

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО
ВЕРСТАТА ДЛЯ 3D ОБРОБКИ**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

Групи: ІМ(МОРВС)-42

Красюк Микола Іванович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Полінкевич Роман Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 2025 р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Придальний Борис Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

АНОТАЦІЯ

Красюк М.І. Модернізація багатоопераційного верстата для 3D обробки. Рукопис. Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Металообробне обладнання та виробничі роботизовані системи» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків та пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

В даній випускній роботі на тему: “Модернізація багатоопераційного верстата для 3D обробки” зроблено літературний огляд, в якому наведені загальні відомості про багатоопераційний верстат. Проведено аналіз існуючих верстатів та систем для 3D обробки і розрахунок та дослідження передачі гвинт-гайка кочення. Зроблені відповідні розрахунки та графоаналітичний аналіз. У пояснювальній записці приведені опис кінематичної схеми і роботи основних вузлів верстата.

Виконаний розділ з охорони праці. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці.

Ключові слова: копір, вал, гвинт, підшипник, 3D обробка.

ANNOTATION

Krasyuk M.I. Modernization of a multi-operation machine for 3D processing. Manuscript. Bachelor's qualification work OP "Metalworking equipment and production robotic systems" specialty 131 Applied mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions and proposals, a list of sources used, appendices.

In this graduation work on the topic: "Modernization of a multi-operation machine for 3D processing" a literature review is made, which provides general information about the multi-operation machine. An analysis of existing machines and systems for 3D processing and calculation and study of the screw-nut rolling transmission are carried out. The corresponding calculations and graph-analytical analysis are made. The explanatory note provides a description of the kinematic scheme and the operation of the main nodes of the machine.

A section on labor protection is completed. Justification of the relevance of solving labor protection issues.

Keywords: copier, shaft, screw, bearing, 3D processing.

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Редько Р.Г.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Красюку Миколі Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Модернізація багатоопераційного верстата для 3D обробки

Керівник роботи: Полінкевич Роман Миколайович, .к.т.н., доцент кафедри ПМіМ

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 31 » грудня 2024 р. № 910/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «03» _____ 06 _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Паспорти верстатів. Відгуки підприємств. Відгуки працівників підприємств. Звіт по переддипломній практиці. Технічна документація по копіювальних верстатах. Початкові дані для розрахунку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Аналіз області використання відомих конструкцій та призначення верстатів-аналогів. Аналіз методів копіювання. Розрахунок паралельної передачі оброблювального руху. Охорона праці. Висновки по випускній роботі

5. Перелік графічного матеріалу:

Кінематична схема , 1л- ф.А1; Загальний вигляд,) 1л- ф.А1; Копіювально-інструментальний блок 1л- А1. Стіл 1л- А1

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	8
1.1 Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ MA-655ЛН.....	8
1.2 Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ модель 6М13НЦ.....	8
1.3 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ FANUC XD – 40.....	9
1.4 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ ГФ2171М4 з АСІ.....	10
1.5 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ Beaver 9A2.....	12
1.5.1 Призначення верстата	12
1.5.2 Конструктивні особливості верстата.....	13
1.6 Опис існуючих верстатів, їх критичний аналіз і сфера застосування.....	16
1.7 Опис існуючих способів копіювальної обробки.....	18
1.7.1 Опис способу прямого копіювання.....	18
1.7.2 Принципи копіювання непрямої дії.....	19
РОЗДІЛ 2 ПОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ.....	22
2.1 Розрахунок кульково-гвинтової пари.....	22
2.2 Розрахунок електродинамічної муфти.....	29
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	39
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	39
3.2 Розробка заходів по забезпеченню безпечних умов праці.....	40
3.3 Електробезпека.....	44
3.4 Пожежна безпека.....	45
3.5 Розрахунок захисного заземлення.....	446
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50
ДОДАТКИ	

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Машинобудування визначає технічний прогрес країни і робить вирішальний вплив на створення матеріальної бази нового суспільства. У зв'язку з цим до його розвитку завжди надавалося первинне значення.

Перед машинобудуванням стоять відповідальні завдання: підвищення якості машин, зниження матеріаломісткості, трудомісткості та собівартості виготовлення, нормалізація їх елементів, впровадження потокових методів виробництва, його механізація і автоматизація, а також скорочення термінів підготовки виробництва нових об'єктів. Рішення вказаних завдань забезпечується поліпшенням конструкції машин, удосконалення технології їх виготовлення, застосування прогресивних засобів і методів виробництва.

Щоб вижити в сучасних економічних умовах, машинобудівні підприємства передусім повинні випускати продукцію такою, яка відповідає вимогам замовника. Для забезпечення високої якості продукції необхідно раціонально вибрати заготовку, забезпечити точність обробки на металорізальних верстатах на усіх етапах механообробки.

У випускній роботі модернізований багатоопераційний верстат для 3D обробки з метою розширення технологічних можливостей для копіювально-шліфувальних робіт; модернізований стіл верстата і копіювально-інструментальний блок верстата при цьому проаналізовані способи і пристрої для копіювальної обробки, а також конструкції сучасних вертикально-фрезерних верстатів з ЧПУ.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ МА-655ЛН

Верстат призначений для обробки деталей складної форми типу дисків, плит, важелів, корпусних деталей і інших з будь-яких сталей і сплавів.

На верстатах можна робити фрезерування площин і пазів, свердління, зенкерування, розгортання і попереднє розточування отворів. Обробка ведеться по трьох координатах за програмою.



Рисунок 1.1 – Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ МА-655ЛН

1.2 Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ модель 6М13НЦ

Верстат призначений для обробки деталей складної конфігурації з будь-яких сталей і сплавів. На верстаті можуть бути оброблені опуклі і увігнуті поверхні подвійної кривизни за допомогою фасонних фрез з кульовим кінцем. Обробка деталей на верстаті здійснюється по трьох координатах за програмою.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

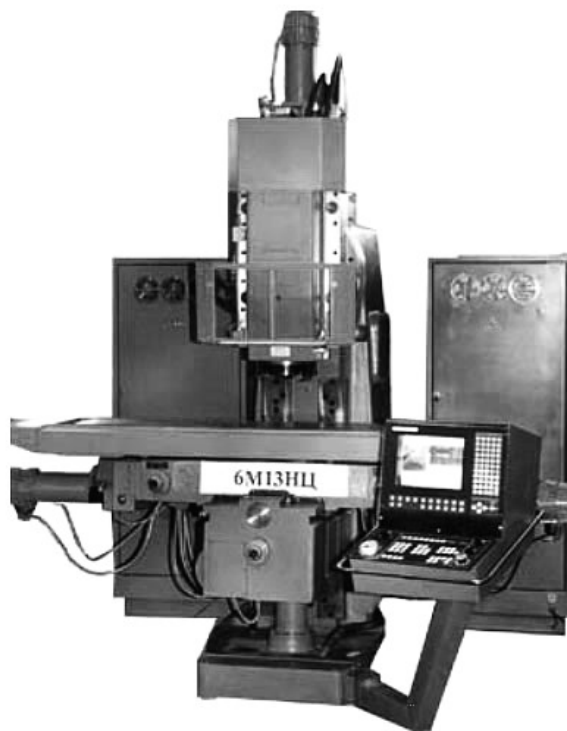


Рисунок 1.2 – Верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ модель 6M13HC

1.3 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ FANUC XD - 40



Рисунок 1.3 – Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ FANUC XD - 40

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вертикально-фрезерні верстати серії XD, розроблені з використанням останніх світових технологій представляють нове покоління вертикально-фрезерних верстатів з ЧПУ які ідеальні для дрібносерійних і одиничних виробництв середніх і малорозмірних деталей. За умовчанням на серію XD поставляється система ЧПУ Fanuc Oi - mate, проте за бажанням замовника машина може бути оснащена Siemens 802C/8020 або будь-якою іншою системою. Такі характеристики верстата, як 3-х осьове паралельне управління, високорівневе програмування (макрокоди), графічний дисплей, гарантують чудову точність виконання команд і дозволяє операторові швидко добитися бажаного результату. Сервопривід постійного струму з цифровим управлінням забезпечує точні і швидкі переміщення по усіх 3-м осям. Велика кількість операцій, таких як фрезерування, розточування, свердління, нарізування різьб і тому подібне, можна здійснити за одну установку деталі. Стіл і супорт верстата відливається із спеціального високоміцного чавуну, вони компактні, мають велику область завантаження, високу жорсткість і відмінні антивібраційні характеристики, здатні забезпечити найвищу точність обробки на верстатах подібного класу. Конструкція включає потужний високомоментний шпиндель і вбудовану систему подачі MOP в зону різання, що забезпечує високошвидкісні режими різання. Як додаткове устаткування може бути замовлений поворотний стіл (4а-вісь), керований центральною системою ЧПУ верстата. За допомогою його можлива 4х-осьова обробка контурів будь-якої складності.

1.4 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ ГФ2171М4 з АСІ

Верстат призначений для багатоопераційної обробки деталей складної конфігурації із сталі, чавуну, кольорових і легких металів, а також інших матеріалів. Разом з фрезерними операціями на верстатах можна робити точне свердління, розточування, зенкерування і розгортання отворів.

Велика потужність приводу головного руху, широкий діапазон подач і частот обертання шпинделя, висока жорсткість конструкції верстатів

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяють застосовувати фрези, виготовлені зі швидкорізальної сталі, а також інструмент, оснащений пластинками з твердих і надтвердих синтетичних матеріалів.

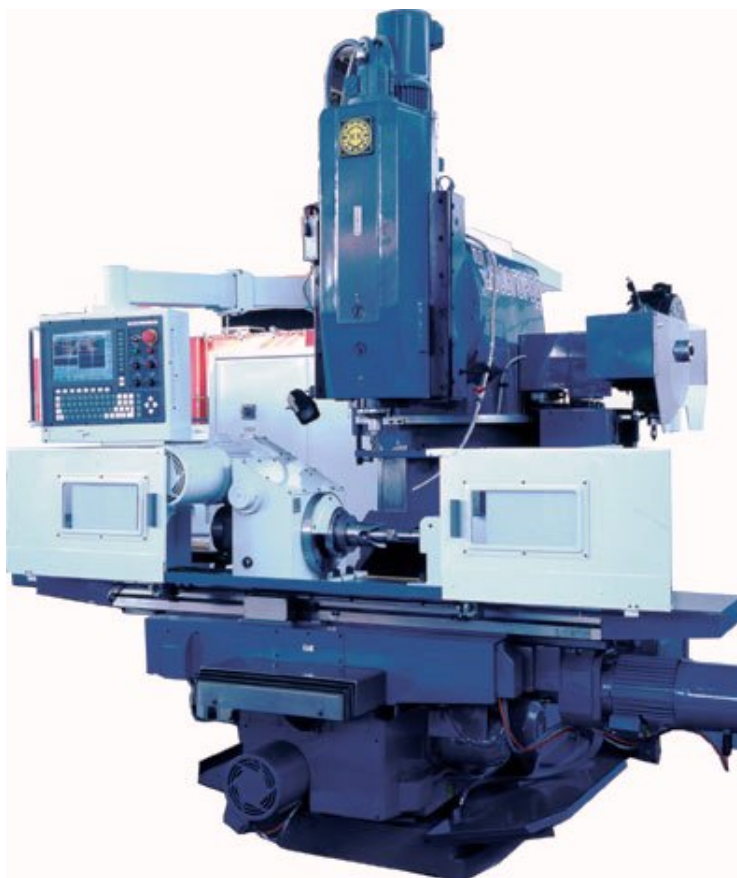


Рисунок 1.4 – Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ ГФ2171М4

Верстати оснащені трьох-(чотирьох) координатним пристроєм ЧПУ і слідкуючими електроприводами подач, що дозволяє здійснювати обробку складних криволінійних поверхонь.

Верстати випускаються в різних виконаннях по напрузі і частоті живлячої мережі. Поставляються запасні частини.

Верстати комплектуються системами ЧПУ NC - 210, NC - 200, NC - 110, FMS - 3000, 4СК, МАЯК, SINUMERIC - 802D.

За бажанням замовника верстати можуть бути оснащені будь-якими іншими системами ЧПУ.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.5 Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ Beaver 9A2

1.5.1 Призначення верстата

Призначений для високоякісного фрезерування та гравірування виробів, як в 2-х площинах, так і в 3-х мірному просторі (3D обробка).

Види оброблюваних матеріалів: деревина м'яких і твердих порід, композитні матеріали (ДСП, ДВП, МДФ), "Alucobond", "Dibond", будь-які полістироли (у тому числі ПВХ і полістироли з полікарбонатом), гетинакс, штучний камінь, кольорові метали, акрилове скло і оргскло, модельний пластик.

Верстат поставляється в комплекті з програмою для 3D-фрезерування "TYPE3", яка дозволяє робити як 2D, так і 3D обробку. У програму включені такі зручні функції як: надання об'єму плоским зображенням "BMP" і "JPEG", скульптор (редагування об'ємної моделі), база стандартних елементів (фасади, візерунки і т. д.) і багато іншого.

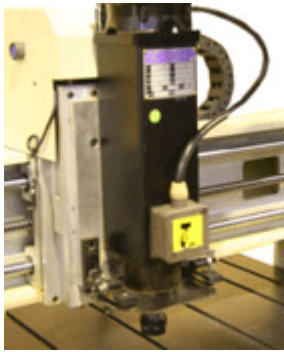


Рисунок 1.5 – Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ Beaver 9A2

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

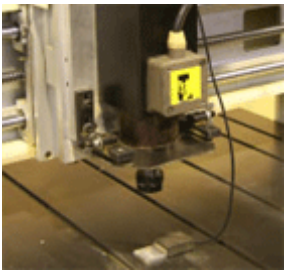


точності.



Шпиндель фірми "COLOMBO" (ІТАЛІЯ).

За рахунок високої частоти обертання (до 24000 об/хв) забезпечує обробку деталей з деревини, пластика, акрилового скла для виготовлення реклами і сувенірної продукції з високою якістю. Розширюються технологічні можливості використання верстата.



Датчик виміру довжини інструменту та висоти заготовки.

Здійснює автоматичний контроль довжини інструменту і дозволяє, починаючи роботу, швидко ввести дані про поверхню столу ($Z=0$) і висоті матеріалу. Забезпечує швидке введення параметрів, захист поверхні столу, що підвищує продуктивність верстата і рівень безпечної роботи.



Цанговий затиск інструменту.

Дозволяє швидко здійснювати зміну інструменту з різними посадочними діаметрами (від 3 до 12 мм) при обробці виробів складної конфігурації. Скорочується час переналадки верстата і зростає продуктивність роботи.



Обгороджування інструменту з патрубком стружкоприймача.

Швидкознімне обгороджування здійснює надійний захист інструменту і ефективно видалення відходів обробки із зони різання. Забезпечується безпека роботи на верстаті відповідно до стандартів СЕ.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Опція для фрезерних верстатів з ЧПУ Beaver:

Пристрій для 3D сканування «Штрих1»

Лазерний скануючий пристрій призначений для сканування вже готових виробів (різьблення, ліпнини, прототипів і т.д.), з метою отримання математичної моделі для фрезерування копії цього виробу. Сканування відбувається лазерним променем завдяки чому досягається висока якість отримуваної моделі. «Штрих 1» знайшов широке застосування при виробництві ексклюзивних виробів. У комплекті із сканером йде програма ASHERA, (генератор променя і високоточна цифрова матриця) досягається високоточне створення комп'ютерною 3D моделей сканованого зразка.

Зберігається вона в стандартному форматі. STL, який відкривається в програмах Type3, ArtCam, 3DMAX, SolidWorks, MaserCam і багатьох інших CAD і CAM програмах. Точність сканування складає 0,05 мм завдяки чому модель можна збільшувати без втрати точності у багато разів, створювати цілі композиції



Таблиця 1.2 – Технічних характеристик верстата

Параметр	Показник
Розміри робочого столу, мм	900×900
Спосіб кріплення заготовки	механічний
Розміри зони обробки X і Y, найбільше, мм	900×700
Переміщення шпинделя по осі Z, мм	110
Товщина оброблюваних заготовок, найбільша, мм	100
Посадочний діаметр інструмента, (цанга ER 20) мм	2-12
Швидкість подачі, м/хв	0-6

Роздільна здатність, мм	0,015
Частота обертання шпинделя, об/хв	(18000) 24000*
Потужність шпинделя, кВт	2,2
Кількість електродвигуна переміщення порталу, супорта та шпинделя, шт.	3
Потужність електродвигуна переміщення, кВт	3×0,55
Загальна встановлена потужність, кВт	5,35
Напруга, В	220
Частота струму, Гц	50
Діаметр патрубку стружкозбирача, мм	80
Габаритні розміри, мм:	
довжина	1000
ширина	1220
висота	1230
Маса, кг	300

1.6 Опис існуючих верстатів, їх критичний аналіз і сфера застосування

Верстат для копіювальної обробки може бути виконаний у вигляді будь-якої моделі від настільного варіанту для обробки мікровиробів до промислового – з площею обробки 2×3 метра і більше, якщо з'явиться така необхідність.

Дослідні верстати є настільними моделями з площею обробки надтвердих матеріалів, другий – для обробки виробів з дерева, мармуру, кришталю, граніту.

В цілому верстати на вигляд практично не відрізняються від звичайних копіювально-фрезерних верстатів, мають те ж компонування.

Що стосується споживчих властивостей верстата, то відмінності його від існуючих в наступному:

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1. Висока продуктивність (у 2-3 рази вище при різьбленні по дереву і в десятки разів при виготовленні унікальних виробів з мармуру)
2. Дешевизна верстатів (у 5-20 разів дешевше знайдених аналогів)
3. Дешевизна отримуваних виробів.
4. Простота обслуговування верстатів (не потрібно спеціальні знання – на верстатах можуть працювати не лише професіонали, але і інваліди, пенсіонери, підлітки).
5. Широкі технологічні можливості (від виготовлення мініатюр до виконання творів мистецтв монументального характеру).
6. Висока точність копіювання (до 0,02 мм).
7. Для отримання виробу з будь-якого матеріалу досить мати гіпсову копію або воскову модель

Не менш ефективно застосування такого роду верстатів для виробництва штампів і пресформ, досить дорогої продукції, але швидкоокупних за рахунок масовості і дешевизни виробів, що отримуються штампуванням, пресуванням і так далі.

Особливо звертається увага на той факт, що на пропонованих верстатах можливе виконання кругової обробки, тому в області виробництва настільної скульптури, різьблених шахів і тому подібне можлива швидка окупність капітальних вкладень на купівлю верстата.

Різьблені меблів, камінів, оформлення інтер'єрів офісів, ресторанів, житлових приміщень також є перспективною сферою застосування пропонованих верстатів.

Ортопедичне взуття, відповідальні деталі протезів людини, тобто там, де потрібно дуже точну підгонку або стикування, там є потрібність в новому типі устаткування.

Пам'ятники, меморіальні дошки – ще одна сфера ефективного застосування верстатів.

В цілому перераховані ті області, в яких верстати випробувані і показали ефективність їх застосування, а сама сфера набагато ширша, оскільки тут не

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показані завдання загальномашинобудівного виробництва, де обробка складнопрофільних деталей завжди була проблематичною.

1.7 Опис існуючих способів копіювальної обробки

1.7.1 Опис способу прямого копіювання

Копіювальний агрегат з управління двома руками можна застосувати з деякими змінами на звичайному вертикально-фрезерному верстаті. Полягає він двох вузлів (рис. 1.6): копіювального приладу, що включається в кінематичний ланцюг вертикальних переміщень шпинделя, і спеціального столу, який переміщається від каретки у будь-якому напрямі в горизонтальній площині. Основа салазок зміцнюється на столі вертикально-фрезерного верстата.

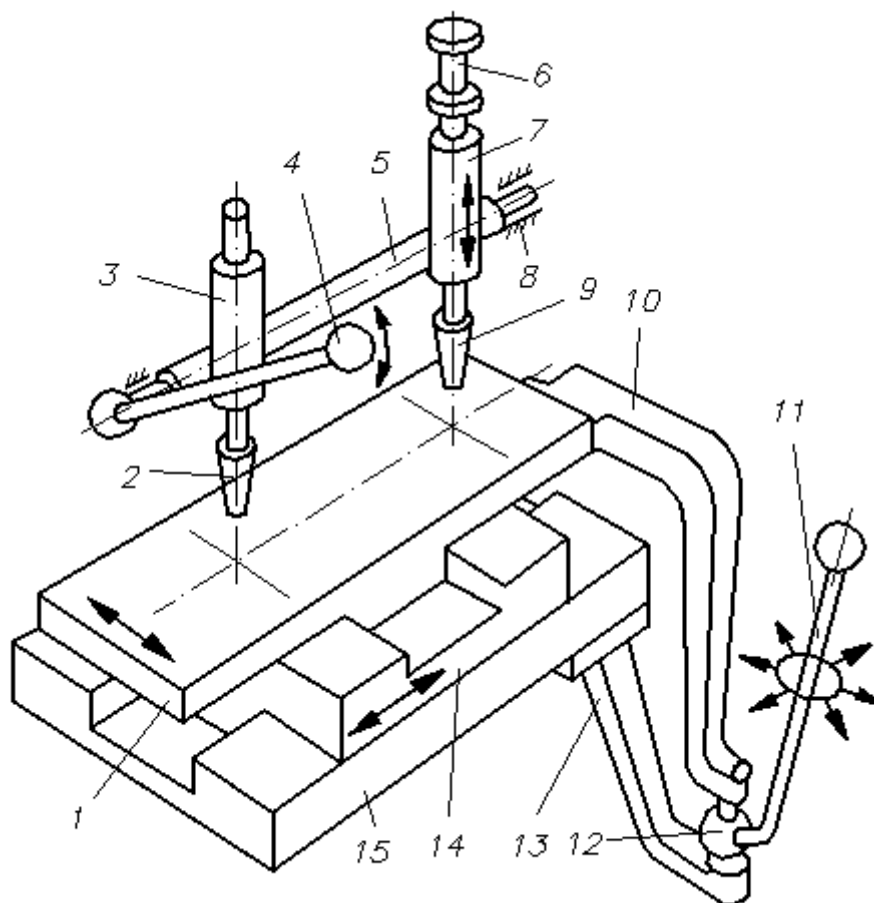


Рисунок 1.6 – Копіювальний агрегат з управління двома руками

По направляючих основи 15 пересуваються в подовжньому напрямі салазок 14, що мають у верхній частині інші направляючі, перпендикулярні нижнім (поперечний напрям). По верхнім направляючим салазкам переміщається власне стіл 1. Спеціальні бічні вирізи направляючих, в яких укладені кульки, забезпечують легкість і плавність переміщення, а також усувають проміжки. Стіл пересувається руків'ям 11. До основи 15 приєднаний кронштейн 13, а до столу 1 – хобот 10; у кульові обойми цих деталей вставлений стержень 12, сполучений з руків'ям 11. Поворот руків'я у напрямі одного з рухів викликає переміщення тільки столу або тільки салазок (при нерухомому столі відносно салазок). Всякий рух руків'я під кутом викличе складний рух столу, утворений переміщенням столу або салазок в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Вертикальне переміщення фрези 2 на глибину і синхронне переміщення копіювального пальця 9 досягається поворотом руків'я 4 від руки. Цей важіль закріплений на горизонтальному валу 5, що проходить через корпус з підшипниками 8. На валу є два зубчасті колеса, з яких одне сполучене з рейкою шпинделя 3, а інше — із стержнем 7. Пружина 6 піднімає вертикально вгору фрезу і палець як тільки зникає зовнішня дія на руків'я 4. На столі зміцнюють копір і заготовку виробу.

Працюють на такому агрегаті за допомогою двох рук – ліва управляє руків'ям 4 вертикальних переміщень фрези, права – руків'ям 11 горизонтальних переміщень столу. При роботі по копіру на певній горизонталі досить зміцнити шпindelь нерухомо на певній висоті і управляти тільки руків'ям 11.

1.7.2 Принципи копіювання непрямої дії

У системі управління процесом копіювання, званою системою непрямої дії, копіювальний палець знаходиться в контакті з копіром не під дією сил різання або реакцій від них, а сприймає сили, що забезпечують постійний контакт між ним і копіром. Під впливом зміни форми копіра стержень, з яким пов'язаний палець, має малі лінійні або кутові переміщення, проте достатні,

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб створити команду для інших переміщень, що дає можливість пальцю обходити контури копіра, а різальному інструменту утворювати контури на заготовці. (рис. 1.7)

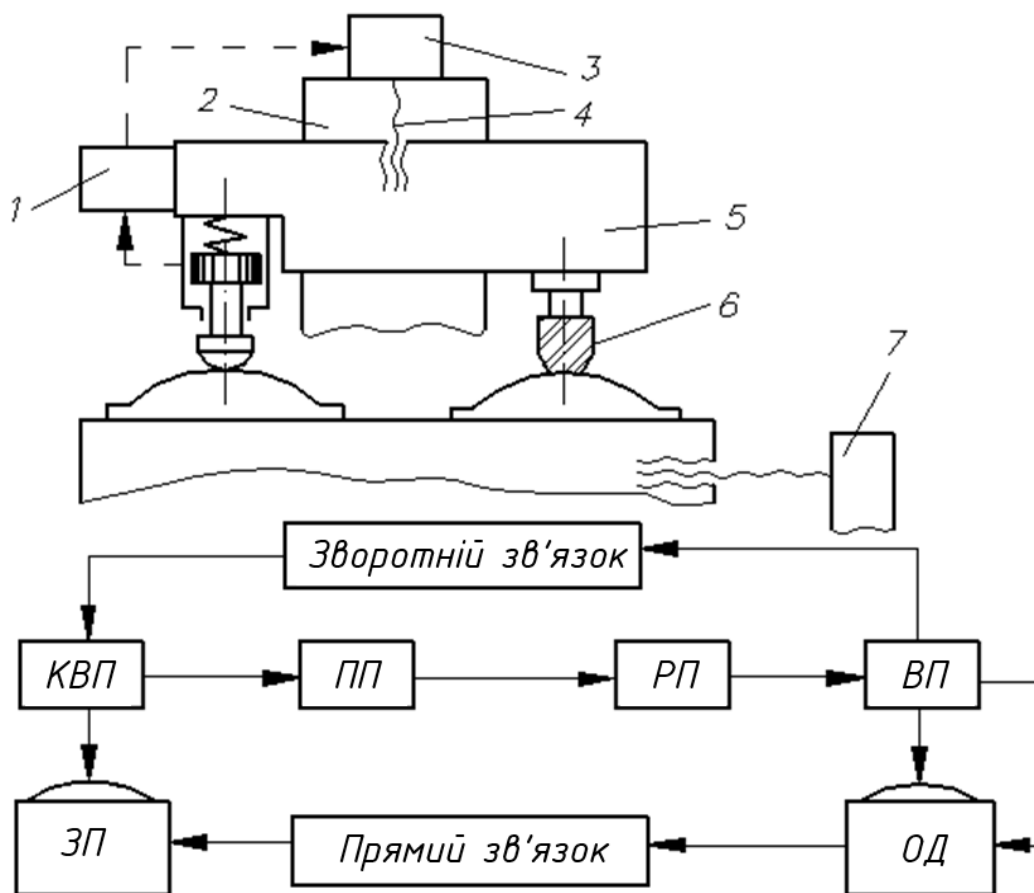


Рисунок 1.7– Структурна схема систем непрямої дії

Незначний рух пальця як елементарну команду управління можна збільшити, використовуючи один з фізичних принципів: електроніку, гідравлічні і пневматичні та ін. (рис. 1.7). Це посилення відбувається в апараті 1 і потім команда передається двигуну редуктора 3, який через ходовий гвинт 4 переміщає по стійці 2 бабку 5 у вертикальному напрямі. Фреза 6 обробляє заготовку. У складніших системах апарат дає залежно від форми пропорційні сигнали двигунам редукторів 3 і 7, що викликає пов'язане переміщення столу і бабки. Отже, в системах непрямої дії існують проміжні пристрої між пальцем або точніше копіювально-вимірювальним пристроєм і різальним інструментом, сполученим із виконавчим пристроєм.

Структурна схема систем непрямої дії (рис. 1.7), загальна для будь-якої системи копіювання, складається з наступних пристроїв: задаючого ЗП, копіювально-вимірювального КВП, підсилювального ПП, розподільного РП і виконавчого ВП.

Задаючі пристрої в копіювальних верстатах непрямої дії застосовують і ввиді копіїв (об'ємних, плоских) і побудованих, виготовлених практично з будь-якого матеріалу: дерева, гіпсу, пластмаси, цементу, бетону, залізобетону і металів.

Копіювально-вимірювальні пристрої є копіювальними приладами, принцип дії яких залежить від фізичного принципу, покладеного в основу стеження. Будь-яке переміщення ЗП розузгоджує положення КВП. Вимірюючи координати попереднього і наступного положень ЗП, КВП передає різницю у свідченнях у вигляді малопотужного сигналу в ЗП. Отримавши посилений сигнал від ЗП, ця команда починає повторюватися ВП у вигляді переміщення різального інструменту по заготовці оброблюваної деталі. За допомогою системи зворотного зв'язку сигнал про переміщення ВП передається назад на КВП. Принцип роботи КВП – основа класифікації систем копіювання непрямої дії. На практиці КВП розрізняють по управлінню: електричному, фотоелектричному, електронному, місткості, магнітострикційному, гідравлічному, болометричному, пневматичному, гідроскопічному, акустичному. Досвід, придбаний впродовж ХХ ст., показує, що при належному відробітку може бути використаний будь-який фізичний принцип у тому числі променевий (лазерний), оптичний та ін.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок кульково-гвинтової пари

Кулькова гвинтова передача є основним типом тягового пристрою в приводі подач верстата. Перевагами кулькових гвинтових передач є:

- мале тертя;
- усунення проміжків за рахунок попереднього натягу;
- досить висока жорсткість;
- технологічна надійність.

До недоліків слід віднести обмежену помилками виготовлення і зборки точність переміщення і необхідність ретельного захисту від забруднень як обов'язкова умова довговічності.

Передача складається з гвинта, гайки, комплекту кульок або роликів і пристрою для повернення тіл обертання. Канал, з'єднуючий перший і останній витки гайки, забезпечує безперервність циркуляції тіл кочення.

Початкові дані для розрахунку передачі ВГК:

1. $V_{max} = 20\text{м/хв} = 0,3\text{ м/с}$ – максимальна швидкість переміщення гайки
2. $m = 5\text{кг}$ – маса рухливого вузла

Розрахунок:

1. Визначаємо прискорення

$$a = dV/dt = (V_{max} - V_0)/\tau = V_{max}/\tau = 0,3/0,001 = 300\text{м/с}^2.$$

2. Визначаємо динамічне зусилля

$$Q = P_d = m_a + F_{тр} = 5 \cdot 30 = 1500\text{Н} = 1,5\text{ кН}.$$

3. Вибираємо КГП по Сд

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

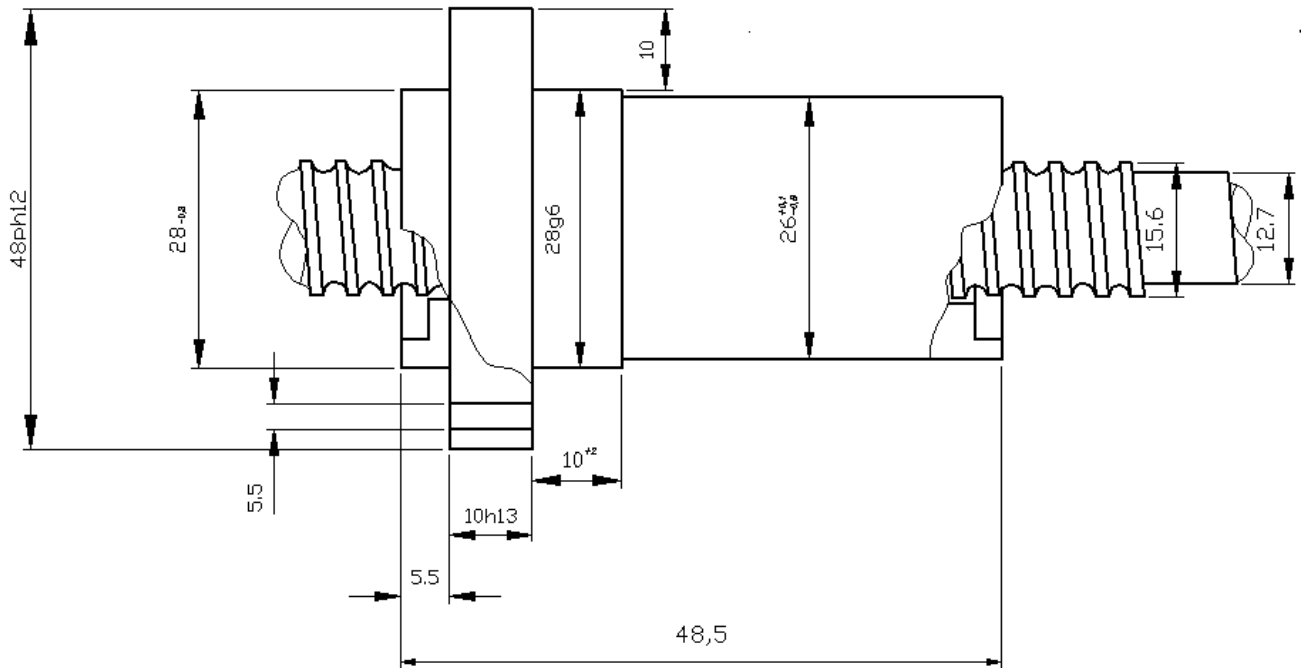


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема кулько-гвинтової пари

Параметри передачі КГП, що розраховується, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри передачі ВГК (мм)

d_o	t	d_1	r_1	r_2	r_3	r_4	$d_{кв}$	$d_{нв}$	$d_{к2}$	$d_{в2}$	C_1
16	5	3,5	1,75	1,82	0,35	0,26	14,64	15,42	17,36	16,29	9,5

Схема контакту передачі ВГК представлена на рис. 2.1.

1. Визначаємо число кульок в кожному витку різьблення гвинта:

$$z_i = \frac{\pi \cdot d_o}{d_1} - 5$$

$$z_i = (3,14 \cdot 16 / 3,5) - 5 = 9 \text{ штук}$$

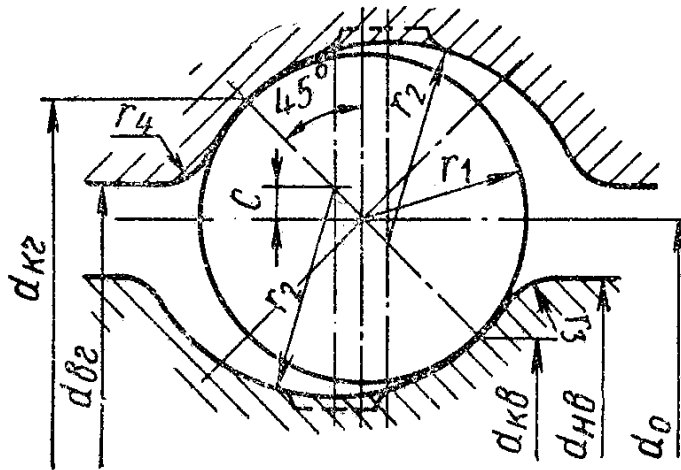


Рисунок 2.1 – Схема контакту передачі ВГК

2. Обчислюємо число кульок в гайці:

$$z = n_g \cdot z_i,$$

де z_i – число кульок у витку;

n_g – число витків: $n_g=3$, т.к $z_i=9$;

$$z = 3 \cdot 9 = 27 \text{ штук.}$$

3. Визначаємо допустиме статичне навантаження:

- на одну кульку:

$$[F]_{cm} = 20 \cdot d_1^2;$$

$$[F_{cm}] = 20 \cdot 3,52 = 245 \text{Н.}$$

- на гвинт:

$$[Q] = z_p \cdot [F]_{cm} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta;$$

де β – кут підйому витка різьби гвинта:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{t}{\pi \cdot d_g};$$

$$\operatorname{tg} \beta = 5/3,14 \cdot 16 = 25,4777 \Rightarrow \beta = 1,5$$

Z_p – число робочих кульок в передачі:

$$z_p = 0,7 \cdot z;$$

$$Z_p = 0,7 \cdot 27 = 19 \text{ штук}$$

t – крок гвинта, мм; $t = 5$ мм;

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$\text{Отже, } [Q] = 19 \cdot 245 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 1,5^\circ = 3290 \text{ Н};$$

4. Робимо розрахунок на довговічність по втомі поверхневих шарів контактуючих тіл:

$$K = K_\theta \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot T \cdot n \cdot C_i}{10^7}},$$

де K_θ – коефіцієнт змінності навантаження, приймаємо $K_\theta = 0,9$;

$T = 5000 \dots 10000$ год, приймаємо $T = 7500$ год;

$$C_i = 0,5 \cdot z_i \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_o \cdot \cos \alpha}\right);$$

$$C_i = 0,5 \cdot 21 \cdot \left(1 + \frac{6}{50 \cdot \cos 45^\circ}\right) = 12,3;$$

$$C_i = 0,5 \cdot 9 \cdot (1 + 1,75 / (8 \cdot \cos 45^\circ)) = 5,89$$

Отже,

$$K = 0,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 7500 \cdot 8 \cdot 5,89}{10^7}} = 1,16$$

$$[Q]_д = [Q] / K$$

$$[Q]_д = 3290 / 1,16 = 2836 \text{ Н}.$$

$$[F]_д = \frac{[F]_{ст}}{K};$$

$$[F]_д = \frac{245}{1,16} = 211 \text{ Н};$$

5. Розраховуємо сили попереднього натягу в передачі:

$$F = \frac{0,5 \cdot Q}{z_p \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta_{\text{min}}}$$

де Q – максимальна подовжня стискуюча сила, Н; $Q = 3000$ Н;

Отже,

$$F_{Hmin} = (0,5 \cdot 3000) / 19 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 1,5^\circ = 112 \text{ Н}.$$

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F \frac{0,5 \cdot 30000}{44 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 3,6^\circ} n_{\text{min}}$$

$$F[F]_{\delta} \left[1 - \frac{0,55 \cdot Q}{[Q]_{\delta}} \right] n_{\text{min}}$$

$$F_{H_{\text{max}}} = 1067 \cdot \left[1 - \frac{0,55 \cdot 30000}{33121} \right] = 535 \text{ Н};$$

$$F_{H_{\text{max}}} = 211 \cdot [1 - (0,55 \cdot 3000/2836)] = 188 \text{ Н}.$$

6. Визначаємо допустиму осьову силу з урахуванням величини натягу:

$$[Q]_{\text{H}} = [Q]_{\text{Д}} \cdot \frac{[F]_{\text{Д}} - F_{\text{H}}}{0,55 \cdot [F]_{\text{Д}}}$$

$$[Q]_{\text{H}} = 2836 \cdot ((211 - 112) / (0,55 \cdot 211)) = 2419 \text{ Н}.$$

7. Робимо розрахунок відносного осьового зближення двох гайок, необхідного для створення натягу:

$$\delta_{\text{H}} = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_{\text{H}}^2}{100 \cdot d_1}}$$

де δ_{H} – відносного осьового зближення гайок, мкм;

$$\delta_{\text{H}} = 6 \cdot \sqrt[3]{\frac{188^2}{100 \cdot 3,5}} = 28 \text{ мкм}.$$

8. Розраховуємо передачу на жорсткість.

Діаметр гвинта залежить від жорсткості приводу і його елементів. Жорсткість кульково-гвинтової передачі впливає на загальну жорсткість приводу подач. Податливість приводу визначається при максимальній і мінімальній силі попереднього натягу:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{\text{в}}} + \frac{1}{j_{\text{м}}} + \frac{1}{j_{\text{п}}}$$

де j – жорсткість приводу, Н/мкм;

$j_{\text{в}}$ – жорсткість гвинта при відповідному закладенні його кінців, обидва кінці затиснено:

$$j_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{в}}^2 \cdot E}{l}$$

де l – максимальна відстань між гайкою і опорою гвинта, $l=400$ мм;

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

E – модуль пружності першого роду, Н/мм²; $E=2 \cdot 10^5$ Н/мм²;

$$j_s = (3,14 \cdot 162 \cdot 2 \cdot 105) / 400 = 402 \text{ Н/мкм.}$$

j_m – жорсткість гвинтового механізму, Н/мкм:

$$j_m = 6 \cdot K_n \cdot i_r \cdot \left(\frac{d_2}{t} - 1 \right) \cdot \left(\frac{F_n \cdot d_1}{10} \right)^{\frac{1}{3}},$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує погрішності виготовлення і пружні деформації; $K_n=0,3 \dots 0,5$;

i_r – кількість витків гайки, $i_r=3$;

F_n – сила попереднього натягу, що доводиться на одну кульку, Н;

$$j_m = 6 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot (16/5 - 1) (188 \cdot 3,5 / 10)^{1/3} = 80 \text{ Н/мкм};$$

j_n – жорсткість опор гвинта, визначається залежно від типу підшипників опор;

$$j_n = l_o \cdot d_o,$$

де l_o – коефіцієнт, що враховує тип підшипників (для роликових $l_o=30$);

$$j_n = 30 \cdot 16 = 480 \text{ Н/мкм}$$

Тоді,

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{402} + \frac{1}{480} = 0,002486 + 0,0125 + 0,0020833 = 0,017071 \text{ мкм/Н}$$

Загальна жорсткість приводу подач залежить не лише від жорсткості різьбового з'єднання, але і більшою мірою від жорсткості самого гвинта при його розтягуванні, жорсткості осьових опор гвинта і усіх нерухомих з'єднань.

Для найбільш поширених конструкцій кулькових гвинтових передач з двома парами підп'ятників сумарну жорсткість підраховують на основі приведеної на рис 2.2 схем розрахунку. Важливою позитивною властивістю схеми з двома парами підп'ятників є менша зміна жорсткості ходового гвинта і усієї передачі від положення гайки. $j_1 - j_2$ – жорсткість відповідно з'єднання гайка-корпус, різьбового з'єднання, гвинта, підп'ятника і з'єднання підп'ятник-базова деталь

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

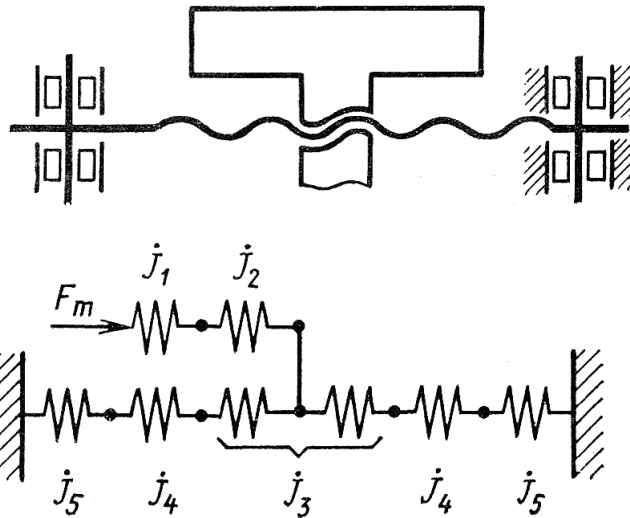


Рисунок 2.2 – Схема розрахунку сумарної жорсткості кульково-гвинтової передачі з двома парами підп'ятників

Початкові дані для розрахунку передачі ВГК:

1. $V_{max} = 20\text{м/хв} = 0,3 \text{ м/с}$ – максимальна швидкість переміщення гайки
2. $m = 5\text{кг}$ – маса рухливого вузла

Розрахунок:

1. Визначаємо прискорення

$$a = dV/dt = (V_{max} - V_0)/\tau = V_{max} / \tau = 0,3/0,001 = 300\text{м/с}^2.$$

2. Визначаємо динамічне зусилля

$$Q = P_d = m_a + F_{mp} = 5 \cdot 30 = 1500\text{Н} = 1,5 \text{ кН}.$$

3. Вибираємо підшипники по C_o :

Підшипник №29 ($D=26$, $C_o = 1960\text{Н}$)

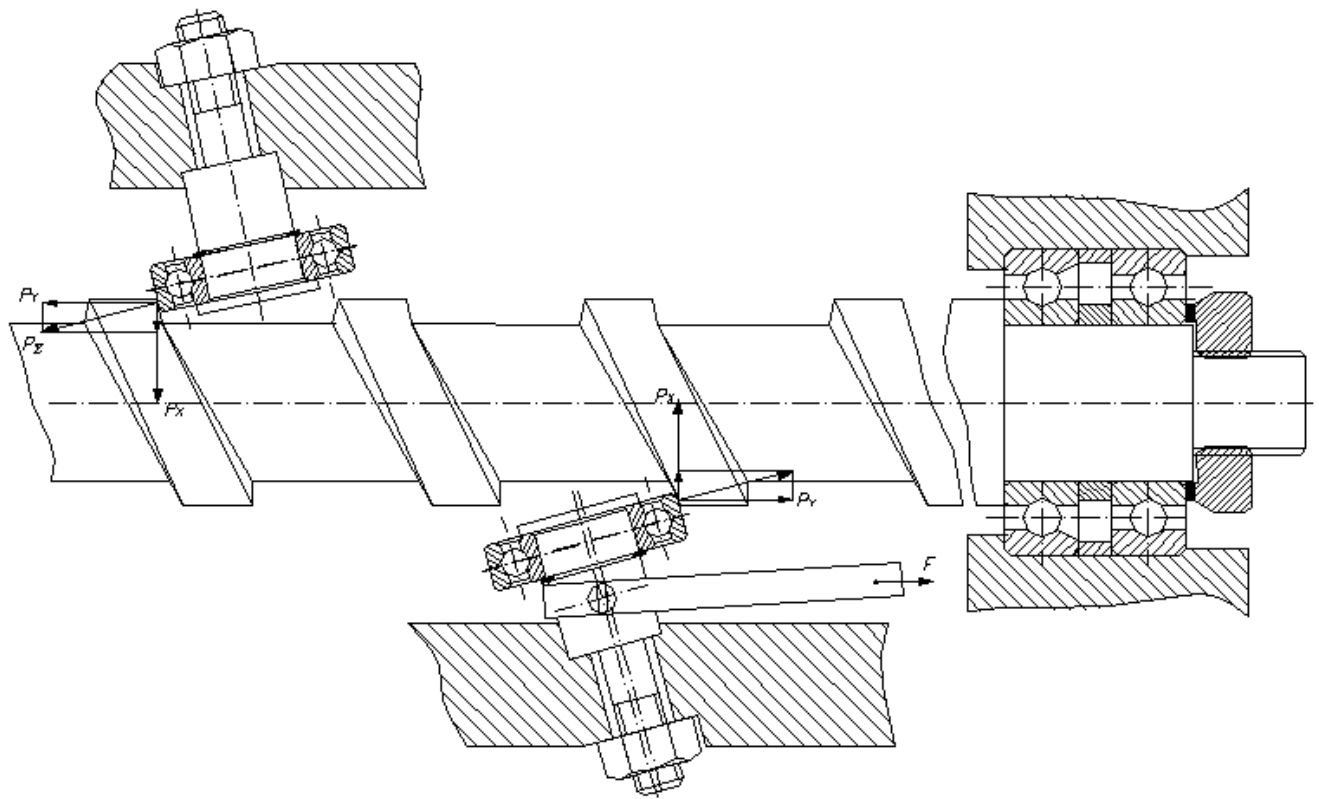


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема пари «гвинт-гайка кочення»

Перевіряємо виконання умов:

1. $C_0 \leq 3 P_d$; $1960 \text{ Н} \leq 3 \cdot 1500 = 4500 \text{ Н}$.
2. $[F_{cm}] > Q_d$; $[F_{cm}] = 20 \cdot d \cdot 2n_{idw} = 20 \cdot 262 = 13500 \text{ Н} > Q_d = 1500$.

2.2 Розрахунок електродинамічної муфти

Муфта відноситься до машинобудування і використовується в пристроях для передачі обмеженого за величиною крутного моменту машинах з адаптивним управлінням. Метою застосування муфти є розширення експлуатаційних можливостей. На рис. 2.4 представлена запобіжна муфта, загальний вигляд; на рис. 2.5 розріз А-А На рис. 2.6 – розріз Б-Б; на рис. 2.7 – запобіжна муфта з робочими елементами у вигляді кулачків, загальний вигляд; на рис. 2.8 – розріз В-В на рис. 2.9 – розрахункова схема запобіжної муфти; на рис. 2.10 – схема дії сил на кульку; на рис. 2.11 – залежність крутного моменту від сили струму якоря лінійного електричного двигуна.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

має можливість осьового переміщення уздовж осі валу 14 в під дією прикладених до неї сил.

Для фіксації переміщень напівмуфти 2 передбачений датчик 18 місткістю, індуктивний і т.д.) лінійного переміщення, який через блок 19 управліннь сполучений з яким-небудь автоматичним регулятором виконавчого органу технологічної машини (не показані).

Рухливий елемент датчика 18 жорстко закріплений на якорі 4, а нерухомий – на корпусі 20 лінійного двигуна 5. Датчик 18 отримує живлення від окремого джерела 21.

Напівмуфта 1 жорстко насаджена на вихідний вал 22.

Напівмуфти 1 і 2 можуть мати різне конструктивне виконання. Так, на рис. 4 представлена запобіжна муфта, в якій зв'язок між напівмуфтами здійснюється кульками.

Муфта працює таким чином. Включають джерела 9, 12 і 21 живлення і регулювальними елементами 8 і 11 встановлюють струм необхідної величини в якірній обмотці 7 і обмотці 10 збуджень. При проходженні електричного струму по обмотці 10 створюється магнітний потік, при взаємодії з яким струму якірної обмотки 7 на якір 4 діє електродинамічна сила P , визначувана за законом Ампера:

лінійного двигуна 5.

$$P = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \beta,$$

де B – індукція магнітного поля в робочому проміжку лінійного двигуна;

I – сила струму в якірній обмотці;

l – довжина якірної обмотки;

β – кут між B і I .

Напрямок сили P визначається правилом «лівої руки» і вибирається таким, щоб напівмуфти 1 і 2 стискували кульки 3 через опорний кульковий підшипник 6, що забезпечує контакт між напівмуфтами 1 і 2 і передачу крутного моменту від валу 14 до валу 22.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величина крутильного моменту передається муфтою, визначається з наступних міркувань (рис. 2.9).

Зусилля притиску P якоря лінійного двигуна через напівмуфту 2 рівномірно розподіляється на усі кульки, означає на кожну кульку діятиме осьове зусилля P_1

$$P_1 = P/n,$$

де n – число кульок.

Розглянемо розрахункову схему (рис. 2.10) з однією кулькою. Зусилля P_1 розкладемо на дві складові, прикладені в точках контакту кульки з напівмуфтами. При додатку сили P_1 в точці контакту виникає нормальна сила N , спрямована до центру, яку можна розкласти на дві складові: осьову, рівну $P/2$, і тангенціальну T , рівну

$$T = P_1 / (2 \operatorname{tg} \alpha)$$

причому

$$N = P_1 / (2 \cos \alpha)$$

або

$$N = T / \sin \alpha = P / (2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha)$$

Оскільки муфта передає крутильний момент $M_{кр}$ то по лінії центрів кульок діятиме окружне зусилля F , утворене передаваним моментом з плечем l , рівним

$$l = D/2$$

де D – діаметр кола розташування центрів кульок

тоді

$$F = M_{кр} / l = 2M_{кр} / D.$$

Так, щоб муфта передавала певний $M_{кр}$ без підвищення його допустимого значення вимагається, щоб виконувалася нерівність

$$F < 2T \cdot n$$

або

$$F < (P / \operatorname{tg} \alpha) \cdot n, F < P / \operatorname{tg} \alpha$$

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням сил тертя кочення кульок в гніздах напівмуфт кут α зменшується на кут φ (кут тертя кочення), тоді

$$F < P / (\operatorname{tg} (\alpha - \varphi))$$

З умови рівноваги рухливої напівмуфти 2 зусилля P притиску якоря 4 лінійні двигуни мають бути

$$P > F \cdot \operatorname{tg} (\alpha - \varphi)$$

або

$$P > 2M_{кр}/D \cdot \operatorname{tg} (\alpha - \varphi)$$

Враховуючи силу тертя $P_{тр}$, що з'являється при русі напівмуфти 2 на валу 14 по шпонці 17, рівну

$$P_{тр} = 2M_{кр}/d \cdot f,$$

де $M_{кр}$ – передаваний крутильний момент;

d – діаметр валу;

f – коефіцієнт тертя ковзання, можна записати

$$P > 2M_{кр}/D \cdot \operatorname{tg} (\alpha - \varphi) - 2M_{кр}/d \cdot f,$$

або

$$P > 2M_{кр}/D [\operatorname{tg} (\alpha - \varphi) - D/d \cdot f].$$

Враховуючи, що в пропонованій муфті

$$P = B \cdot I \cdot l,$$

де, p – зусилля, що розвивається якорем лінійного двигуна;

B – індукція в робочому проміжку лінійного двигуна постійного струму;

I – сила струму в якірній обмотці;

l – довжина якірної обмотки

отримаємо

$$B \cdot I \cdot l = 2M_{кр}/D [\operatorname{tg} (\alpha - \varphi) - D/d \cdot f]$$

звідки

$$M_{кр} = (B \cdot I \cdot l) / 2 [\operatorname{tg} (\alpha - \varphi) - D/d \cdot f],$$

де, $M_{кр}$ – крутильний момент передаваний муфтою;

B – індукція в робочому проміжку лінійного електричного двигуна постійного струму;

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

I – сила струму в якірній обмотці лінійного двигуна постійного струму;
 l – довжина якірної обмотки лінійного двигуна постійного струму;
 D – діаметр кола центрів кульок;
 α – кут профілю гнізд під кульки;
 φ – кут тертя кочення кульки в гнізді;
 d – діаметр посадочного місця під рухливу напівмуфту;
 f – коефіцієнт тертя ковзання в місці сполучення валу з рухливою напівмуфтою.

Таким чином, муфта передає крутільний момент $M_{кр}$ величину якого дуже просто регулювати силою струму в якірній обмотці лінійного електричного двигуна.

У певних випадках величина моменту на валу 22 стає більше того моменту, який може передати муфта, при цьому не виконується умова

$$P > 2M_{кр}/D [\text{tg} (\alpha - \varphi) - D/d \cdot f]$$

і напівмуфта 2 починає переміщатися уздовж осі валу 14 спільно з якорем 4. Переміщення якоря 4 фіксується датчиком 18 і сигнал з датчика передається до автоматичного регулятора процесу (не показаний), який відновлює номінальну величину передаваного крутільного моменту (наприклад, для металооброблювального устаткування це може бути здійснено за рахунок зменшення величини подачі інструменту в зону обробки).

Напівмуфта 2 повертається під дією сили P в початковий стан.

Виконання нажимного пристрою запобіжної муфти у вигляді якоря лінійного електричного двигуна, забезпеченого датчиком лінійних переміщень якоря, забезпечує не тільки плавне дистанційне регулювання граничного передаваного крутільного моменту але і можливість автоматичного управління ходом роботи верстата або технологічної машини, що значно розширює, експлуатаційні можливості традиційних запобіжних муфт.

Пропонована запобіжна муфта може знайти найширше застосування в гнучкопереналагоджуваних технологічних машинах і роботах з адаптивним управлінням.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Управління муфтою легко здійснити від ЕОМ або мікропроцесорної техніки.

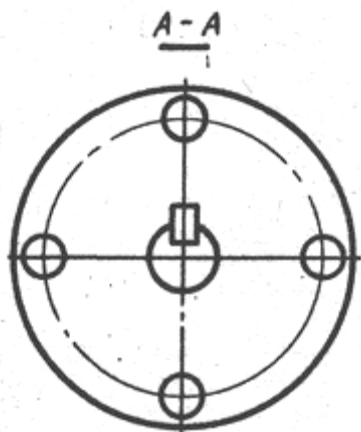


Рисунок 2.5 – розріз А-А

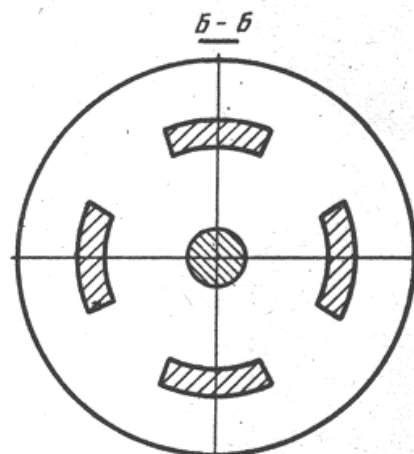


Рисунок 2.6 – розріз Б-Б

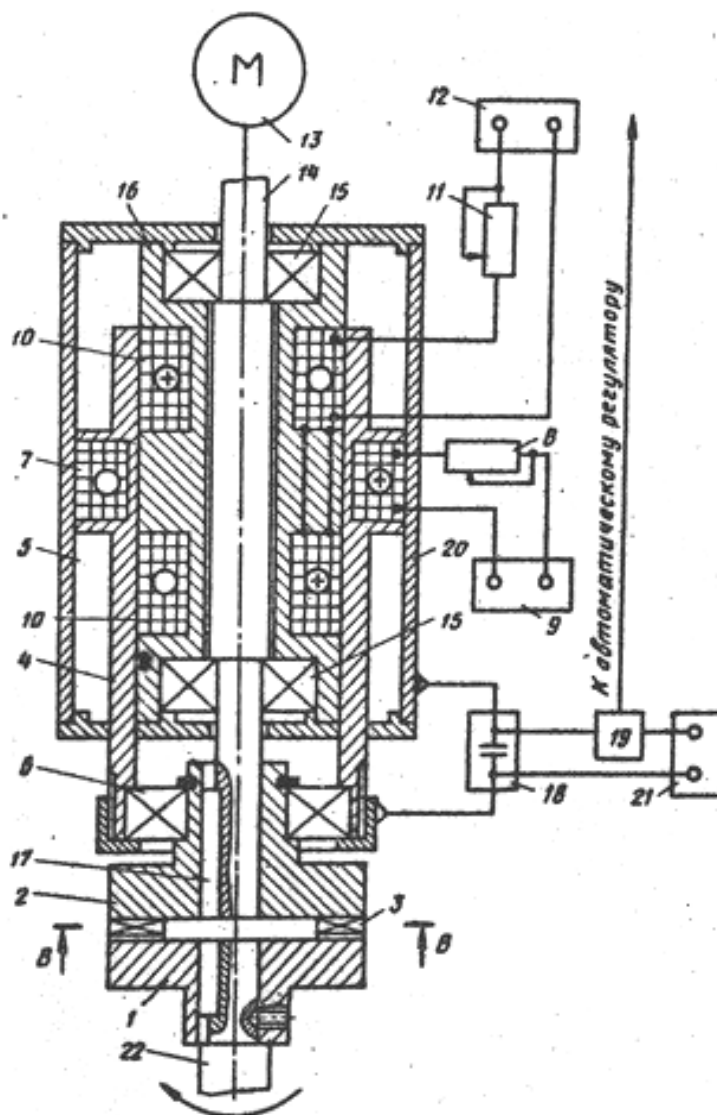


Рисунок 2.7 – запобіжна муфта з робочими елементами у вигляді кулачків

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

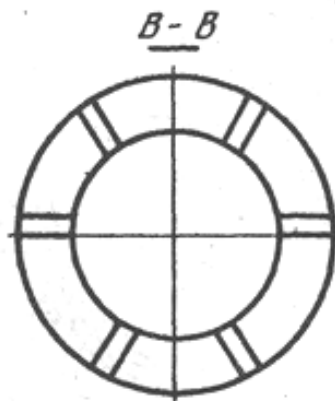


Рисунок 2.8 – розріз В-В

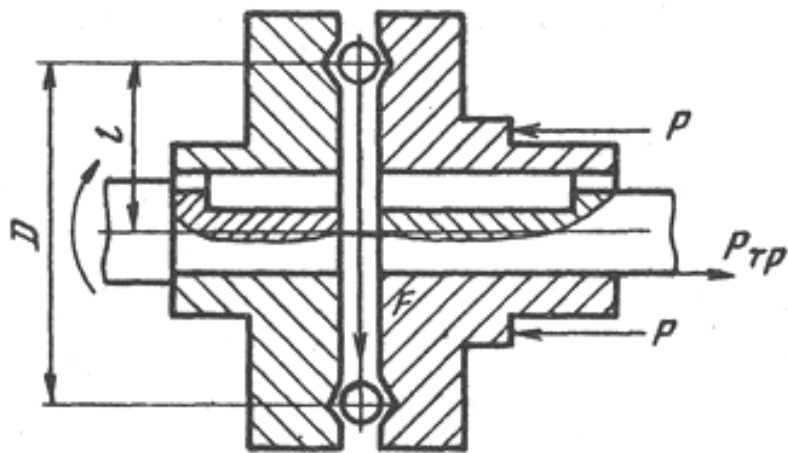


Рисунок 2.9 – розрахункова схема запобіжної муфти

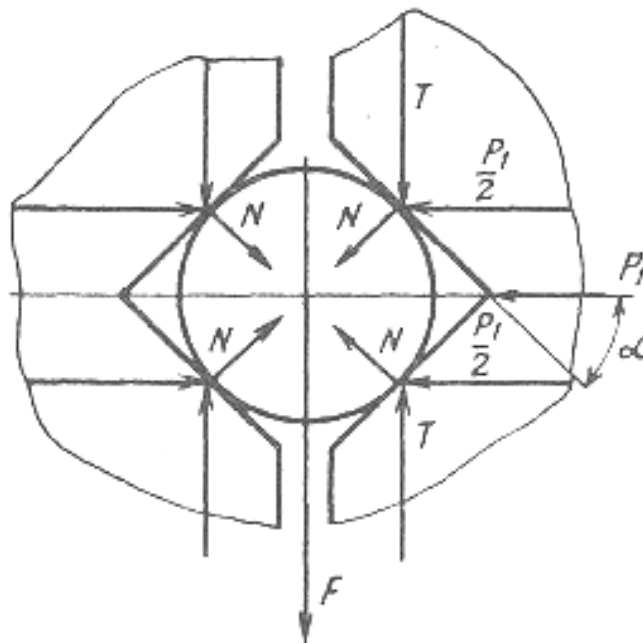


Рисунок 2.10 – Розрахункова схему з однією кулькою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

Зважаючи на рівняння:

$$M_{кр} = P_{л\delta} \cdot D / (2 \operatorname{tg} \alpha)$$

розраховуємо залежності: $M_{кр} = f(P_{л\delta})$, $M_{кр} = f(\alpha)$, $M_{кр} = f(D)$, і будемо відповідні графіки

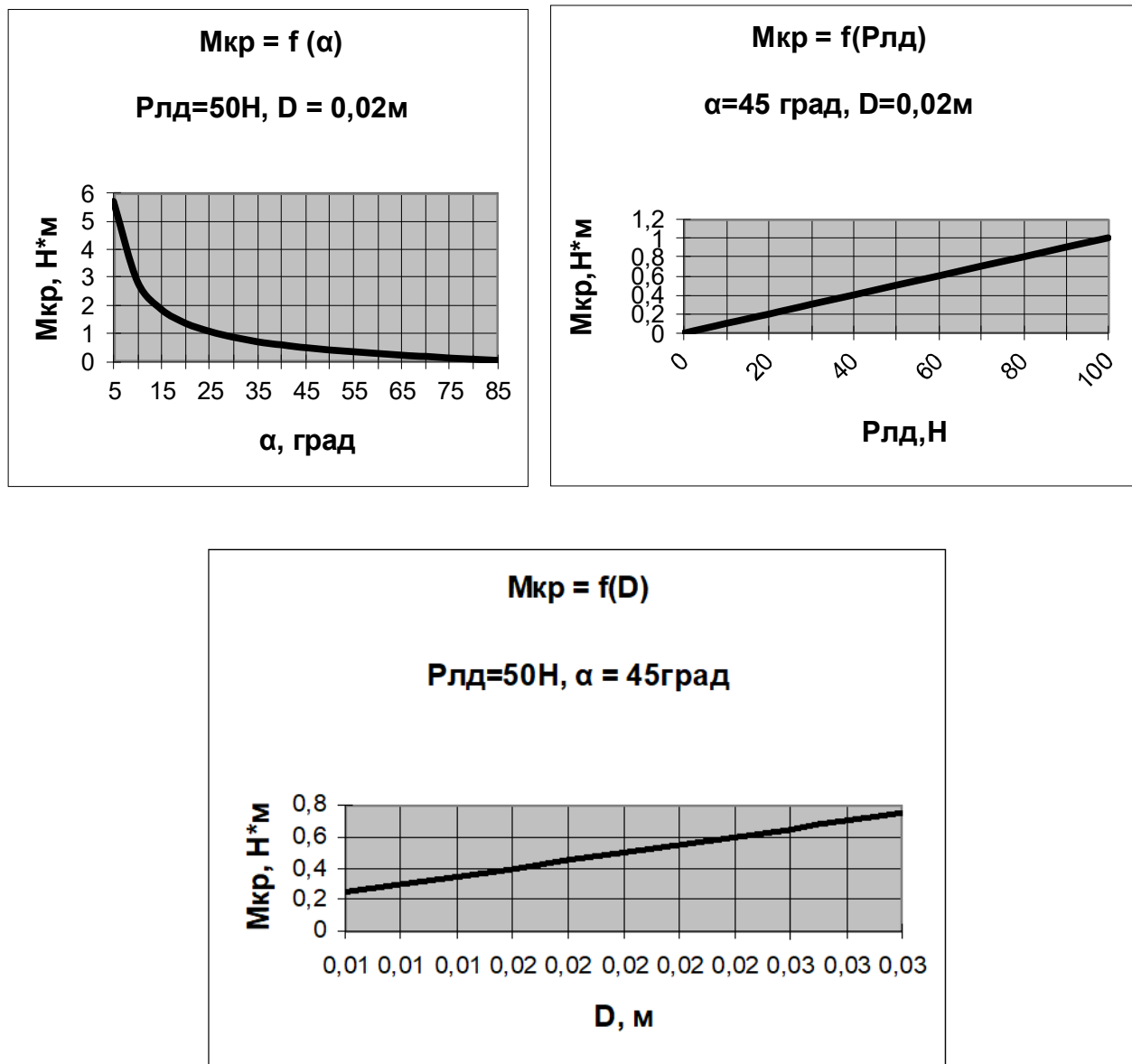


Рисунок 2.11 – Графіки залежностей: $M_{кр} = f(P_{л\delta})$, $M_{кр} = f(\alpha)$, $M_{кр} = f(D)$

5.3 Розрахунок силових перетворювачів

$$\sum F_x = 0 ; F_{\tau} - R_x = 0 \Rightarrow F_{\tau} = R_x$$

$$\sum F_y = 0 ; P_{л\delta} - P_o + G - R_y = 0 \Rightarrow$$

$$P_{л\delta} - P_o + G - M_p / (r \cdot \operatorname{tg} \alpha) = 0$$

$$F_{\tau} \cdot r = R_x \cdot r$$

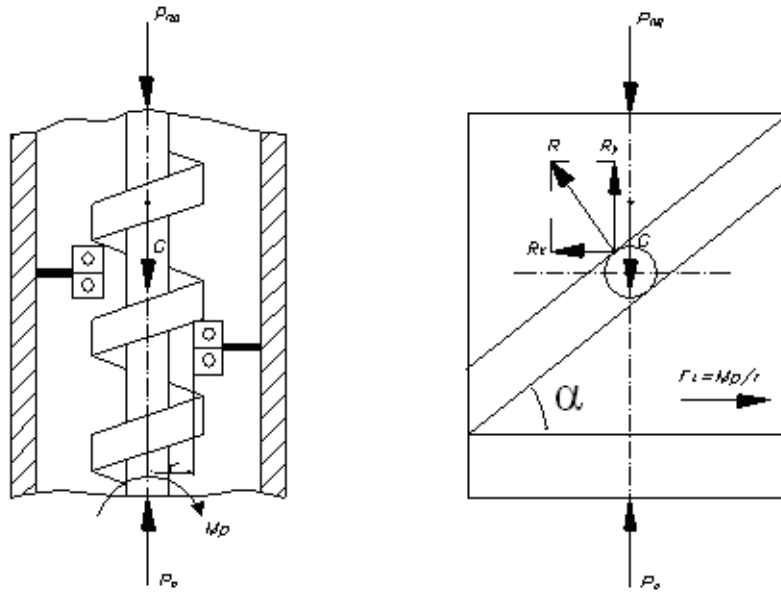


Рисунок 5.12 – Розрахункова схема силових перетворювачів

$$R_x \cdot r = M_p$$

$$P_o = 0 \Rightarrow P_{лд} + G - M_p / (r \cdot \operatorname{tg} \alpha) = 0$$

$$M_p / (r \cdot \operatorname{tg} \alpha) = P_{лд} + G \Rightarrow \boxed{M_p = (P_{лд} + G) r \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

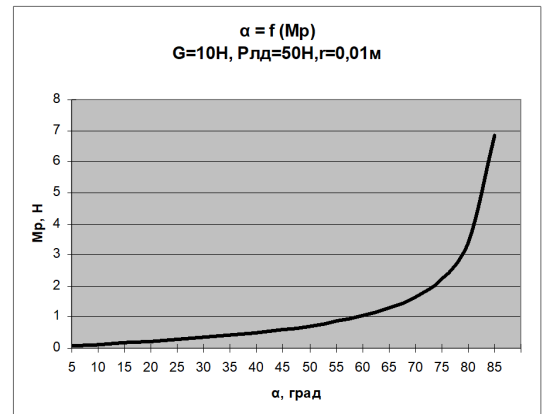
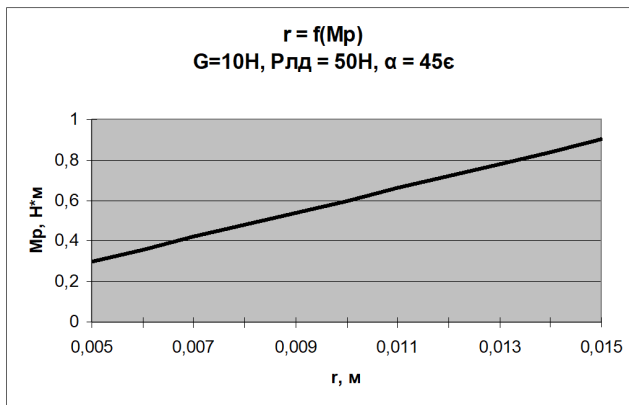


Рисунок 2.13 – Графіки залежностей: $M_p, r=f(M_p), M_p, r=a(M_p)$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

38

3 Охорона праці

3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

При холодній обробці металів на людину діє цілий комплекс небезпечних і шкідливих чинників.

Частини рухомого виробничого устаткування, які пересувають вироби, заготовки, осколки інструментів, висока температура поверхні оброблюваних деталей і інструменту; підвищена напруга в електроланцюзі або статичній електриці, при якій може статися замикання через тіло людини, - відносяться до категорії фізично небезпечних чинників.

Найбільш поширеними у верстатників є травми очей. Так, при механічній обробці від загальної кількості виробничих травм ушкодження очей перевищило 8%. Очі ушкоджувалися пиловими частками оброблюваного матеріалу, осколками різального інструменту.

Фізичним шкідливими виробничими чинниками являються: підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; високий рівень шуму і вібрації; недостатня освітленість робочої зони; наявність прямої і відбитого блиску; підвищена пульсація світлового потоку. За відсутності засобів захисту запиленість повітряного середовища в зоні дихання верстатників може перевищувати гранично допустимі концентрації.

Аерозоль нафтових мастил, що входять до складу мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), може викликати роздратування слизових оболонок верхніх дихальних шляхів, сприяти зниженню імунобіологічної реактивності.

До шкідливих психофізіологічних виробничих чинників процесів механічної обробки можна віднести фізичні перевантаження при установці, закріпленні і зйомці великогабаритних деталей, перенапруженні зору, монотонність праці.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До біологічних чинників відносяться хвороботворні мікроорганізми і бактерії, що з'являються при роботі з МОР.

Таким чином, необхідно розробити заходи по захисту працюючих від небезпечних і шкідливих виробничих чинників і зменшення впливу шкідливих виробничих чинників.

3.2 Розробка заходів по забезпеченню безпечних умов праці

Для зменшення дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників на працюючих і щоб уникнути нещасних випадків пропонується зробити наступні заходи по поліпшенню умов праці і його безпеки за рахунок виконання вимог відповідних ДСТУ 12.2.061:2009 Система стандартів безпеки праці. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць.

- закривати кожухами усі обертаючі та рухомі частини і деталі механізмів і машин;
- захищати робочі зони верстатів для того, щоб стружка не травмувала робітників;
- стружку від металорізальних верстатів і з робочих місць слід прибирати механізованими способами - стружкозбиральними конвеєрами;
- найбільш ефективним і універсальним засобом вирішення проблеми безпеки є видалення стружки безпосередньо від різального інструменту за допомогою пневматичних стружкопилівідсмоктуючих установок;
- застосування робітниками різних засобів індивідуального захисту (рукавиці, окуляри та ін.);
- прибирання робочих місць від пилу і відходів робиться способом, що виключає пилоутворення;
- устаткування, яке в процесі своєї роботи є джерелом шуму, закривати шумопонижуючими кожухами;
- зниження шуму досягається конструктивними змінами в джерелі установкою шумопонижующих екранів;

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вібрацію понизити використовуючи додаткові пристрої (віброізоляційні), застосовувати демпфуючі покриття, а також використовувати антифазну синхронізацію 2-х або декількох джерел збудження;

- робітники і службовці цехів і ділянок обробки різанням для захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями;

- для захисту шкірного покриву від дії МОР і пил токсичних металів застосовувати дерматологічні захисні засоби (креми, пасти).

При виборі аварійних або попереджувальних сигналів перевага віддається звуковим, коли шум в цеху відповідає ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги, інакше доцільно використовувати для сигналізації яскраве миготливе світло. Рівень звукового тиску зазвичай 90 - 100 дБ в смузі частот 125 - 500 Гц. Засоби сигналізації оснащуються світлофільтрами червоного, жовтого, зеленого, синього і білого кольорів.

Червоний колір забороняє роботу, вказує на необхідність негайного втручання в робочий процес. Жовтий колір попереджає про перехід до автоматичного циклу роботи або про наближення якого-небудь параметра до граничного значення. Зелений колір свідчить про знаходження системи або усього устаткування в підготовчому стані до роботи або сповіщає про нормальні параметри і режими роботи. Синій колір застосовується для подачі інформації в спеціальних випадках, коли не можуть бути застосовані попередні кольори. Білий (молочний) колір сигналізує про допоміжні дії, які не можуть здійснюватися в автоматичному циклі, а також підтверджують наявність напруги, вибраного напрямку руху, заданої швидкості.

Установка оброблюваних заготовок і зняття готових деталей під час роботи устаткування допускається поза зоною обробки, при застосуванні спеціальних позиційних пристосувань, що забезпечують безпеку праці працюючих. При обробці заготовок, що виходять за межі устаткування, мають бути встановлені переносні обгороджування і знаки безпеки.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Конструктивні елементи очисників повітря мають бути герметичними щоб уникнути непродуктивних підсосів і витримувати гідростатичне навантаження, що виникає внаслідок роздратування в мережі.

Організація робочого місця

Найбільш важливими елементами робочого місця робітника є:

- оснащення для кріплення і установки деталі на верстаті;
- робочий стіл для креслень і технології;
- спеціальні пристосування для виконання допоміжних операцій;
- шапка для інструменту;
- шапка для креслень і технології.

Характеристика компонентів робочого місця

Основне устаткування: органи управління, способи відображення інформації.

Органи управління верстатом (кнопки) знаходяться в зручному місці на висоті, яка відповідає середньому зросту працівника. На робочому місці є сидіння для відпочинку (лавка). Для опори ніг на робочому місці є підставка для ніг 350×250. Шапка для інструменту. Вимоги до органів управління. Розташування органів управління унеможливорює їх випадкового включення і виключення.

Органи управління мають чітко виконані написи або символи, що пояснюють призначення кожного з них.

Розташування пульта управління забезпечує можливість візуального контролю за виконанням робочих і транспортних операцій.

Робоче місце оператора пульта обладналося кріслом-сидінням, в деяких випадках робоче місце оператора знаходиться в закритій кабіні, що забезпечує захист від дії шкідливих виробничих чинників цього технологічного комплексу.

В результаті виробничої діяльності в повітря потрапляє різна кількість шкідливих речовин. Вміст шкідливих речовин встановлюється ДСТУ EN 482:2016 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин (EN 482:2012+A1:2015, IDT).

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Параметри мікроклімату встановлюються відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" і до них відносяться:

– оптимальна температура для холодного періоду року має бути 17-18°C, для теплого 25-27°C, (для теплого періоду $t_{окр} > 10^\circ C$, для холодного періоду $t_{окр} < 10^\circ C$);

- відносна вологість – до 75%;

- швидкість руху повітря – 0,3 м/с.

Все перелічені вище параметри залежать: від пори року, від категорії робіт (важкі фізичні роботи (293 Вт – більше 10 кг), від теплообміну приміщень (з незначним $Q < 23,2$ Дж/м³).

Для зняття статичної електрики пилоприймачі та повітрешляхи вентиляційних установок мають бути заземлені.

Приміщення і повітрешляхи від місцевих відсмоктувачів і загальнообмінної вентиляції повинні очищатися по графіку, затвердженому відповідно до набутої на підприємстві форми внутрішньої документації.

Відповідно, ворота, двері і технологічні отвори мають бути обладнані повітряними і легко-тепловими завісами. Стан повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень повинен відповідати відповідним вимогам.

Вимоги до освітлення. Природне і штучне освітлення виробничих приміщень повинне відповідати вимогам ДСТУ EN 12464-1:2016 (EN 12464-1:2011, IDT) «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Внутрішні робочі місця». У приміщеннях з недостатнім природним світлом і без природного світла повинні застосовуватися установки ультрафіолетового обслуговування.

Заходи по поліпшенню освітлення робочої зони :

- для будівель передбачаються сонцезахисні пристрої;

- у приміщеннях з недостатнім природним світлом і без природного світла застосовуються установки штучного ультрафіолетового опромінення;

- для місцевого освітлення застосовуються світильники, встановлені на

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

металорізальних верстатах і відрегульовані, щоб освітленість робочої зони не була нижче встановлених значень;

- для місцевого освітлення використовуються світильники з не просвічуваними відбивачами із захисним кутом не менше 30°;

- передбачаються заходи по зниженню відбитої блекоті;

- чищення скла, віконних отворів і світлових ліхтарів повинна проводитися не рідше 2-х раз на рік;

- чищення ламп і освітлювальної арматури для цехів повинне проводитися не рідше 4-х раз на рік.

3.3 Електробезпека

Електробезпека по ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом забезпечується:

- розміщенням в зручному місці ввідного апарату ручної або дистанційної дії, який дозволяє підключати до живлячої мережі усе електроустаткування лінії і відключати його під час перерви в роботі або в аварійних випадках;

- наявністю аварійної кнопки "Стоп" з виступаючим грибоподібним штовхальником червоного кольору, який забезпечує виключення електроустаткування незалежно від режиму роботи;

- захистом електроприводів від самовключення (незалежно від положення органів управління) при відновленні зниклої напруги;

- блокування дверей шаф (ніш) для електроапаратури з дією ввідного вимикача, щоб унеможливити їх відкривання при включеному ввідному апараті і залишити можливість включення останнього при відкритих дверцях під час огляду і наладки апаратури; після закриття дверей блокування повинне автоматично відновлюватися;

- захисним заземленням, зануленням, організацією захисного відключення механічних пристроїв і установок, які випадково можуть

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявитися під напругою;

- укладенням зовнішньої електропроводки (окрім окремих коротких ділянок) і внутрішньою (у місцях можливих ушкоджень, попадань масла, вологи і т. д.) в труби, металорукава, гумові шланги і т. п.

Електричні дроти повинні мати колірну ізоляцію (чи кольорові ізоляційні трубки на кінцях одноколірних дротів), що дозволяє розрізняти призначення проводки і рід електричного струму: силові ланцюги постійного і змінного струму – чорну; ланцюги управління змінного струму – червону; ланцюги управління постійного струму – синю; ланцюги заземлення - жовто-зелену.

У трубопроводах ланцюгів управління передбачаються запасні дроти (запасні дроти можна не прокладати на ділянках завдовжки менше метра) відповідно до рекомендацій.

3.4 Пожежна безпека

Для успішної ліквідації пожеж усі виробничі приміщення забезпечуються первинними засобами пожежогасінні відповідно до норм ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека.

У будівлях влаштовуються пожежні пункти з розрахунку один пункт на 600 м² виробничої площі або 3000 м² площі складу. Вогнегасники є надійним засобом при гасінні займання. У цеху є ручні хімічні вогнегасники. Також встановлюються щити з протипожежним устаткуванням:

- вогнегасники – не менше 7 шт.;
- відра металеві – 6 шт.;
- ломы пожежники – 6 шт.;
- сокири пожежники – 6 шт.;
- лопати совкові – 6 шт.;
- багри металеві – 6 шт.

Усе устаткування забарвлюється в червоний колір.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

В цілях недопущення пожеж в цеху при роботі усі працюючі повинні дотримувати наступні правила пожежної безпеки :

- територія цеху повинна дотримуватися і постійно очищатися від палих мусоров зроблених і інших відходів, що згорають;

- забороняється розкидати по цеху промаслений обтиральний матеріал і ганчірки, горючі відходи повинні зберігатися в металевих ящиках з кришками і у міру їх наповнення віддалятися у безпечне місце;

- усі пожежонебезпечні і легкозаймисті матеріали: бензин, гас, масло та ін. необхідні в процесі роботи рідини, повинні зберігатися в спеціально відведеному для цього місці з написом "Вогненебезпечно";

- категорично забороняється захаращувати устаткуванням, готовою продукцією і іншими предметами проходи і проїзди до пожежних вододжерел, підступи до пожежного інвентаря і устаткування;

- забороняється в силових і енергетичних установках запобіжники, не розраховані по електротехнічних нормах і перерізах дротів;

- первинні засоби пожежогасінні вогнегасники, пожежні крани, ящики з піском, відра, лопати, бочки з водою містити в повній готовності на випадки виникнення екстреної ситуації. Використовувати їх не за призначенням строго забороняється.

На пожежонебезпечних і вибухонебезпечних ділянках цеху паління забороняється. Тут встановлюються попереджувальні написи: "Паління забороняється". Паління дозволяється тільки в спеціально відведеному місці, де є урни і бочки з водою для гасіння недопалків і напису "Місце паління".

3.5 Розрахунок захисного заземлення

Для забезпечення захисту робітника, обслуговуючого металорізальний верстат, від враження електричним струмом потрібне виконання ряду правил відповідно до норм «Електробезпека. Загальні вимоги».

Заземлення усіх металевих елементів верстата, які не знаходяться під

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругою, потрібне на випадок аварії, при якій шафа, кожух, труби опиняються під напругою відносно землі. Зіткнення людини з таким предметом викликає враження його струмом. Усі вказані елементи мають бути надійно з'єднані із станиною верстата. Станина має бути сполучена із сталевною смугою, що входить в систему заземлення цеху.

Для заземлення металевих елементів верстата застосовуємо заземлювач з наступними параметрами:

- діаметр заземлювача ($d = 0,05$ м);
- довжина заземлювача ($l = 5$ м);
- глибина укладання шини ($h = 1,0$ м);
- відстань між заземлювачами ($a = 10$ м);
- ширина шини ($b = 0,06$ м).

Розраховуємо заземлення в умовах підвищеної вологості садової землі.

Розрахуємо електричний опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho \cdot \phi, \quad (3.1)$$

де ρ – електричний опір ґрунту ($\rho = 70 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);

ϕ – кліматичний коефіцієнт, який залежить від характеру ґрунту і його вологості під час вимірів ($\phi=1,3$).

$$\rho_p = 70 \cdot 1,3 = 91 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Опір розтіканню потоку одного вертикального стержневого заземлювача:

$$R_{\text{од}} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot t} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

де t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача ($t=0,5l+h$), м

$$t = 0,5 \cdot 5 + 1,0 = 3,5 \text{ (м)}$$

$$R_{\text{од}} = \frac{91}{2\pi \cdot 3,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,5 + 5}{4 \cdot 3,5 - 5} \right) = 12 \text{ (Ом)}$$

Орієнтована кількість вертикальних заземлювачів:

$$n' = \frac{R_{\text{од}}}{R_n},$$

де R_n – найбільший допустимий опір пристрою ($R_n=10$ Ом),

$$n' = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ (шт)}$$

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розташовуємо заземлювачі в ряд.

Необхідна кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання η :

$$n = \frac{n'}{\eta_s}$$

де, $n = \frac{1,2}{0,91} \approx 2(\text{шт})$

Опір розтіканню сполучної шини з урахуванням коефіцієнта її використання при поглибленні шини :

$$R_{ш} = \frac{\rho_{\text{ш}}}{2\pi L \eta_{ш}} \ln \frac{2L^2}{bh}$$

де L – довжина шини, м;

b – ширина шини, м;

h – глибина укладання шини, м

Довжина шини :

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n,$$

де a – відстань між заземлювачами, м

$$L = 1,05 \cdot 10 \cdot 2 = 21(\text{м})$$

$$R_{ш} = \frac{91}{2\pi \cdot 21 \cdot 0,94} \ln \frac{2 \cdot 21^2}{0,06 \cdot 1,0} = 7(\text{Ом})$$

Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_{ш}}{R_{ш}} + \frac{\eta_{\text{д}}}{R_{\text{д}}}} \leq R_{\text{н}}$$

$$R = \frac{1}{\frac{0,94}{7} + \frac{2 \cdot 0,91}{12}} = 3,5(\text{Ом})$$

$$3,5 \leq 10$$

В ході розрахунку захисного заземлення, ми з'ясували, що для забезпечення непопадання елементів верстата під напругу у випадки аварії, потрібно 2 заземлювача, при загальному опорі заземлюючого пристрою 3,5 Ом, яке не перевищує допустиме (10 Ом).

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У випускній роботі на базі ретельного аналізу літературних і патентних джерел, прийняті дуже неординарні рішення, які дозволяють в копіювальному і програмному режимах обробляти матеріали з будь-якими фізико-механічними характеристиками, аж до рубіна, смарагду і сапфіра.

Ідеї, що розробляються в роботі, будуть впроваджені в існуючому матеріалообробному устаткуванні і дозволять понизити вартість такого роду верстатів і вистояти в конкурентній боротьбі з ведучими верстатобудівними зарубіжними фірмами.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрегатно модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. Під заг. Ред. Ю.М. Кузнєцова. Навч. Посібник для ВНЗ. Кіровоград, 2003. – 507с.

2. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник за ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.

3. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони роботи. Навчальний посібник / За ред. В.Ц. Жидецького. - Львів: Афіша, 2000.- 352с.

4. Деталі машин: Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І. В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.

5. Підшипники кочення: Ч.1. Кулькові підшипники [Електронний ресурс] : навч. наоч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. А.К. Скуратовський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 51 с.

6. Гандзюк М.П., Желібо Е.Л., Халімовський М.О. Основи охорони роботи./ За ред. М.П. Гандзюка.- К.: Каравела, 2004.- 408с.

7. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.

8. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр; спеціалізація – технологія машинобудування) / Навчальний посібник / Під загальною редакцією професора В.Д. Рудя – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ. – 2017. – 500с.

9. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах:

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Монографія Упорядник Кузнецов Ю.М. – К.: - Тернопіль: Терно-граф, 2011. - 692с.

10. Муляр Ю.І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина ІІ: навчальний посібник. / Ю.І. Муляр, С.В. Репінський. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 123 с.

11. Кобзар Є.П., Мельничук Л.С., Громовий О.А. Розрахунки і проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник. - Житомир: ЖІТІ, 2000. - 361 с.

12. Губський А.І., Цивільна оборона. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

13. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 86 с.

14. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: Навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 60 с.

15. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підруч для студ вищих навч закладів. За ред. М.П. Гандзюка – К Каравела, 2004 - 408 с

16. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

17. Пожарова О.В. Охорона праці: навчальний посібник / О.В. Пожарова. – Одеса, 2022. - 86 с.

18. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

					035Б – 25.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		