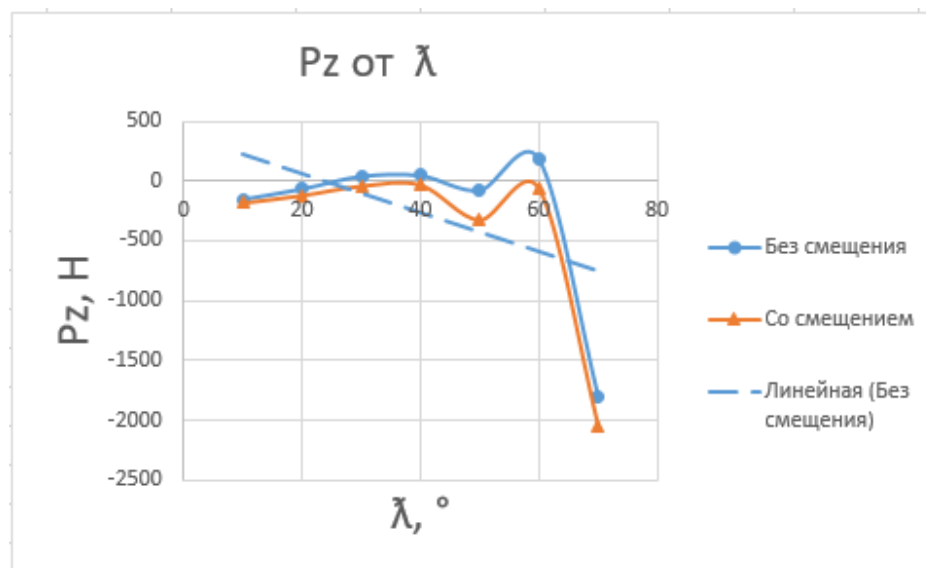


Рисунок 105 – Зависимость составляющей силы резания P_z от угла наклона режущей кромки λ

Тангенциальная составляющая силы резания P_z показывает максимальное значение при $\lambda=50^\circ$.

Так как инструменту требуется высокая стойкость нужно стремиться к наименьшей силе резания при обработке. Из рисунков 103 – 105 видно, что лучшая стойкость обеспечивается при угле наклона режущей кромки $\lambda=40^\circ$.

Зависимость составляющей силы резания P_x от глубины t представлена на рисунке 106.

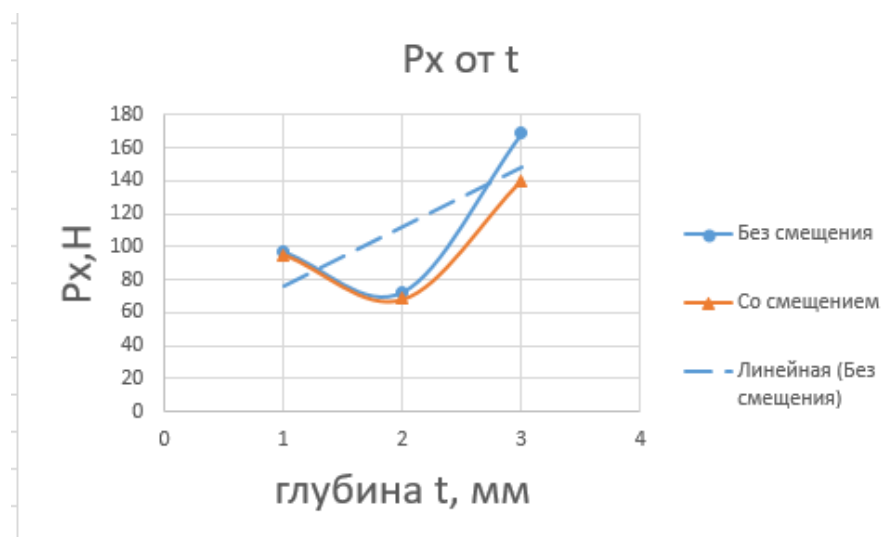


Рисунок 106 – Зависимость составляющей силы резания P_x от глубины t

Так как глубина является важной составляющей производительности. Поэтому нужно стремиться к наибольшему значению глубины при обработке. Из рисунков 106-108 видно, что лучшая производительность обеспечивается при глубине $t=3$ мм.

Зависимость составляющей силы резания P_y от глубины t представлена на рисунке 107.

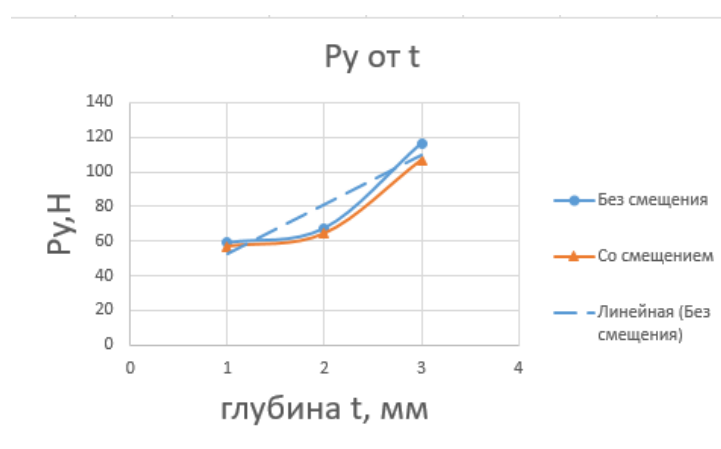


Рисунок 107 – Зависимость составляющей силы резания P_y от глубины t

Зависимость составляющей силы резания P_z от глубины t представлена на рисунке 108.

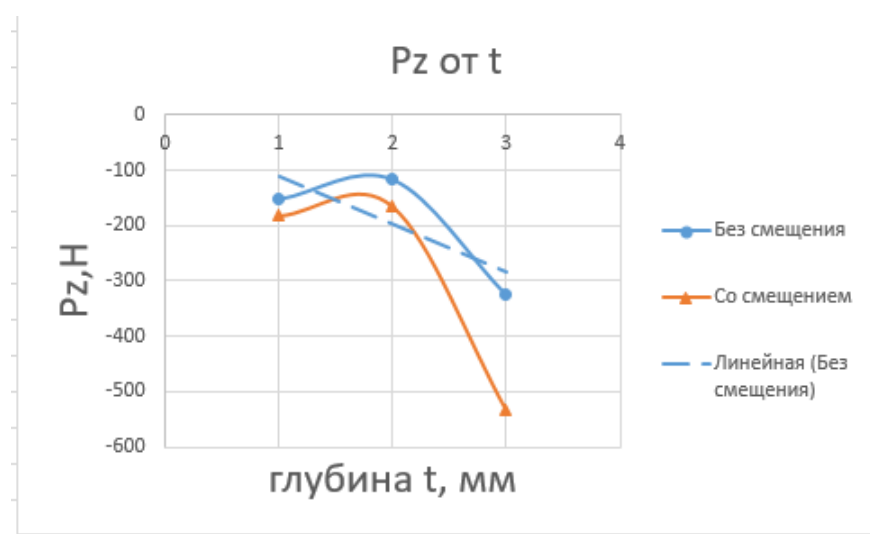


Рисунок 108 – Зависимость составляющей силы резания P_z от глубины t
 Зависимость составляющей силы резания P_x от подачи s представлена на рисунке 109.

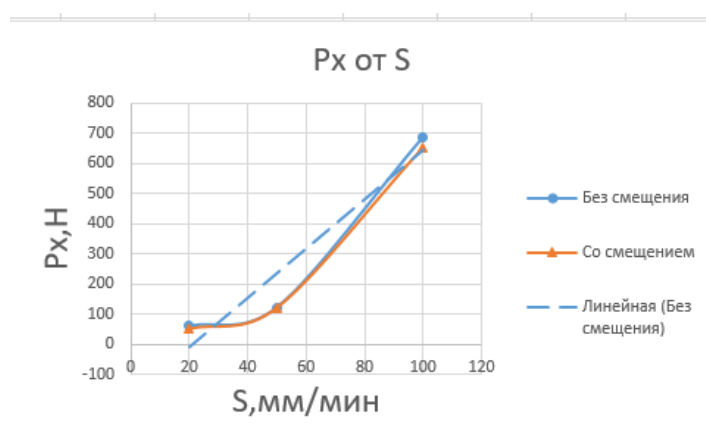


Рисунок 109 – Зависимость составляющей силы резания P_x от подачи s
 Так как подача является важной составляющей производительности. Поэтому нужно стремиться к наибольшему значению подачи при обработке. Из рисунков 109-111 видно, что лучшая производительность обеспечивается при подаче $s=100$ мм/мин.

Зависимость составляющей силы резания P_y от подачи s представлена на рисунке 110

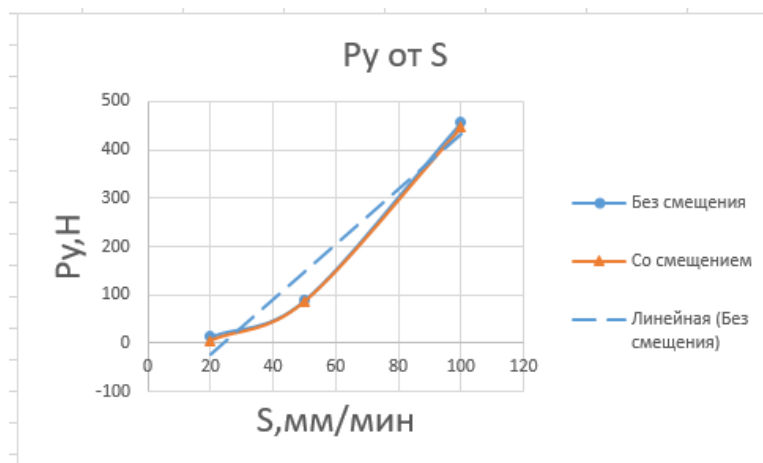


Рисунок 110 – Зависимость составляющей силы резания P_y от подачи s
 Зависимость составляющей силы резания P_z от подачи s представлена на рисунке 111.

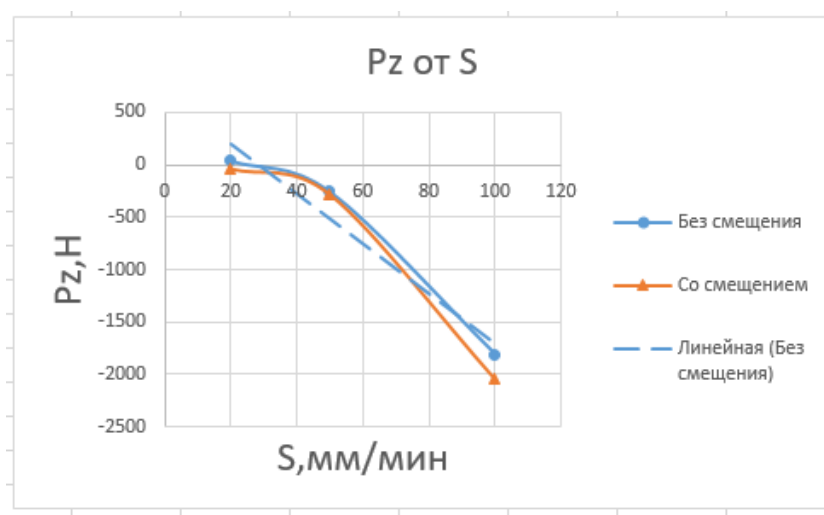


Рисунок 111 – Зависимость составляющей силы резания P_z от подачи s
 После проведённого анализа экономической эффективности подберём наиболее эффективные режимы резания для обработки. Оптимальными параметрами при обработке заготовок способом ротационного фрезерования являются: угол наклона режущей кромки $\lambda=40^\circ$, глубина фрезерования $t=3$ мм, подача $s=100$ мм/мин.

3.3 Выводы по разделу

1. В данном разделе было рассмотрено влияние основных факторов обработки на экономическую эффективность. Было установлено, что на экономическую эффективность обработки деталей методом

ротационного фрезерования влияют производительность обработки и стойкость инструмента.

2. Были рассмотрены способы повышения производительности обработки: совершенствование методов изготовления заготовок с целью приближения их форм к формам готовых деталей и повышения точности их размеров; совершенствование методов механической обработки; повышения режимов резания за счет применения высококачественных материалов и рациональных конструкций режущих инструментов, использования наиболее современных станков и приспособлений; уменьшения времени на установку, закрепление заготовок и раскрепление обработанных деталей на станках применением более совершенных приспособлений с пневматическими и гидравлическими приводами и уменьшения времени на управление станками и их автоматизацией. Определены главные факторы, влияющие на производительность обработки – глубина и подача.
3. В данном разделе был произведён анализ результатов экспериментального исследования и подобраны оптимальные параметры для обработки. Рассмотрена зависимость составляющих сил резания от следующих параметров: угла наклона режущей кромки λ , глубины фрезерования t и подачи s . Подобраны оптимальные параметры при обработке заготовок способом ротационного фрезерования.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Были рассмотрены способы измерения сил резания при ротационном фрезеровании. После рассмотрения различных методов измерения силы резания, был выбран метод непосредственного измерения сил резания при помощи динамометров.
2. Рассмотрены особенности и кинематика процесса ротационного фрезерования. Несмотря на кажущуюся простоту, процесс ротационного фрезерования сложнее, чем может показаться на первый взгляд: качество обработанной поверхности, точность формы, во многом зависит от корректности назначаемых параметров технологической наладки и режущего инструмента, таких как величина смещения фрезы, диаметр фрезы, главный и вспомогательный углы в плане.
3. Разработана методика проведения экспериментального исследования сил резания при ротационном фрезеровании, которая позволяет отследить зависимость составляющих силы резания от следующих параметров обработки: угла наклона режущей кромки, подачи, глубины фрезерования и частоты вращения шпинделя. Составлены диаграммы зависимости составляющих силы резания при ротационном фрезеровании.
4. Проведён анализ результатов экспериментального исследования. С увеличением угла λ кривая составляющей силы резания монотонно возрастает. Возрастание составляющей силы резания незначительно, следовательно, изменение угла λ при других постоянных параметрах имеет небольшое влияние на силу резания. С увеличением глубины фрезерования кривая составляющей силы резания сначала изменяется незначительно, а затем кривая изменяется более заметно, сначала монотонно убывая, а затем возрастая. С увеличением частоты вращения

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

кривая составляющей силы резания сначала изменяется незначительно, а затем кривая изменяется более заметно, сначала монотонно убывая, а затем возрастая.

5. Проведён анализ экономической эффективности обработки методом ротационного фрезерования. Рассмотрено влияние основных факторов обработки на экономическую эффективность – производительность и стойкость инструмента, также рассмотрены способы повышения производительности обработки, выявлены главные факторы, влияющие на производительность обработки – глубина и подача, подобраны оптимальные параметры при обработке заготовок способом ротационного фрезерования.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аскалонова, Т.А. Подготовка магистерской диссертации: учебное пособие / А.Т. Аскалонова, А.В. Балашов, С.Л. Леонов и др.: под ред., Е.Ю. Татаркина. – 2-ое изд., перераб. и доп. – Старый оскол: ТНТ, 2012. – 248 с.;

2. Шаламов, В.Г. Научно-исследовательский семинар по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»: учебное пособие / В.Г. Шаламов – Челябинск: издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 85 с.;

3. Ящерицын, П.И. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. - Мн.: Наука и техника, 1987.-229 с.;

4. Коновалов, Е. Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, А.В. Соусь. Минск: Наука и техника, 1972. 272 с.;

5. Бобров, В. Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В.Ф. Бобров, Д.Е. Иерусалимский. М.: Машиностроение, 1972. - 112 с.;

6. Губанова, А.А. Улучшение качества поверхности при ротационном фрезеровании на основе управления динамикой процесса / А.А. Губанова. - Мн.: БХВ – Петербург, 2016. – 186 с.;

7. Грановский, Г.И. Кинематика резания / Г.И. Грановский. М.: Машгиз, 1948. – 200 с.;

8. Коновалов, Е.Г. Теория формообразования формообразования поверхностей / Е.Г. Коновалов. Мн.: Наука и техника, 1968. – 374 с.;

9. Шаламов, В.Г. Кинематика ротационного и традиционного резания / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин, М.Н. Гатитулин / Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 2009-3. С. 13 – 17.;

10. Шаламов, В.Г. Реализация системного подхода к процессу ротационного фрезерования: Учебное пособие / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 59 с.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.171.06.ПЗ.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73