МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта	Кафедра Технологии и оборудование машиностроения
Направление подготовки	15.03.02 – Технологические машины и оборудование
Профиль подготовки	Металлообрабатывающее оборудование и технологическая оснастка

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

Проект гибкой станочной системы на базе двух вертикально – фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5

ПГУ 1.2-15.03.02.09.00.00 ПЗ
(обозначение ВКР)

Студент гр. 22МС1 _____ Шамсотдинов Р.М.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Руководитель _____ Истомина Ю.В.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Нормоконтролер _____ Большаков Г.С.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 05.06.2026 г. № 12)

Заведующий кафедрой _____ Зверовщиков А.Е.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 18.06.2026 г. № 3)

Секретарь ГЭК _____ Истомина Ю.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза 2026

«Утверждаю»

_____

Заведующий кафедрой ТОМ А. Е. Зверовщиков

«_____»_____2026 г.

ЗАДАНИЕ

на бакалаврскую работу

1. Студент гр. 22МС1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Шамсотдинов Радмир Маратович

2. Руководитель бакалаврской работы доцент Истомина Ю. В.

3. Время проектирования с 04 июня 2026 г. по 02 июля 2026 г.

4. Место преддипломной практики АО «Пензтяжпромарматура», г. Пенза

5. Тема бакалаврской работы

Проект гибкой станочной системы на базе двух вертикально-фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5

Тема утверждена приказом ПГУ № 350/о от 07.04.2026 г.

6. Техническое задание (цель проектирования, объект проектирования, его технические характеристики и т.п.)

разработать проект гибкой станочной системы для механической обработки корпусных заготовок из черных и цветных сплавов на базе двух вертикально-фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5 и напольного промышленного робота по типу модели Kawasaki; выполнить модернизацию привода главного движения вертикально-фрезерного станка

7. Объем и содержание основной части работы

7.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчеты, обоснования, описания)

должна содержать описание и технические характеристики вертикально-фрезерного станка с ЧПУ по типу модели ГФ2171С5; описание и технические характеристики напольного промышленного робота по типу модели Kawasaki; алгоритм работы гибкой станочной системы; кинематический и силовой расчеты привода главного движения вертикально-фрезерного станка с ЧПУ; расчет привода подач станка; определение грузоподъемности и расчет основных узлов промышленного робота; анализ гибкой станочной системы на основе теории массового обслуживания; выводы по работе

7.2. Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов):

1. Общий вид гибкой станочной системы – 1 лист формата А1

2. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка с ЧПУ – 1 лист формата А1

3. Сборочный чертеж привода главного движения станка – 3 листа формата А1

4. Сборочный чертеж привода подач станка - 1 лист формата А1

5. Циклограмма работы гибкой станочной системы – 1 лист формата А1

8. Особые требования по выполнению разделов:

нет

9. Календарный график выполнения выпускной работы

Наименование этапов работы	Объем работы,%	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Общий вид гибкой станочной системы	15	до 06.06.2026 г.	
2. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка с ЧПУ	10	до 07.06.2026 г.	
3. Сборочный чертеж привода главного движения станка	25	до 08.06.2026 г.	
4. Сборочный чертеж привода подач станка	20	до 11.06.2026 г.	
5. Циклограмма работы гибкой станочной системы	5	до 12.06.2026 г.	
6. Оформление пояснительной записки	25	до 17.06.2026 г.	

Дата выдачи задания «04» июня 2026 г. Задание к исполнению принял

Руководитель работы

«04» июня 2026 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта С. Ю. Киреев

допустить «____» 2026 г.

Реферат

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы содержит 147 листов формата А4, 26 рисунков, 6 таблиц, 13 источников литературы, 2 приложения. Графическая часть содержит 9 листов формата А1.

МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК, ГИБКАЯ СТАНОЧНАЯ СИСТЕМА, НАПОЛЬНЫЙ РОБОТ, ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЗУБЧАТОЕ КОЛЕСО, ШПИНДЕЛЬ, ПРИВОД ПОДАЧ

Объектом проектирования является гибкая станочная система для механической обработки корпусных заготовок из черных и цветных металлов на базе двух вертикально – фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5 и напольного промышленного робота по типу модели KAWASAKI BX200L.

В пояснительной записке представлены общие сведения о базовой модели станка; выполнен расчет привода главного движения; определены числа и модули зубьев в передачах, диаметры валов и межцентровые расстояния между ними, геометрические параметры зубчатых колес; представлена схема установки подшипников шпиндельного узла; проведен расчет валов на прочность, расчет шпиндельного узла на жесткость, проверочный расчет зубчатых колес, расчет привода подач.

Также в работе приведены данные о базовой модели напольного промышленного робота, алгоритм работы спроектированной гибкой станочной системы; выполнен расчет грузоподъёмности робота, а также анализ станочной системы на основе теории массового обслуживания.

					ПГУ 1.2 – 15.03.02.09.00.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Шамсотдинов Р.М.			Проект гибкой станочной системы на базе двух вертикально-фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5 Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Истомина Ю.В.				У	2	
Н. контр.		Большаков Г.С.				Каф. «ТОМ», гр. 22МС1		
Утв.								

Содержание

1 Общие сведения о базовой модели станка ГФ2171С5 7
2 График частот вращения шпинделя 11
3 Числа зубьев в передачах 18
4 Кинематическая схема привода главного движения 21
5 Эскизное оформление привода главного движения 22
5.1 Кинематические и силовые характеристики 22
5.2 Модули зубьев в передачах 24
5.3 Диаметры валов 27
5.4 Межцентровые расстояния между валами 29
5.5 Геометрические параметры зубчатых колес 31
5.6 Схема установки подшипников шпиндельного узла 36
6 Расчет валов 38
6.1 Определяем окружные и радиальные силы для каждой передачи 38
6.2 Суммарные реакции опор 62
7 Расчет шпиндельного узла на жесткость 64
7.1 Уточненный расчет опор шпинделя 66
8 Расчет соединений вал-ступица 68
8.1 Расчет шлицевых соединений 68
8.2 Расчет шпоночных соединений 70
9 Выбор подшипников качения 75
9.1 Выбор подшипников по динамической грузоподъемности 75
10 Расчет зубчатых колес 82
11 Расчет привода подач 96
11.1 Расчет направляющих скольжения 96
11.2 Определение длины, диаметра и шага резьбы ходового винта 97
11.3 Расчет винта на продольную устойчивость 98
11.4 Расчет винта на виброустройчивость 99
11.5 Расчет передачи винт-гайка качения на статическую прочность 100

11.6 Расчет передачи винт-гайка качения на долговечность 101
12 Выбор высокомоментного электродвигателя для привода подач 103
12.1 Определение требуемого диапазона частот вращения двигателя ... 103
12.2 Определение приведенных к валу двигателя моментов сопротивления от сил резания и сил трения..... 103
12.3 Предварительный выбор электродвигателя 105
12.4 Определение момента сопротивления преодолеваемого двигателем при разгоне. 105
12.5 Проверка выбранного двигателя по среднему динамическому моменту..... 106
12.6 Проверка двигателя по моменту, допускаемому при рабочих кратковременных режимах..... 107
12.7 Проверка двигателя по среднеквадратическому моменту 107
13 Проектирование гибкой станочной системы 11
13.1 Общие сведения о базовой модели напольного промышленного робота..... 111
13.2 Проектирование напольного промышленного робота 115
13.3 Расчет промышленного робота..... 117
13.4 Определение номинальной грузоподъемности..... 117
13.5 Расчет механизма вертикального перемещения 118
13.6 Расчет механизма вращения траверсы 120
14 Разработка алгоритма работы ГСС и расчет времени обслуживания .. 126
15 Анализ ГСС на основе теории массового обслуживания 130
Заключение..... 115
Список использованных источников и литературы..... 137
Приложение А. Спецификации 139
Приложение Б. Ведомость ВКР..... 146

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены: расчет привода главного движения; определены числа и модули зубьев в передачах, диаметры валов и межцентровые расстояния между ними, геометрические параметры зубчатых колес; представлена схема установки подшипников шпиндельного узла; проведен расчет валов на прочность, расчет шпиндельного узла на жесткость, проверочный расчет зубчатых колес, расчет привода подач; разработан алгоритм работы гибкой станочной системы, расчет грузоподъемности напольного промышленного робота; проведен анализ станочной системы на основе теории массового обслуживания.

Список использованных источников и литературы

1. Михеев И.И., Ярмоленко Е.Н. Кинематический расчет приводов станков: Учеб. пособие. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 100 с.

2. Михеев И.И. Расчет и конструирование металлорежущих станков : Учеб. пособие / И.И. Михеев, Е.Н. Ярмоленко, В.Н. Денисов. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 152 с.

3. Пантелеев, В.Ф. Расчеты деталей машин : учеб. пособие / В.Ф. Пантелеев, Д.В. Кочетков. – Изд. 4-е, доп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 200 с.

4. Металлорежущие станки : учебник. В 2 т. / Т.М. Авраамова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др. ; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. – М. : Машиностроение, 2011. – 608 с.

5. Металлорежущие станки : учебник. В 2 т. / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др. ; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. – М. : Машиностроение, 2011. – 586 с.

6. Пантелеев В.Ф. Кинематический и энергетический расчеты механических приводов машин : метод. указания и задания к курсовому проектированию по деталям машин / В.Ф. Пантелеев, Д.В. Кочетков ; под ред. В.В. Смогунова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – 80 с.

7. Пантелеев В.Ф. Выбор и расчет радиальных и радиально-упорных подшипников качения : метод. указания к курсовому проектированию по деталям машин / В.Ф. Пантелеев, Д.В. Кочетков ; под ред. В.В. Смогунова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 56 с.

8. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении : Альбом схем и чертежей : Учеб. пособие для втузов / Ю.М. Соломенцев, К.П. Жуков, Ю.А. Павлов и др. ; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1989. – 192 с.

9. Альбом станочного оборудования и автоматизированных производств. Кинематические схемы, конструкции, компоновки станков, станочных модулей и

станочных комплексов. Ч.1 / В.В. Бушуев, А.К. Шульга, А.А. Какойло и др. Станкин. – М. : ВНИИТЭМР, 1991. – 112 с.

10. Альбом станочного оборудования и автоматизированных производств. Кинематические схемы, конструкции, компоновки станков, станочных модулей и станочных комплексов. Ч.2 / В.В. Бушуев, А.К. Шульга, А.А. Какойло и др. Станкин. – М. : ВНИИТЭМР, 1991. – 108 с.

11. Альбом примеров конструкций узлов металлорежущих станков (Компоновочные схемы, конструкции, примеры исполнения) : метод. указания / И.И. Михеев, Е.Н. Ярмоленко, В.О. Трилисский, А.В. Липов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2000. – 164 с.

12. Атлас кинематических схем металлорежущих станков / И.И. Михеев, С.В. Эрленеков, В.В. Панчурин, А.В. Липов. – Пенза : Изд-во ППИ, 1993. – 60 с.

13. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3-х Томах – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006.

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

О Т З Ы В

на бакалаврскую работу

Шамсотдинова Радмира Маратовича

(фамилия, имя и отчество)

Тема работы: Проект гибкой станочной системы на базе двух вертикально-фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5

Выпускная квалификационная работа выполнена полностью в соответствии с выданным заданием.

В работе спроектирована гибкая станочная система для механической обработки корпусных заготовок из черных и цветных сплавов на базе двух вертикально-фрезерных станков по типу модели ГФ2171С5 и напольного промышленного робота по типу модели Kawasaki, а также выполнена модернизация привода главного движения вертикально-фрезерного станка. Кроме того, представлен алгоритм работы станочной системы; выполнены кинематический и силовой расчеты привода главного движения вертикально-фрезерного станка, а также расчет привода подач; расчет основных узлов промышленного робота; проведен анализ гибкой станочной системы на основе теории массового обслуживания.

Все разделы пояснительной записки и чертежи выполнены в соответствии с действующими стандартами.

В процессе подготовки бакалаврской работы Шамсотдинов Р. М. показал хорошие знания общетехнических и профессиональных дисциплин, умение работать с технической и справочной литературой, самостоятельно решать прикладные задачи.

Считаю, что выпускная квалификационная работа может быть допущена к защите и заслуживает оценки ОТЛИЧНО, а Шамсотдинов Р. М. – присвоения квалификации БАКАЛАВР по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Руководитель ВКР:
к. т. н., доцент — Ю. В. Истомина