

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Леонтєв П.В.

\_\_\_\_\_ 2022 р

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: «АВТОМАТИЗАЦІЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВЕРСТАТУ ЦКБ-40»

Дипломний проект

Виконав:  
студент групи СУ-81

Калюжний В.В.

Керівник проекту:  
к.ф.-м.н., доцент

Соколов С. В.

## РЕФЕРАТ

Калюжний Володимир Володимирович. Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40. Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (дипломний проєкт). Сумський Державний Університет, Суми, 2022 р.

Робота присвячена методам та засобам автоматизації процесів управління виконавчими механізмами деревообробного верстату ЦКБ-40. Запропоновано проектне рішення щодо комплексу локальних систем управління виконавчими механізмами та системи комплексної автоматизації верстату. Розроблена конструкторська документація для технічної реалізації системи автоматизації.

Робота містить 84 сторінок основного тексту, 28 рисунків, 7 таблиць; список використаних джерел з 13 найменувань.

Ключові слова: деревообробний верстат, система автоматизації, система управління, виконавчий механізм, електропривод, контролер, подача.

## ABSTRACT

Kalyuzhny Vladimir Vladimirovich. Automation of the woodworking machine TsKB-40. Bachelor's thesis on the specialty 151 – Automation and computer-integrated technologies (diploma project). Sumy State University, Sumy, 2021

The work is devoted to methods and means of automation of processes of management of executive mechanisms of the woodworking machine TsKB-40. The design decision concerning a complex of local control systems of executive mechanisms and system of complex automation of the machine is offered. The design documentation for technical realization of automation system is developed.

The work contains 84 pages of the main text, 28 figures, 7 tables; list of used sources of 13 names.

Keywords: woodworking machine, automation system, control system, actuator, electric drive, controller, feed.

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри

Леонт'єв П.В.

\_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_ ”  
\_\_\_\_\_ “ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Калюжному Володимиру Володимировичу

Тема роботи: Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40. Дипломний проект.

Затверджено наказом ректора університету. №0360-VI від “17” травня 2022р

Термін подання закінченої роботи “31” травня 2022 р.

Вихідні дані до роботи: технічна документація верстату ЦКБ-40.

Зміст роботи: конструктивно-технологічна характеристика об'єкта автоматизації, функціональна схема автоматизації, локальні системи управління, комп'ютерно-інтегрована система управління.

Графічні матеріали: функціональна схема автоматизації, функціональні та структурні схеми локальних систем управління, схеми електричні підключень та з'єднань.

Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Терміни виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання ТЗ. Підбір та аналіз літератури. Відбір аналогів та прототипів.	14.04.2022 – 17.04.2022
2	Опис об'єкту автоматизації. Задачі автоматизації. Аналіз відомих технічних рішень	18.04.2022 - 25.04.2022
3	Розробка функціональної схеми автоматизації	26.04.2022 - 05.05.2022
4	Вибір обладнання	06.05.2022 - 16.05.2022
5	Розробка алгоритмів управління	06.05.2022 - 16.05.2022
6	Охорона праці	17.05.2022 - 22.05.2022
7	Оформлення проекту та презентації	17.05.2022 - 22.05.2022

Дата видачі завдання “...” ... 2022р

Керівник проекту:

к.ф.-м.н., доцент

Соколов С. В.

До виконання прийняв:

студент групи СУ-81

Калюжний В.В.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування «Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40»

*Назва і галузь застосування:* Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40

Деревообробка.

*Підстави для проектування:*

*Призначення проекту:* створення сучасної комп'ютеризованої системи автоматизації деревообробного верстату ЦКБ-40 для потреб деревообробної промисловості України.

*Джерела розроблення:* матеріали виробничої та переддипломної практик, технічна документація верстату, результати аналізу існуючих систем автоматизації прорізних деревообробних верстатів.

*Режими роботи об'єкта:* запуск, режим різання, зупинення, автоматичний контроль та регулювання технологічних параметрів.

*Умови експлуатації об'єкта:* живлення шафи управління –380В, частота – 50 Гц; живлення ПЛК – 24В постійного струму; живлення інтерфейсного модуля – 24В постійного струму. Ступінь захисту складових частин обладнання системи автоматизації – не нижче IP20.

*Технічні вимоги:* ДСТУ 21.404 – 85 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

*Етапи проектування*

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Терміни виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання ТЗ. Підбір та аналіз літератури. Відбір аналогів та прототипів.	14.04.2022 – 17.04.2022
2	Опис об'єкту автоматизації. Задачі автоматизації. Аналіз відомих технічних рішень	18.04.2022 - 25.04.2022
3	Розробка функціональної схеми автоматизації	26.04.2022 - 05.05.2022
4	Вибір обладнання	06.05.2022 - 16.05.2022
5	Розробка алгоритмів управління	06.05.2022 - 16.05.2022
6	Охорона праці	17.05.2022 - 22.05.2022
7	Оформлення проектної документації	17.05.2022 - 22.05.2022

Розробник ТЗ:

студент гр. СУ-81

Калюжний В.В.

Погоджено:

керівник проекту

к.ф.-м.н., доцент

Соколов С. В.

Ном.поз.	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. лист.	Кільк. екз.	Примітка
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1	A4		Завдання кафедри	1	1	
			<u>Новорозроблена</u>			
2	A4	ТЗ	Технічне завдання	2	1	
3	A4	СУ-81.6.151.10.ПЗ	Реферат	1	1	
4	A4	СУ-81.6.151.10.ПЗ	Пояснювальна записка	80	1	
			<u>Документація конструкторська</u>			
5	A4	СУ-81.6.151.10.ПЗ	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Схема інформаційно-матеріальних потоків	1	1	
6	A4	СУ-81.6.151.10.ПЗ	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Функціональна схема автоматизації	1	1	
			<b>СУ-81.6.151.10.ПЗ</b>			
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		
<i>Розробив</i>	Каложний В.В.				<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевірів</i>	Соколов С. В.				Т	1
<i>Реценз.</i>					СумДУ	
<i>Н. Контр.</i>						
<i>Затвердив</i>	Леонтьев П.В.					
				Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40		

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту

### **АВТОМАТИЗАЦІЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВЕРСТАТУ ЦКБ-40**

Проектант:  
студент гр. СУ-81

Калюжний В.В.

Керівник проекту:  
к.ф.-м.н., доцент

Соколов С. В.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	4
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИРІЗНОГО КРУГЛОПИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ЦКБ-40 .....	6
1.1. Конструктивно-технологічна характеристика верстату ЦКБ-40.....	6
1.1.1. Компонування прирізного верстата ЦКБ-40 .....	6
1.2. Технологічні програми порізу заготовок .....	10
1.2.1. Кінематика пилянні круглими пилками. ....	13
1.2.2. Розрахунок сил і потужності пиляння. ....	16
1.2.3. Вибір режимів роботи круглопилних верстатів. ....	19
1.2.4. Вибір різального інструменту.....	20
1.2.5. Вибір швидкості головного руху різання. ....	20
1.2.6. Вибір швидкості подачі .....	20
1.3. Задачі автоматизації.....	22
1.4. Аналітичний огляд відомих систем управління круглопилних прирізних деревообробних верстатів.....	25
1.4.1. Установка колодопилна круглопилна УБК-2.....	25
1.4.2. Установка стаціонарна круглопилна однопильна УСК-1 .....	26
1.4.3. Круглопилний верстат LAIMET-120.....	27
1.4.4. Верстат Kara master.....	29
1.5. Висновки. Постановка задач проектування.....	30
РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВЕРСТАТУ .....	32
2.1. Опис функціональної схеми. Елементний склад .....	32
2.2. Енергетичні та інформаційні зв'язки. Контури регулювання технологічних параметрів	33

					<b>СУ-81.6.151.10.ПЗ</b>							
<b>Змн</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>								
<b>Розробив</b>		Калюжний В.В.			Автоматизація деревообробного верстату ЦКБ-40			<b>Лит.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Листів</b>		
<b>Перевірів</b>		Соколов С. В.						Т	2	80		
<b>Реценз.</b>								<b>СумДУ</b>				
<b>Н. Контр.</b>												
<b>Затвердив</b>												

2.3. Висновки .....	35
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....</b>	<b>36</b>
3.1. Електропривід головного руху та подачі заготовки .....	36
3.1.1. Вибір систем електроприводів пиляльних дисків та подачі заготовки .....	36
3.1.2. Комплектний електропривод пиляльних дисків та подачі .....	45
3.2. Засоби координаційного управління виконавчими механізмами.....	47
3.2.1. Засоби вимірювання технологічних параметрів .....	47
3.2.2. Технологічний контролер .....	50
3.3. Висновки .....	53
<b>РОЗДІЛ 4. ЛОКАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГОЛОВНИМ РУХОМ ВАЛІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ПИЛИ ТА ФУГАНКУ .....</b>	<b>54</b>
4.1. Функціональна схема електропривода.....	54
4.2. Структурна схема електропривода.....	58
4.3. Висновки .....	65
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЕРЕВООБРОБНИМ ВЕРСТАТОМ.....</b>	<b>66</b>
5.1. Структурна схема .....	66
5.2. Алгоритм роботи технологічного контролера .....	67
5.3. Інтерфейс оператора .....	68
5.4. Висновки .....	70
<b>РОЗДІЛ 6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВЕРСТАТУ ЦКБ-40 ...</b>	<b>71</b>
6.1. Аналіз факторів небезпеки .....	71
6.2. Комплекс заходів захисту персоналу .....	75
6.3. Висновки .....	76
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>79</b>



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП автоматизована система управління технологічним процесом;  
ПЛК програмований логічний контролер;  
РУ ручне управління;  
КТ контролер технологічний;  
СА система автоматизації;  
САР система автоматичного регулювання;  
САУ система автоматичного управління;  
SCADA system control and data acquisition.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

## ВСТУП

Автоматизація технічних процесів у деревообробній промисловості є одним із найважливіших факторів української економіки, що викликало інтерес до лісозаготівель та експорту листяних порід і хвойних волокон. Вказано на актуальність даного проекту для розвитку системи автоматизації деревообробного обладнання.

Метою роботи є опис та розробка систем управління верстату ЦКБ-40.

Звідси маємо перелік завдань які постають:

**Завдання 1.** Розробити локальну систему керування електроприводом пильного полотна.

**Завдання 2.** Розробити локальну систему керування електроприводом живильної заготовки.

**Завдання 3.** Розробити локальну систему керування відведенням стружки в зоні різання

**Завдання 4.** Розробити локальну систему керування аварійною зупинкою осі пилки

**Завдання 5.** Створити функціональну схему автоматизації верстата.

**Завдання 6.** Розробити комп'ютерно-інтегровану систему керування машиною

**Завдання 7.** Розгляньте питання охорони праці під час роботи машини.

Технічним об'єктом, для якого розробляється система автоматизації (СА) є циркулярна пила ЦКБ-40. Верстат призначений для розпилювання колод на дошки або дощок на бруси.

За допомогою аналізу технічної схеми та специфікації технологічного процесу встановлюється завдання автоматизації, пропонується функціональна схема системи автоматизації та вибирається технічне завдання для реалізації автоматизації. Розгорнуто локальну систему управління та комп'ютерну інтегровану систему управління механізмом намотування. Запропоновано технічну схему охорони праці обслуговуючого персоналу під час роботи машини. Комплект конструкторської документації забезпечує можливість технічної реалізації запропонованого СА.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

## РОЗДІЛ 1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИРІЗНОГО КРУГЛОПИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ЦКБ-40

### *1.1. Конструктивно-технологічна характеристика верстату ЦКБ-40*

ЦКБ-40 призначений для і точного прямолінійного поздовжнього розпилювання в розмір по ширині обрізних і необрізних дощок та брусів товщиною до 150 мм (КДК 5-4) і шириною 10..315 мм на бруски необхідної ширини.

Багатопилковий верстат ЦКБ-40 використовують в меблевому, столярному і в інших деревообробних виробництвах. Особливо ефективним є застосування цього верстата при випилюванні заготовок зі строго прямолінійними сторонами.

#### **1.1.1. Компонування прирізного верстата ЦКБ-40**

Станина складається з двох чавунних частин у формі коробки зверху та знизу. Шафи електрообладнання розташовані в нижній частині передньої частини (вздовж розпилу) і верхній частині задньої частини. Вал пилки монтується у верхній частині і частково входить в кронштейн, де кріпиться пилка. Внизу, на хиткій дощці, встановлений двигун пилкового валу. Також є натягувач для кріплення мотора при зміні діаметра пилки. Механізм управління встановлений на верхній стіні. На нижній частині спинки закріплена пластина, на якій закріплена коробка передач електродвигуна, трансмісія і механізм подачі.

Пиловий вал закріплений на двох кронштейнах у жорсткому корпусі, шарнірно прикріпленому до верхньої частини ліжка. Передній корпус має припливи, через які проходять вали. На задній частині корпусу є вушка для підвішування, шарнірно закріплена на корпусі підйомними гвинтами. Верхній кінець підйомного гвинта закріплений в механізмі управління.

Шків встановлений на одному кінці пилкового вала, а пилка – на іншому кінці. При розпиленні тонких пластин він може замінити пилку, встановити кілька, пилочок (не більше 5), а ширина постави не перевищує 200 мм.

При установці кількох пилочок потрібно виготовити і встановити між пилками розпірні кільця, які відповідають ширині стріли, і зробити нові черевики з вирізами в залежності від того, де знаходиться пил. Механізм управління змонтований у верхній частині станини і здійснює вертикальне переміщення супорта притискних валків і пильного вала через систему циліндричних і

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
						6
ЗМН	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

конічних шестерень. Маховичок механізму має 2 крайніх положення. У передньому крайньому положенні здійснюється підйом і опускання пильного вала, в задньому - супорта притискних валків.

Захист пилки складається з двох поворотних пластин, які запобігають вилітання кісток і кулаків збоку. При обприскуванні широких дощок і щитів листя підніметься в міру проходження дошок.

Механізм проти удару використовується для запобігання відкидання розпилюючої пластини назад (на оператора). Механізм складається з корпусу, в якому встановлені 2 ряди пазурів, що дозволяють пластині проходити вперед і запобігають зворотний вихід.

При необхідності верхню щелепу можна підняти, а нижню опустити за допомогою спеціальної ручки. Передбачено електричний замок, який забезпечує гальмування валу пилки та механізму подачі при піднятті кігтя за допомогою ручки. [7]

Технічну характеристику верстату наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата ЦКБ-40.

<i>Назва характеристики</i>	<i>Од. вим.</i>	<i>Значення</i>
Просвіт верстата	мм	460
Розміри оброблюваного матеріалу:		
довжина	мм	від 400
товщина	мм	6 ... 120
Найбільша відстань між крайніми пилами	мм	250
Мінімальна відстань між сусідніми пилами	мм	10
Число пил	шт.	5
Діаметр пил	мм	314 ... 400/50
Частота обертання	об / хв	3600
Швидкість подачі	м / хв	6 ... 60
Подача заготовки	гусенична	
Потужність	кВт	33,1
Габарити	м	1,93 x 1,78 x 1,63
Маса	кг	2150

Конструкцію верстату ЦКБ-40 ілюструє рис. 1.1:

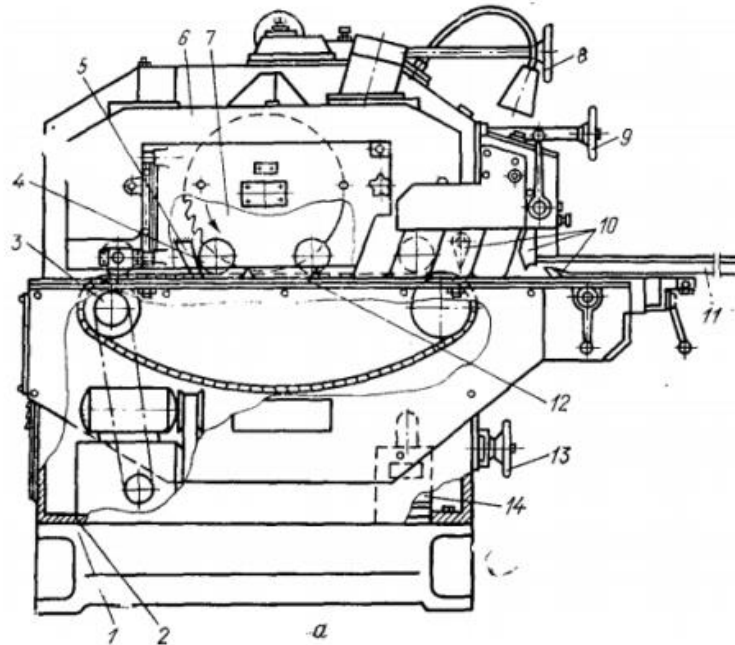


Рисунок 1.1. Конструктивний склад деревообробного верстату ЦКБ-40

Конструктивно машина включає механізми: переміщення головного руху 7, подачі, управління захисний вал, затискний супорт і трансмісія 13, базовий елемент 11 і запобіжний елемент 10. Всі основні частини машини встановлені на рамі 1.

Механізм основного руху складається з пилкового вала, один кінець якого має затискний фланець для фіксації пилки, а інший кінець має еластичну муфту для підключення електроприводу. Вал пилки обертається в підшипниках, встановлених в подовженому корпусі, утримуваному в ексцентриковій втулці. Ексцентрик забезпечує жорстке кріплення шпиндельного вузла і дозволяє здійснювати регулювання за допомогою механізму управління пилковим валом, що складається з маховичка 9 і черв'ячної передачі, в залежності від діаметра використовуваної пилки. Пильний вал приводиться в рух електродвигуном М (13 кВт, 2910 хв-1).

Механізм подачі складається з конвеєра 3 і притискного ролика 4, закріплених на спеціальному кронштейні 6. Конвеєр складається з кронштейна, провідної зірочки, двох дверей, гусеничного ланцюга та його напрямних 12. Конвеєрний ланцюг має колію шириною 170 мм. На робочій поверхні гусениці є вал сітки з кроком 5 мм з канавкою шириною 10 мм і глибиною 6 мм посередині для розміщення верхньої частини пилки для забезпечення належного розпилення по всій висоті заготовки. На нижній стороні рейок є два кутових проріза для заземлення, які точно відповідають рейкам, закріпленим на рамі конвеєра.

						СУ-81.6.151.10.ПЗ	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			8



## 1.2. Технологічні програми порізу заготовок

Лісопилний процес — це процес розпилювання деревини на частини пилюкою (ДСТУ 17743-72). Поперечне розпилювання деревини - це розпилювання, де площина різання перпендикулярна напрямку волокон деревини. Поздовжнє розпилювання - це розпилювання, де площина різання паралельна напрямку волокон деревини. Тому однією з особливостей процесу розпилювання є утворення надрізів у матеріалі, що відокремлюється.

Пиляння – це зазор, який утворюється в деревині, коли її розпилюють шляхом дроблення частини деревини та видалення пилюки. Якщо процес розпилювання не завершено, то в стовбурі можна розрізнити дно і бортики (стінки). Для виконання різів пила повинна мати три робочих полотна (залежно від кількості різів). У порівнянні з простою однолезвою, відкритого різу, трилезова пила закрита.

Ріжучим інструментом є циркулярна пила. Різання деревини циркулярною пилюкою обумовлено наявністю в ній зазубрин, які руйнують міжклітинні зв'язки, розрізаючи деревину і видаляючи тирсу зі зрізу. Ріжуча частина пильного диска характеризується кутівими і лінійними параметрами. Бокова частина  $A_\gamma$ , уздовж якої під час різання відвалюється стружка (рис. 1.2), називається передньою стороною, а поверхня зуба  $A_\alpha$ , звернена до низу різу, — задньою. Боки зубів називають правим і лівим (за напрямком обертання пилюки).

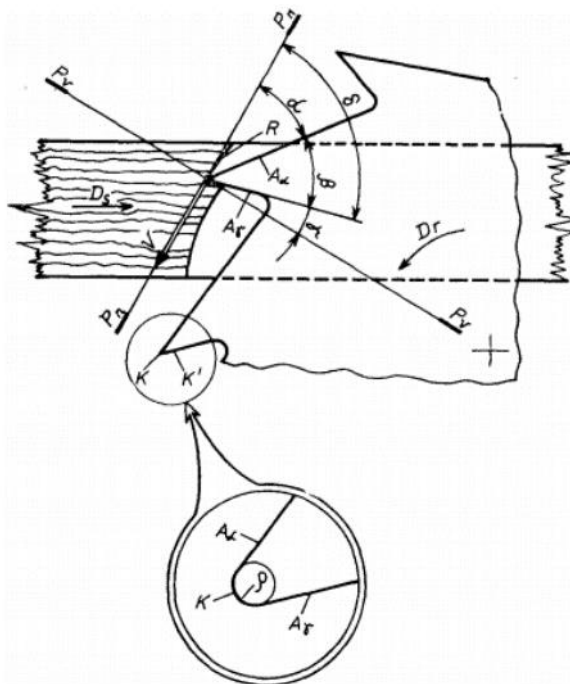


Рисунок 1.2. Кутіві параметри пилюки: кути:  $\alpha$  – задній,  $\beta$  – загострення,  $\gamma$  – передній,  $\delta$  – різання; площини:  $P_n$  – різання,  $P_\gamma$  – основна; поверхні:  $A_\gamma$  – передня,  $A_\alpha$  – задня; рухи:  $D_r$  – головний;  $D_s$  – подачі;  $\rho$  – радіус зкруглення різальної кромки.

										Лист
										10
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						

Боки зубів, що перетинаються, утворюють ріжучу кромку: коротку і поперечну  $K'$ . Перехід від передньої до задньої або бічної поверхні відбувається вздовж деяких сполучних поверхонь (це добре видно при розгляді зубців під мікроскопом). Для простоти ці перехідні поверхні замінені вписаними циліндричними поверхнями. Тоді в нормальному перерізі профіль кожної лопаті буде дугою радіуса  $\rho$ . Цей радіус називають радіусом ріжучої кромки. При  $\rho = 5 \dots 10$  мкм зубці вважаються дуже гострими, з радіусами кутів понад 60 мкм - тупими.

У процесі різання зубці вриваються в оброблюваний матеріал і розрізають його лезом, перетворюючи на стружку (тирсу). Поверхня, на якій відокремлюється стружка від заготовки, називається поверхнею різання  $R$ . Площину, що стикається з ріжучою поверхнею в даній точці ріжучої кромки, називають ріжучою гранню  $R_p$ . Площину  $P_v$ , перпендикулярну до напрямку головної швидкості різального руху  $v$ , називають головною площиною.

Положення ріжучої поверхні зуба і ріжучої кромки відносно площини різання характеризується геометричними параметрами ріжучої частини інструменту в процесі різання.

- Робочий кут. Основними робочими кутами є ріжучі кути, передній і задній.

Кут різання — це кут між січною площиною  $R_p$  і передньою поверхнею зуба  $A_\gamma$ . Передній кут  $\gamma$  — це кут між передньою поверхнею лопаті  $A_\gamma$  і основною площиною  $P_v$ . Зазорний кут - це кут між задньою поверхнею леза  $A$  і площиною різання  $R_p$ .

Точно визначити положення ріжучої грані та вимірвальну площину робочого кута важко, тому для роботи та заточування інструменту необхідні геометричні параметри ріжучої частини кругового зубця, а в статичі – щоб тобто інструмент і заготовка не враховуються під час виконання процесу різання.

Для виготовлення та керування циркулярними пилами зручно використовувати декартову систему координат, орієнтовану за геометрією інструменту з вершиною зуба в якості початку координат (рис. 1.3). Головна площина  $P_{vu}$  інструментальної системи проходить через верхівку зуба перпендикулярно напрямку швидкості основного руху різання.  $P_{v\gamma}$ . Дотична площина інструмента  $P_{tu}$  — це координатна площина, яка стосується верхньої частини зуба пилки і перпендикулярна до базової площини. Контурна інструментальна площина  $P_{ki}$  — це координатна площина, перпендикулярна до перетину головної площини та дотичної площини. Крім цих площин, іноді використовують нормальну зрізну площину передньої поверхні  $R_{n\gamma}$  (розріз B-B) і нормальну площину зрізу задньої поверхні  $R_{n\alpha}$  (розріз A-A).

						<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
							11
Змн	Арк	№ докum.	Підпис	Дата			



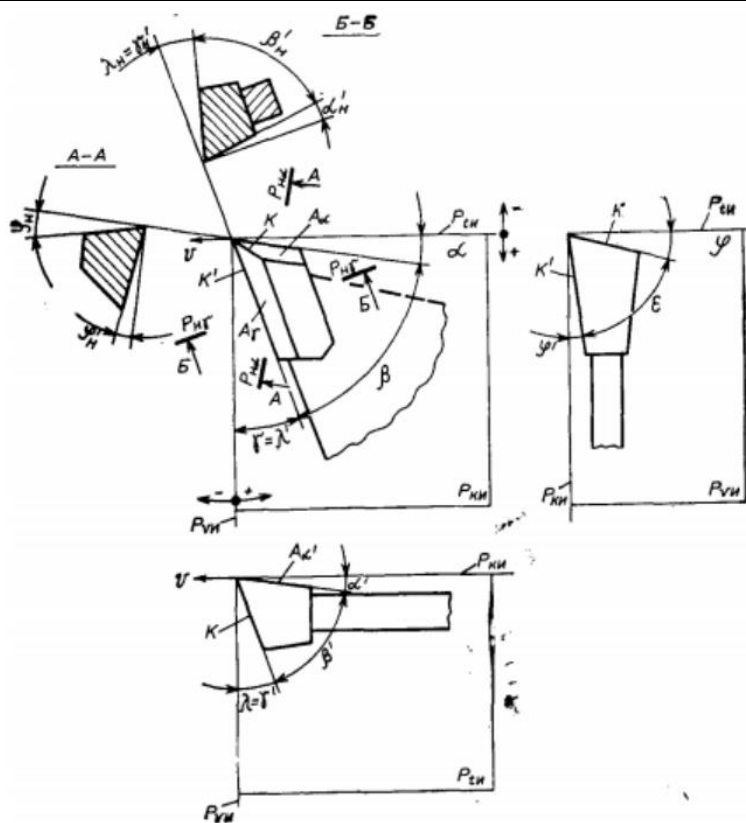


Рисунок 1.3. Координатні інструментальні площини для пильного ріжучого інструменту:  $P_{ки}$  – контурна;  $P_{vu}$  – основна;  $P_{tu}$  – дотична

Для ріжучої кромки зуба (коротка ріжуча кромка, яка є основною ріжучою кромкою при поздовжньому пилянні) кут профілю розрізняють у профільній площині  $P_{ki}$ : Кут рельєфу  $\alpha$  - кут між задньою поверхнею  $A\alpha$  і тангенціальним інструментом. приватна площина ; Кут заточування - кут між передньою  $A\gamma$  і задньою  $A\alpha$  поверхнями леза  $K$ ; Передній кут - кут між передньою поверхнею леза  $K$  і основною площиною  $P_{vu}$  інструмента.

Кут спереду-назад є додатним, якщо він знаходиться за межами зубця, і негативним, якщо він знаходиться всередині зубця. Між кутами  $\gamma$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  існує залежність:  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ . Положення короткої ріжучої кромки  $K$  можна додатково задати через кути  $\lambda$  та  $\varphi$ .

Кут нахилу  $\lambda$  ріжучої кромки — це кут між ріжучою кромкою  $K$  або її проекцією на площину  $P_{tu}$  та головною площиною інструменту  $P_{vu}$ . Кут  $K$  вимірюється в площині  $P_{vu}$ .

Скіс ріжучої кромки — це кут між ріжучою кромкою  $K$  або її проекцією на головну інструментальну площину  $P_{vp}$  і дотичну площину  $P_{tp}$ . Кут  $\varphi$  вимірюється в головній площині  $P_{vu}$ .

Для бічних ріжучих крайок зубів пили розрізняють: задній кут  $\alpha'$  (кут бічного зазору) — кут між бічною задньою поверхнею зуба  $A\alpha'$  і контурної площиною  $P_{ki}$ ; кут загострення  $\beta'$  —

кут між передньою  $A_\gamma$  і бічною задньою поверхнею  $A_\alpha$ ; передній кут  $\gamma'$  – кут між передньою поверхнею  $A_\gamma$  і основний інструментальної площиною. Кути  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$  вимірюють в площині Р t "або в перерізі, паралельному цій площині і проходить через дану точку бічної різальної крайки. Співвідношення між кутами  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$ :  $\alpha' + \beta' + \gamma' = 90^\circ$ . Іноді вимір кутів для бічної різальної крайки  $K'$  зручніше виконувати в перерізі нормального до бічної ріжучої кромці  $P_{ny}$ . В цьому випадку  $\alpha'_n + \beta'_n + \gamma'_n = 90^\circ$ .

Кут нахилу бічної ріжучої кромки К - це кут між бічною ріжучою кромкою К або її проекцією на профільну площину  $R_{kp}$  і площиною основного інструменту. Він вимірюється в контурній площині в заданій точці або в розрізі, паралельному площині контуру.

Внутрішній кут  $\phi'$  (допоміжний кут у площині) — це кут між боковою ріжучою кромкою  $K'$  або її проекцією на головну площину інструменту  $P_v$  і площиною контуру  $P_{ki}$ . Кут  $\phi'$  вимірюється в головній приладовій площині  $P_{vu}$  або в перерізі, паралельному цій площині.

Додатковий кут у площині  $\epsilon$  — це кут між проекціями короткої ріжучої кромки та бічної ріжучої кромки на головну площину інструменту  $P_{vu}$ , а між кутами  $\phi$ ,  $\epsilon$ ,  $\phi'$  існує залежність:  $\phi + \epsilon + \phi' = 90^\circ$ . Для стандартної циркулярної пилки значення деяких кутів короткої і бокової кромки становлять  $\gamma' = \lambda$ ;  $\lambda' = \gamma$ . Встановіть деякі параметри кута в звичайному розрізі, щоб заточити та перевіряти, поки короткі та бічні краї зубців не стануть зручнішими. Так задаються кути загострення по передній поверхні  $\gamma_n'$  і по задній  $\phi_i$ . Характерною ознакою процесу розпилювання є участь кількох ріжучих кромки у різанні.

Кутовий параметр зуба характеризує взаємне розташування утворюючих його поверхонь з урахуванням кількості ріжучих кромки. Первинними кромками зубів будуть ті, які виконують основну функцію різання деревних волокон. При поздовжньому розпилюванні основну функцію різання деревних волокон виконують короткі ріжучі кромки зубів, тому вона буде основною. У пилку, що використовується для поперечного різання, основну функцію різання деревних волокон виконують бічні леза, тому ці леза будуть переважати.

Для щільності розрізу під час розпилювання необхідно, щоб об'єм порожнини між зубами (див. рисунок 1.2) був достатньо великим з профілем, який сприяє максимальному заповненню та ущільненню стружки. Конструкція порожнини та її експлуатаційні характеристики оцінюються за коефіцієнтом напруження порожнини. За даними спеціальних досліджень значення  $\sigma$  для підтримки нормального робочого стану фрези має бути не менше 0,5.

### **1.2.1. Кінематика пилянні круглими пилами.**

Головний рух різання  $D_r$  при пилянні круглими пилами – це обертальний рух інструменту з частотою  $n$  (зазвичай від 1500 до 3000  $\text{хв}^{-1}$ ). Частоту обертання пилки зазвичай

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		13

вважають постійною. Тоді швидкість головного руху різання  $v$ , м/с – це швидкість руху вершини зуба по колу, визначається за формулою

$$v = \pi D n / (60 \cdot 1000), \quad (1)$$

де  $D$  – діаметр пилки (діаметр різання), мм. В середньому швидкість головного руху при пилянні круглими пилами коливається від 40 до 80 м/с.

Рух подачі  $D_s$  в розрізі, як правило, прямий і рівномірний, зазвичай надається заготовці. Циркулярні пилки зі швидкістю подачі 50 м/хв і більше. При поперечному різанні рух подачі  $D_s$  здійснюється заготовкою або пилкою.

Швидкість подачі є основною характеристикою циркулярної пилки. Для того, щоб судити про режим роботи пильного інструменту та його можливості для посилення та покращення якості пиляння, використовуються такі поняття: подача на оберт  $S_o$  і подача на зуб  $S_z$ .

Подача на оборот – це переміщення заготовки (або пили) за час одного обороту пилки

$$S_o = 1000v_s/n, \quad (2)$$

де  $S_o$  – подача на оборот, мм/об;  $v_s$  – швидкість подачі, м/хв;  $n$  – частота обертання пилки, хв<sup>-1</sup>; 1000 – коефіцієнт переведення швидкості подачі з м/хв в мм/хв.

Подача на зуб – це переміщення заготовки за час повороту пили на один кутовий крок зубів:

$$S_z = S_o/z = 1000v_s/nz, \quad (3)$$

де  $S_z$  – подача на зуб, мм/зуб;  $z$  – загальне число зубів пилки, шт.

Якщо основний рух різання  $D_r$  і подача  $D_s$  у точці контакту між інструментом і заготовкою мають протилежні напрямки, така ситуація пиляння називається розпилюванням із зворотною подачею. Якщо напрямок руху  $D_r$  і подача  $D_s$  однакові, така ситуація розпилювання називається висхідною подачею.

При поздовжньому розпилюванні подача майже не використовується, оскільки вона може затягувати деревину пилкою, що призводить до нерівномірності подачі і перевантаження двигунів ріжучих і подаючих механізмів.[3]

Подача підйому часто використовується для поперечного пиляння. При розпилюванні циркулярною пилюкою додавання двох одночасних рухів, основного  $D_r$  і подачі  $D_s$  призводить до руху чистого різання  $D_e$  і трохойдального шляху різання.

Додайте основну швидкість руху різання  $v$  і подачу  $v_s$ , щоб отримати чисту швидкість руху різання  $v_e$ .

Через згортання значення  $v_s$  порівняно з  $v$  (відношення  $v/v_s = 0,01$  для  $v = 50$  м/с і  $v_s = 30$  м/хв =  $0,5$  м/с), справжній шлях різання (трохойдальний) і коло різання малі, тому циклоїду замінено на коло, а швидкість  $v_e$  результуючого руху різання приймається рівною швидкості  $v$  основного ріжучого руху, тобто  $v_e \approx v$ , допускаючи лише невелику похибку.

При розпилюванні циркулярною пилюкою кожен зуб пилюки в процесі різання зрізає певний шар деревини, яка в процесі різання сильно деформується, розпадаючись на окремі елементи (перетворюючи на тирсу). Таким чином, шар зсуву — це частина матеріалу, обмежена ріжучими поверхнями двох сусідніх зубів, яка буде зрізана одним зубом.

Під час різання деревини циркулярною пилюкою основна функція зубів полягає в розрізанні волокон. Найкращими умовами для різання волокон є перпендикулярність до ріжучої кромки (леза) волокон. Під час поздовжнього розпилювання основна (коротка) ріжуча кромка розрізає волокна, а бічні ріжучі кромки утворюють бічні стінки зрізу. При поперечному різанні волокна зрізають бічні ріжучі кромки, такі ж ріжучі кромки утворюють бічні стінки розрізу, а коротші (косі) кромки утворюють низ розрізу.

Тому при розпилюванні кожен зуб теоретично може залишати сліди на поверхні зрізу, а відстань між цими мітками визначається кінематикою процесу розпилювання та способом препарування зубів.

Геометрія поверхні різання формується під впливом кількох технологічних факторів: якості підготовки зубів пилюки, способу пиляння, стабільності плоскої форми пильного диска під час роботи, бічної вібрації диска, вібрація заготовки тощо.

Шорсткість захисної поверхні бажано визначити за глибиною подряпин, залишених пиловими зубами. Під час різання циркулярною пилюкою ризик найбільший там, де розріз найширший. Для верхніх пилок це спостерігається на поверхні заготовки, де зубці виходять з пропилю, тоді як для нижніх пилок зубці входять в пропилю.

Зі збільшенням тупості циркулярної пилюки глибина нерівностей також збільшується через появу нерівностей поломки, оскільки тупі зуби менш ефективні при різанні деревних волокон. Експериментальні дослідження показали, що збільшення радіусу ріжучої кромки з 20 до 100 мкм в середньому 2 рази.

У виробничих умовах максимальну глибину кінематичних нерівностей можна розрахувати за формулою

$$y_{\max} = S_0 \sin \varphi_{\text{вых}} \operatorname{tg} \varphi' . \quad (4)$$

За допомогою рівняння (4) можна визначити максимальну висоту нерівності за відомою подачею  $S_0$  або  $S_z$ , типом зуба і кутом виходу, або вирішити обернену задачу – визначити допустиму швидкість подачі для заданої шорсткості.

При розпилюванні пилами з лезами з карбїду вольфраму рекомендована подача  $S_z$ ) мм/зуб залежить від типу матеріалу, що обробляється.

### **1.2.2. Розрахунок сил і потужності пиляння.**

При пилянні витрачається певна кількість енергії.

Частина енергії витрачається на різання стружки і подолання тертя під час різання, а частина енергії – на подолання тертя і опору, що створюються в верстаті і робочих осередках приводу. Енергія, витрачена на розпилювання циркулярною пилкою, залежить від багатьох факторів.

Важливою енергетичною характеристикою процесу розпилювання є потужність пиляння  $P$ . Для дискових пил ця потужність розташована на осі пиляння. Під час врізання пилки в деревину між пилкою і деревиною виникає сила взаємодії  $F$  (рис. 4). Ця сила називається силою різання. Зазвичай силу різання зручніше виразити не у вигляді вектора  $F$ , а у вигляді двох складових її дотичної  $F_k$  і нормалі  $F_n$ , компонент  $F_n$  можна відсунути назад  $|+ F_n|$  або зтягнути  $|- F_n|$ , за абсолютною величиною.

$$F = \sqrt{F_k^2 + F_n^2} . \quad (5)$$

Вектор  $F$  також можна розкласти на сили  $F_1$  і  $F_2$ , що діють в напрямку подачі і перпендикулярно напрямку подачі, тобто сили, протилежні подачі і затисканню заготовки.

У практиці розрахунку сили і потужності пиляння використовуються різні методи. Аналітична формула для розрахунку зусилля різання встановлюється за законами механіки та опору матеріалу з урахуванням фактичних властивостей матеріалу, що обробляється. Цей метод не отримав широкого поширення через складність отримання необхідних вихідних властивостей матеріалу, що обробляється, і деяких параметрів процесу різання.

Велике поширення на практиці отримав метод розрахунку сил і потужності з урахуванням обсягу срезаної деревини та питомої роботи різання. Цей метод отримав назву

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16

«об'ємний», тому що він заснований на застосуванні «об'ємної» формули потужності різання. Використовуються також методи «розчленований» і «силовий», розроблені в МЛТІ. Сутність останнього заключається в тому, що для розрахунків застосовуються нормовані сили.

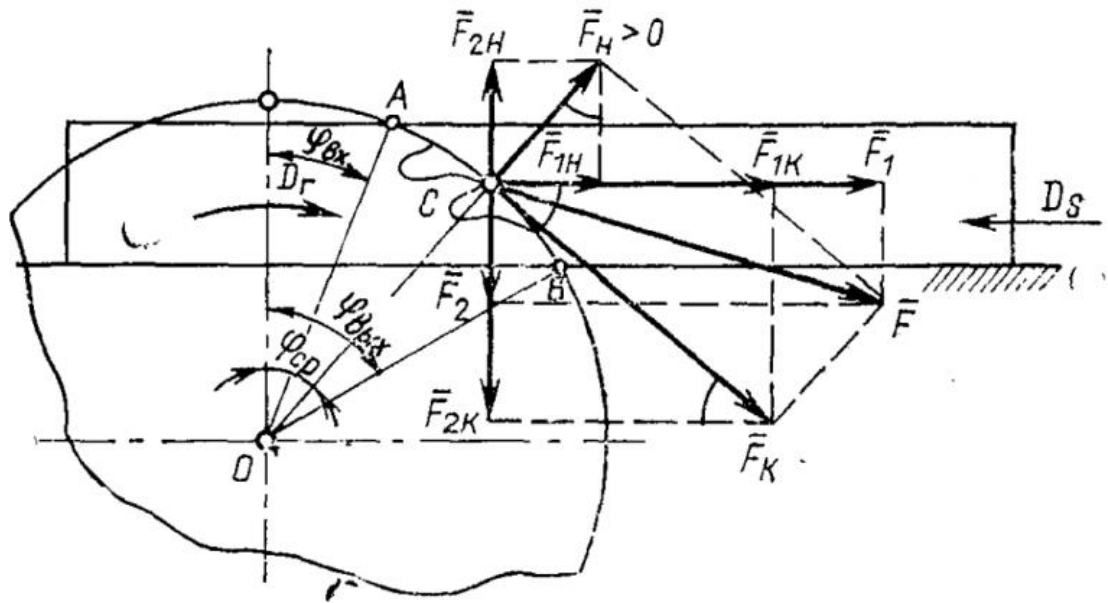


Рисунок 1.4. Сили за подачею і нормально до подачі

Ці зусилля отримуються за певних фіксованих експериментальних умов і відносяться до одиниці ширини різку. Їх значення зазвичай представлені у вигляді графіка або таблиці, тому ці сили називаються «таблицями».

Зусилля столу мають певні характеристики: вони кондиціоновані постійними під час різання стружки і враховуються на 1 мм ширини ріжучого шару; вони застосовуються до чітко визначених умов різання «столом».

Порядок розрахунку сил і потужності пиляння наступний:

1. Визначають дотичну складову середньої сили на одному зубі за формулою

$$F_z = F_T B a_{\text{попр}}, \quad (6)$$

де  $F_z$  – дотична складова середньої сили на зубі, Н;  $F_T$  – «таблична» сила, Н / мм;  $B$  – ширина зрізаного шару, мм;  $a_{\text{попр}}$  – загальний поправочний множник на умови пиляння.

Для сили  $F_T$  при поздовжньому розпилюванні циркулярної пилки умови таблиці такі: розпилювання сухої сосни, кут перетину  $\phi_B = 60^\circ$ , ширина ріжучого шару  $B = 1$  мм, висота різання  $H = 60$  мм, швидкість обертання пилка  $v = 40$  м/с, передній кут  $\gamma = 30^\circ$ , гострі зуби.

Загальний поправочний множник на умови пиляння, що відрізняються від табличних,

										Лист
										17
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						

$$a_{\text{ц.опр}} = a_{\pi} a_{\omega} a_{\varphi} a_{n} a_{\nu} a_{\gamma} a_{\rho}, \quad (7)$$

де  $a_n$  – поправка на породу деревини;  $a_{\omega}$  – поправка на вологість деревини, вибирають в таблиці по заданому значенню вологості  $\omega$ ;  $a_{\varphi}$  – поправка на кут зустрічі зуба пилки з волокнами деревини, знаходять по таблиці для відповідного кута зустрічі зуба пилки з волокнами деревини;  $a_n$  – поправка на висоту пропила, вибирається по таблиці для заданого значення висоти пропила  $n$ ;  $a_{\nu}$  – поправка на швидкість різання, знаходять в таблиці для швидкості  $\nu$ , обчисленої за формулою (1);  $a_{\gamma}$  – поправка на передній кут, визначається по заданому значенню переднього кута  $\gamma$  і кута зустрічі  $\varphi_B$  по таблиці;  $a_{\rho}$  – поправка на затуплення, вибирають по таблиці, виходячи з певного часу роботи інструменту після заточки  $T$ .

2. Визначають дотичну складову  $F_k$  загальної сили різання, що діє на пилку:

$$F_k = F_z z_{\text{реж}}, \quad (8)$$

де  $z_{\text{реж}}$  – число одночасно ріжучих зубів. Величину  $z_{\text{реж}}$  обчислюють за формулою  $z_{\text{реж}} = z (\varphi_{\text{в.вх}} - \varphi_{\text{в.к}}) / 360^\circ$ , де кути  $\varphi_{\text{в.к}}$  і  $\varphi_{\text{в.вх}}$  визначають за відповідними формулами в залежності від типу круглопильного верстата.

3. Визначають нормальну складову  $F_n$  загальної сили різання

$$F_n = (m_{\gamma} + m_{\rho}) F_k,$$

де  $m_{\gamma}$  – доданок, що враховує величину переднього кута;  $m_{\rho}$  – доданок, що враховує гостроту інструменту і еквівалентну товщину шару, що зрізається  $a_s = S_z \sin \varphi_{cp} B_{np} / B$ , де  $B_{np}$  – ширина пропила;  $B$  – ширина зрізаного шару.

4. Визначають силу різання  $F$  по (5).

5. Визначають сили, що діють у напрямку подачі  $F_n$  нормально до неї  $F_2$ . При зустрічному пилянні силу  $F_1$  визначають через алгебраїчну суму проєкцій  $F_k$  і  $F_n$  на напрям подачі  $F_1 = F_{1k} + F_{1n} = F_k \cos \varphi_{cp} + F_n \sin \varphi_{cp}$ .

Силу  $F_2$  визначають аналогічно, підсумовуючи проєкції  $F_{2k}$  і  $F_{2n}$  сил  $F_k$  і  $F_n$  на нормаль до напрямку подачі  $F_2 = -F_{2k} + F_{2n} = -F_k \sin \varphi_{cp} + F_n \cos \varphi_{cp}$ .

Ці формули отримані при  $F_n > 0$ , але вони дійсні і для  $F_n < 0$ , якщо підставити в них  $F_n$  зі знаком мінус. Сила  $F_n$  спрямована від центру пили, тому позитивному значенню сили буде відповідати сила, яка прагне зрушити заготовлю від центру пили.

При пилянні з попутною подачею, що є характерним для бензорізів сили  $F_1$  і  $F_2$ , слід визначати за формулами  $F_1 = -F_k \cos\varphi_{cp} + F_n \sin\varphi_{cp}$ ,  $F_2 = F_k \sin\varphi_{cp} + F_n \cos\varphi_{cp}$ .

6. Визначають потужність пиляння  $P$ , Вт, за формулою  $P = F_k v$ , тут силу  $F_k$  (Н) визначено за (8), а швидкість  $v$  (м/с) за (1).

За потужністю пиляння  $P$  визначають потужність електродвигуна головного приводу верстата  $P_2$  за формулою  $P_2 = P / \eta$ , де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії механізму головного приводу.

При визначенні дотичній складовій середньої сили на зубі при поперечному пилянні круглими пилами  $F_z$  в (6) замінюють  $B$  на  $B_{np}$ , так як зуби пил для поперечного пиляння не розплющують, а тільки розводять. Загальна поправка на умови пиляння

$$\alpha_{nop} = \alpha_n \alpha_\omega \alpha_p \quad (9)$$

Вологість деревини і тупість зубів пилки, а також коефіцієнт переходу підбирають за таблицею. Вибір множника  $m$  залежить від переднього кута  $\gamma$  і часу роботи інструмента  $T$ . [4]

### **1.2.3. Вибір режимів роботи круглопилних верстатів.**

В інженерії шаблон — це набір параметрів процесу за певний інтервал часу. Режим різання — це сукупність умов процесу, що характеризуються параметрами геометрії інструменту (форма зубів, тип профілю, кількість зубів, гострота) та ресурсу інструменту (матеріал, гранична зносостійкість зубів), взаємної орієнтації інструментів і заготовки (поздовжнє) або поперечне розпилювання, злиття або нижнє розташування лез пилки) та кінематичні параметри процесу (швидкість основного руху різання та подачі).

Процес поділу матеріалу на циркулярній пилці спрямований на отримання продукту праці (деталі, заготовки) з потрібними властивостями та якість (форма і точність розмірів, задана шорсткість поверхні). Тому схему розпилювання слід встановлювати через теорію та досвід відповідно до фізико-технічних можливостей процесу. У виробництві завжди важливо, якою ціною досягти бажаного рівня продуктивності виробу, вартість технічної експлуатації, тобто режим розпилювання повинен бути економічно оптимальним.

Оптимальним (найкращим) вважається режим, при якому досягається оптимальне поєднання параметрів різання. Розробку таких режимів називають оптимізацією.

											Лист
											19
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							



Метою режиму обробки циркулярного верстата в конкретних умовах виробництва є визначення технічно можливої площі режиму різання шляхом розрахунку і вибір у цій ділянці параметрів режиму, що відповідають найвищій продуктивності верстата. Цей режим часто називають технічним режимом. Незважаючи на відсутність економічного обґрунтування, точне дотримання технічних режимів має відчутні техніко-економічні наслідки, забезпечуючи виробництво продукції необхідної якості.

Таким чином, вибір режимів включає: правильний підбір пиляльного інструменту для відповідних конкретних умов роботи циркулярної пилки; розумний розподіл різання (головного руху) і швидкості подачі.

#### ***1.2.4. Вибір різального інструменту.***

Метаболізм і технічні умови чинного стандартизованого інструменту ДСТУ базуються на поєднанні геометричних параметрів, які найбільш повно відповідають вимогам процесу різання. На практиці завдання підбору параметрів і обслуговування інструменту під час різання зводиться до суворого дотримання стандартів, інструкцій та інструкцій з експлуатації інструменту, що вимагає від компаній постійного покращення економічності інструменту.

#### ***1.2.5. Вибір швидкості головного руху різання.***

Швидкість основного різального руху (швидкість валу пилки) на циркулярній пилці зазвичай не регулюється, хоча цей фактор може впливати на продуктивність процесу, довговічність інструменту та витрати на обробку. Для циркулярних пилок рекомендований діапазон швидкостей для плоскої циркулярної пилки становить 40-60 м/с в поздовжньому і 40-70 м/с в поперечному напрямку; 50-80 м/с при різанні ДСП пилкою з твердосплавною пластиною. Однак не слід дотримуватися верхньої межі, оскільки збільшення швидкості призведе до збільшення швидкості обертання інструменту та збільшення шуму. Тому зміну швидкості основного руху під час модернізації циркулярної пилки можна починати лише тоді, коли це розумно.

#### ***1.2.6. Вибір швидкості подачі.***

Це найважливіше налаштування режиму різання. Вибір його значення відбувається наступним чином. При виборі швидкості подачі циркулярної пилки одночасно слід враховувати максимально допустиме навантаження на верстат, задану шорсткість поверхні різання та продуктивність інструменту.

					<b><i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i></b>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

Після визначення швидкості подачі, відповідно до кожної умови, виберіть найменшу для реалізації.

I. Порядок розрахунку швидкості подачі  $v_s'$  по потужності головного приводу.

1. Визначають табличну силу  $F_T$  за формулою

$$F_T = P_z \eta / (v z_{реж} B \alpha_{нор}), \quad (10)$$

тут для поздовжнього пиляння  $\alpha_{нор}$  визначають за (7), а для поперечного за (9). Крім цього, для поперечного пиляння в (10) замінюють  $B$  на  $B_{np}$ .

2. За  $F_T$  в таблиці знаходять  $\alpha_э$ .

3. Визначають середню товщину шару, що зрізається для поздовжнього пиляння по формулі  $\alpha_{cp} = \alpha_э B / B_{np}$ . Для поперечного пиляння  $\alpha_{cp}$  визначають в таблиці по  $F_T$ .

4. Визначають подачу на зуб  $S_z$  за формулою  $S_z = \alpha_{cp} / \sin \varphi_{cp}$ , де  $\varphi_{cp} = (\varphi_{ex} + \varphi_{вих}) / 2$ .

5. Визначають швидкість подачі  $V /$  за формулою

$$v_s' = n z S_z / 1000 \quad (11)$$

II. Розрахунок швидкості подачі за заданою шорсткістю  $R_{m \max}$  виконують за кінематичними нерівностями і нерівностям руйнування.

1. Розрахунок за кінематичними нерівностями проводять за формулою

$$S_o = y_{\max} / (\operatorname{tg} \varphi' \sin \varphi_{вих}),$$

де  $y_{\max} = R_{m \max}$ ; маючи  $S_o$ , визначають  $v_s$  за формулою  $v_s = n S_o / 1000$ .

2. З урахуванням нерівностей руйнування  $S_z$  визначають по таблиці і далі швидкість подачі визначають по (11).

III. Розрахунок швидкості подачі по працездатності інструменту.

1. Визначають подачу на зуб за формулою

$$S_z = \theta t_3^2 / (\sigma_{\min} H_{\max}), \quad (12)$$

де  $\theta = 0,35 \dots 0,4$  – коефіцієнт форми западини (величина, яка визначається конструкцією пилки);  $t_3$  – крок зубів пилки;  $H_{\max}$  – максимальна товщина матеріалу, що розпилюється;  $\sigma_{\min}$  – коефіцієнт напруженості западини, для стійкої роботи круглих пилок цей коефіцієнт приймають рівним: для поздовжнього пиляння  $\sigma_{\min} = 2 \dots 3$  і для поперечного пиляння  $\sigma_{\min} = 20 \dots 30$ .

										Лист
										21
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						

СУ-81.6.151.10.ПЗ

2. Визначають швидкість подачі за формулою (11) з урахуванням  $S_z$ , обчислену за формулою (12). Швидкість подачі рекомендується вибирати мінімальну з усіх раніше обчислених значень  $v_s$ .

### 1.3. Задачі автоматизації

В умовах розвитку сучасного промислового виробництва його механізація та автоматизація є основою подальшого технічного прогресу. Вони покликані вирішити проблему – замінити людину роботою машин та обладнання.

Механізація — це заміна ручної праці машинами. Машини, які замінюють людину, називаються робочими машинами. Робота цієї машини замінює силу м'язів людини. Але поки машина працює, виходити з неї не можна, тому що потрібно постійно робити багато допоміжних рухів. Продуктивність робочих машин часто обмежена фізичними можливостями людини.

Неавтоматичні робочі машини мають тільки робочий механізм ходу. Весь холостий хід (завантаження заготовок, затискання) виконується людиною. При цьому всі виробничі процеси засновані на спільній роботі людини і машини. Послідовність (процедура) процесу, яку вибирає і виконує сама особа.

Автоматизація — вища стадія розвитку машинного виробництва, при якій людина звільняється не тільки від ручної праці, а й від оперативного контролю за механізмами, що здійснюють виробничий процес. Людина може звільнитися від постійного обслуговування автомата, а може позбутися від нього, оскільки він самостійно регулює свою роботу. Продуктивність такої машини може бути дуже високою, оскільки вона не обмежена фізичними можливостями людини.

Автомат— це самокерована робоча машина (машина), яка виконує всі роботи та етапи обробки на холостому ходу. Під час робочого ходу, безпосередня обробка заготовки (пиляння, свердління, фрезерування), під час холостого ходу - допоміжні рухи для підготовки робочого ходу (завантаження і затискання заготовки, наближення та вилучення інструменту)

Завдяки автоматизації всі функції управління виробничим процесом, іншими словами, відкриття і закриття окремого обладнання, зміна послідовності операцій робочого механізму, виконує спеціальне обладнання. Такі пристрої підтримують температуру, вологість та інші технічні параметри в заданих межах без участі людини.

Широка механізація і автоматизація виробничих процесів в сучасному суспільстві служать інтересам трудящих, полегшують і докорінно змінюють характер праці, різко підвищують його продуктивність, усувають істотні відмінності між розумовою і фізичною

працею. Автоматизація виробничих процесів - основний напрямок у розвитку промисловості, одне з головних умов побудови матеріально-технічної бази суспільства в нашій країні.

У сучасних умовах завдання автоматизації досить обширні. Автоматизація охоплює всі частини виробничого процесу, включаючи вантажно-розвантажувальні операції, транспортування від машини до машини та контроль готових деталей. Використовується труба з автоматичною адресацією.

При автоматизації виробництва необхідно розробляти принципово нові конструкції виробів, щоб докорінно вдосконалити їх технологічний підхід. У міру збільшення автоматизації конструкція виробленої продукції повинна відповідати вимогам високо механізованого виробництва.

Ефективність автоматизації залежить від деталей організації виробничого процесу або його поточного (безперервного) ступеня.

Потокове виробництво є обов'язковим для його автоматизації. Основою поточного виробництва є виробнича лінія - набір устаткування або робочих місць, призначених для виконання однотипних операцій, що знаходяться в технічному процесі. Відмінною рисою будь-якої виробничої лінії є прямий потік.

За ступенем автоматизації конвеєр складання деревообробного обладнання поділяється на неавтоматичний, автоматичний і напівавтоматичний.

Неавтоматична виробнича лінія складається з машин, встановлених у послідовності технологічного процесу. Кожна машина обслуговується оператором машини окремо. Вони подають заготовки в верстати і отримують від верстатів оброблені деталі. Використовуйте просте (неавтоматичне) транспортне обладнання або вручну передавайте заготовки з однієї машини на іншу. Такі виробничі лінії іноді називають механізованими або електричними.

Автоматична лінія - це система верстатів, встановлених у послідовності технологічного процесу, поєднаних із засобами транспортування та контролю, завдяки чому обробка заготовки та її переміщення між верстатами відбуваються автоматично, тобто без залучення робітників. Заготовка завантажується з вихідної пам'яті в перший верстат за допомогою завантажувального пристрою. Готові деталі останньої машини переміщуються в зону кінцевого зберігання за допомогою розвантажувального вузла.

З розвитком автоматизації напівавтоматичні лінії займають проміжне положення між автоматичними і неавтоматичними лініями. У такій виробничій лінії одні операції автоматизовані, а інші виконуються людьми. На одних лініях робітники виконують кінцеві або вантажно-розвантажувальні операції, на інших ці операції автоматизовані, а робітники виконують проміжні операції. Оскільки деякі операції в конвеєрі виконуються людьми, це називається автоматизацією.

Автоматизоване виробництво має багато важливих переваг перед ручним виробництвом.

Значно підвищується продуктивність технічного обладнання в автоматизації виробництва. Цього можна досягти за допомогою безперервних потоків, збільшення швидкості обробки та швидшого переходу від однієї операції до іншої. Пристрій технології автоматизації працює в постійному і найбільш сприятливому режимі, оскільки самостійно забезпечує нормальний хід процесу. Це зменшує знос обладнання та запобігає поломкам та нещасним випадкам.

Автоматизоване обладнання може контролювати та керувати виробничим процесом краще, ніж люди, з більшою точністю, швидкістю та похибкою. Це забезпечує рівномірний робочий ритм для всіх верстатів і верстатів на виробничій лінії. Продуктивність технологічного обладнання значно підвищується.

Продуктивність праці автоматики значно зросла за рахунок підвищення продуктивності технічного обладнання та скорочення чисельності обслуговуючого персоналу.

Суворе дотримання режиму роботи обладнання та об'єктивність контролю автоматизації сприяє значному покращенню якості продукції. Якість продукту не тільки стає вищою, а й однорідною або однаковою.

Автоматизація дозволяє значно прискорити або інтенсифікувати цілі процеси та застосувати нові технологічні підходи до виробництва продукції. За рахунок інтенсифікації процесу та більш оптимального розміщення обладнання продовжує збільшуватися вихід на одиницю площі виробничої площі.

Зрештою, автоматизація значно знижує витрати виробництва.

Автоматизація підвищує безпеку роботи та значно покращує умови праці. Це звільняє людей від одноманітності та важкої праці. Працівники автоматизованої зони спостерігають за ходом процесу зі значної відстані. Це зменшує можливість травмування рухомих частин машини та виключає шкідливий вплив високих температур, випарів фарби, тріски та інших шкідливих речовин. Автоматичні механізми можуть успішно працювати в ситуаціях, коли людський організм не витримує. Покращена гігієна та санітарні умови зменшують втому працівника та оператора.

У більшості випадків метою автоматизації є підвищення рентабельності виробництва або виробництво більшої кількості продукції при зниженні витрат на виготовлення кожного продукту.

Максимальний техніко-економічний ефект може бути досягнутий в тому випадку, якщо автоматизація охоплює весь комплекс виробництва виробу, наприклад віконного блоку, коли

все стадії його виробництва, починаючи з сушки і розкрою пиломатеріалів і закінчуючи фарбуванням, автоматизовані. З'єднання автоматичних ліній і багатошпindelних автоматів в єдину систему створює автоматичні ділянки, цехи або підприємства.

Ефективне впровадження комплексної автоматизації має створити певні умови. Серед найважливіших: спеціалізація виробництва, раціональність технології, технологічність конструкції готового виробу.

Визначимо функціональне проектне завдання для описаної системи – деревообробного верстата.

До функціональних завдань автоматизації системи управління технологічним процесом деревообробки входять:

1. Контроль швидкості товщини валу машини та циркулярної пилки;
2. При необхідності контроль температури та охолодження головного двигуна верстата;
3. Забезпечте функцію аварійної зупинки машини при попаданні м'якого предмета;
4. Забезпечте автоматичний механізм подачі для рами циркулярної пилки.

#### ***1.4. Аналітичний огляд систем управління круглопилних прирізних деревообробних верстатів***

В рамках розділу 1.1 наведено конструктивні характеристики верстату ЦКБ-40. Проведемо огляд ще декількох його «колег».

##### ***1.4.1. Установка колодопильна круглопильна УБК-2***

Агрегат УБК-2 використовується для поздовжнього різання колод діаметром від 14 до 36 см для отримання двосторонньої балки для подальшого розпилювання на багатопилній дисковій пилці. Має дві пилки діаметром Ø900 мм. Швидкість подачі машини до 40 м/хв. Технічні характеристики машини наведені в таблиці. 1.2. На схемі. 1.5 Відображення машини УБК-2.



Рисунок 1.5 – Установка УБК-2

					<b><i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i></b>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика верстату УБК-2

Параметр	Величина
Діаметр оброблюваних колод, мм	140..360
Довжина колод, мм	до 6200
Кількість пил, шт	2
Діаметр пил, мм	900
Товщина брусів, мм	100..250
Максимальна швидкість подачі, м/хв.	40
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	2
Розрахункова пропускна спроможність установки за умови отримання двокантного бруса та 2-х горбилів, тис. м <sup>3</sup> /рік	50
Встановлена потужність, кВт	85
Потужність електродвигунів привода пильних валів, кВт	37 x 2
Габарити, мм:	
довжина	16000
ширина	3500
висота	1600
Маса установки, кг	6000

#### 1.4.2. Установка стаціонарна круглопильна однопильна УСК-1

Стаціонарний циркулярний агрегат УСК-1 використовується для поздовжнього розпилювання колод діаметром від 10 до 40 см на дошки та бруси. на графіку. На рис. 1.6 показаний верстат УСК-1. Технічні характеристики машини наведені в таблиці. 1.3.



Рисунок 1.6 – Верстат УСК-1

									Лист
									26
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	СУ-81.6.151.10.113				

На верстаті встановлено 2 пилки: верхня - Ø500 мм при 1902 об/хв; нижня - Ø630 мм або Ø500 мм при 1500 об/хв. Завдяки обробці колод на цьому верстаті ми отримуємо дошки мінімальною товщиною 16 мм і бруси максимальною товщиною 300 мм.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики установки УСК-1

Параметр	Величина
Оброблювані колоди:	
найбільша/найменша довжина, м	6/2
найбільший діаметр в комлі, см	40
найменший діаметр в вершині, см	10
Отримана продукція:	
дошки: найменша товщина, мм	16
бруси: найбільша товщина, мм	300
Розрахункова пропускна здатність при розпилюванні шістьма резами колод діаметром в вершині 25 см, довжиною 6 м при швидкості подачі 13 м/хв. З отриманням чотирьох необрізних дощок, м <sup>3</sup> /зміну	13
Діаметр нижньої пили, мм	630, 500
Діаметр верхньої пили, мм	500
Кількість пил, шт.	2
Частота обертання нижнього пильного вала, об / хв	1500
Частота обертання верхнього пильного вала, об / хв	1902
Встановлена потужність, кВт	37,87
Потужність головного приводу, кВт	30
Габарити, м	18,04x2,32x1,55
Маса установки, кг	3800

### 1.4.3. Круглопильний верстат LAIMET-120

Laimet-120 була першою машиною, виробленою Laitilan Metallit Laine Oy, і стала найбільш продаваною машиною Laimet з моменту її створення. Ця машина є лідером з продажу імпортованих аналогів цього типу в Україні, значно випереджаючи всіх конкурентів разом узятих.



Це пояснюється високою надійністю і відносно невисокою вартістю в порівнянні з іншими імпортними дисковими пилами. Висока надійність машини в першу чергу забезпечується вдалою конструкцією та використанням високоякісних матеріалів у конструкції машини, а також використанням визнаних постачальників гідравлічних систем, які є світовими лідерами в галузі.

Laimet-120 оснащений зубчастими подавальними роликками з гідравлічним приводом. Обертання барабана синхронізовано зі швидкістю подачі стільниці. Завдяки цьому рух подачі колоди рівномірний, незважаючи на підрізані сучки та нерівну дерев'яну поверхню. Положення подаючих роликків можна регулювати відповідно до діаметра використовуваної пилки. У базовій комплектації машина Laimet-120 оснащена з обох боків столу відкидними рамами для скидання легких простиратл, а також спеціальним дефлектором для розвантаження. Над дефлектором є опорне колесо для утримання більшої частини секції на станині під час подальшого розпилювання.

Машина має продуктивність до 40 кубометрів деревини за зміну. Вихід деревини до 70%. Верстат Laimet-120 може використовуватися як самостійний комплекс або з іншими машинами. Laimet-120 поєднується з тримерами, гребнями та роздільниками, а також конвеєрними системами, щоб стати більш ефективною машиною, що дозволяє підвищити продуктивність у модульному режимі.

Машина Laimet-120 оснащена подвійною рамою (загальна ширина станини 320 мм), що забезпечує високу міцність станини та дозволяє використовувати будь-які додаткові опції на верстаті. Технічні характеристики верстата Laimet-120 наведені в таблиці. 1.4. На рис. 1.7 показано, як виглядає пристрій.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики верстата Laimet-120

Параметр	Величина
Прохідний стіл, м	9x0,7
Довжина, м	18
Висота різку пильного диску, мм	
Ø 950 мм	370
Ø 1200 мм	495
Діаметр пильного диска, мм	800-1300
Мінімальний діаметр колоди, мм	100
Максимальний діаметр колоди, мм	650
Мінімальна довжина колоди, м	1,5
Максимальна довжина колоди, м	9
Маса верстата без двигуна, кг	2500-4500



Рисунок 1.7 – Верстат Laimet-120

#### 1.4.4. Верстат Kara master

Машина є універсальною та високоавтоматизованою, тому її легко інтегрувати в усі види лісопильних процесів і є чудовим основним обладнанням для лісопильних заводів. Забезпечуючи високу якість деревини та високу продуктивність, Kara Master відіграє вирішальну роль на конкурентному ринку деревини. Технічні характеристики машини наведені в таблиці 1.5.

Машини Kara Master можуть виготовляти два типи: Стационарного типу (встановлюється на бетонну основу), як показано на на рис. 1.8; Мобільний (окремий привід від трактора або окремого дизельного двигуна).

На колодопилі KARA висоту різання можна змінювати від 300 до 600 мм, тому верстати марки можуть розпилювати колоди діаметром до 60 см. Машина оснащена додатковими елементами і може використовуватися окремо для отримання чистої деревини.

У цьому випадку продуктивність 8-годинної зміни становила б 15-18 кубометрів обрізної деревини. У складі лісопильного виробництва при використанні верстатів Kara Master як основного обладнання для колод продуктивність кожної машини становить 25-30 м<sup>3</sup> обрізної деревини за 8 годин. Ця різниця в продуктивності визначається використанням різних опцій машини.



Рисунок 1.8 – Верстат Kara Master

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		29

На цій машині можна використовувати конструкції, призначені для:

- перед розпилюванням покладіть колоди на стіл;
- Колода подають безпосередньо на машину для деревини,
- Закріплення колод.

Все це дозволяє лише одному оператору керувати процесом розпилювання, навіть коли розпилюються дуже великі колоди..

Таблиця 1.5 – Технічні дані верстата Kara Master

Параметр	Величина
Прохідний стіл:	
довжина, м	9
ширина, м	0,7
Довжина, м	18,3
Транспортні габарити, м	6,8x2,2x2
Вага, кг	4700
Профіль каркаса, мм	200x70x6
Висота різку пильного диска, мм (диск 1000 мм)	395
Діаметр пильного диска, мм	800–1200
Робочий діапазон, мм	10 – 310
Швидкість установки, мм/сек.	120
Швидкість подачі, м/хв (безступінчата)	0 – 140
насос пристрою подачі, л/хв	45
насос додаткових пристроїв. л/хв	34
Ємність бака, л.	105
Мінімальний діаметр колоди, мм	100
Максимальний діаметр колоди, мм	650
Мінімальна довжина колоди, м	1,5
Максимальна довжина колоди, м	9
Подавальний вал з окремим гідромотором	2-ний
Робоча температура, °С	-20 – 30
Швидкість електродвигунів:	
головний електродвигун (45 кВт), об/хв	1500
гідравліка (11 кВт), об/хв	1500
ексгаустер для тирси (4 кВт), об/хв.	3000
заточний станок (0,55кВт), об/хв.	3000
верхній пильний диск (11кВт), об/хв	1500

### 1.5. Висновки. Постановка задач проектування

У рамках цього розділу описано конструкцію та технічні характеристики циркулярної пилки ЦКБ-40. Описує основні вузли та компоненти заводського виробу.

						<i>СУ-81.6.151.10.113</i>	Лист
							30
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			





Температуру двигуна вимірює датчик, при досягненні певної температури (наприклад, 45°C) включається система примусового охолодження, а при зниженні температури до 25°C система охолодження вимикається.

Для забезпечення автоматичної подачі деревини в вал циркулярної пилки впроваджено систему автоматичної подачі. Швидкість подачі встановлюється оператором в інтерфейсі системи SCADA в залежності від типу деревини, що обробляється, і товщини заготовки. Там же можна налаштувати швидкість обертання пилки.

ПЛК керує кроковим двигуном через драйвер крокового двигуна і змушує механізм візка рухатися вздовж напрямного валу через стійку. Положення каретки визначається оптичним датчиком положення. Коли буде досягнуто крайнє положення, припинить живлення крокового двигуна.

Для забезпечення роботи оператора ми розробили підсистему автоматичної зупинки валу пилки верстата. Він складається з готової системи безпечної аварійної зупинки для полотна циркулярної пилки SawStop-AIM від німецького виробника Festool Tools. Технологія полягає в тому, що ємнісні датчики зчитують струми витоків на нерухомих дисках. При розвитку паразитних струмів на металевій основі диска спрацьовує коробка аварійної зупинки КТ-ТКС 80: спеціальний бойок під дією попередньо сильно стиснутої пружини вбиває алюмінієвий блок в обертове полотно пилки.

## ***2.2. Енергетичні та інформаційні зв'язки. Контури регулювання технологічних параметрів***

Розглянемо функціональну схему з рис. 2.1.

ПЛК підключається до двигуна М1 за допомогою магнітного пускача 2g. Стартер приводиться в дію шляхом подачі імпульсу, який посиляє електричний сигнал на вхід двигуна постійного струму. Після запуску двигуна вал крильчатки насоса (2b) починає обертатися для охолодження основного двигуна, механічно з'єднаного з двигуном. Головний двигун М2 підключений до ПЛК через інвертор 1В. Випромінюючи імпульс певного рівня, він змінює частоту струму, що передається від перетворювача 1с на вхід асинхронного двигуна 1а, тим самим змінюючи корисну швидкість двигуна.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		33



Ще один важливий навик деревообробного верстата – автоматична подача заготовки в циркулярну пилку (швейний верстат може подавати сам). ПЛК може керувати рухом двигуна МЗ (4b) шляхом зчитування аналогової вхідної інформації з датчика положення 4а, що подається кареткою, і шляхом передачі сигналу драйверу крокового двигуна 4с. Частота імпульсів регулює швидкість двигуна, який за допомогою механічного з'єднання (пара гвинтів) переміщує каретку, яка використовується для подачі заготовки в циркулярну пилку.

### **2.3. Висновки**

1. Описано схему функцій автоматизації, розроблену для виконання завдання автоматизації. На схемі викладено концепцію системи, що розробляється, і буде використовуватися в наступних розділах для детальної побудови проекту системи автоматизації.
2. Викладено контур управління параметрами процесу, принцип (і канал) взаємодії різних елементів системи, принцип формування вхідних і вихідних параметрів.
3. Розроблена концепція дозволила виконати поставлене завдання енергоефективно, тому ми вважали, що це достатня основа для виконання поставленого завдання.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35



## РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 3.1. Електропривід головного руху та подачі заготовки

#### 3.1.1. Вибір систем електроприводів пиляльних дисків та подачі заготовки

Характеристики приводу виробничих машин - технологія, кінематика, енергія, механіка, навантаження, інерція. Ці характеристики необхідні при експлуатації електроприводів - для створення енергоефективних і надійних режимів роботи, а також при проектуванні оптимальних електроприводів. Технічні особливості описані технічними рішеннями та технічними завданнями.

Ці характеристики визначають вимоги до електроприводу щодо якості продукції (допустимі коливання швидкості, питомі витрати енергії, необхідність контролю режиму роботи та досяжного рівня, необхідність автоматизації та її масштаби) та умов експлуатації електропривода. залежать від природи середовища, типу розташування (сухе, сухе, неопалюване, вологе, легкозаймисте, вибухонебезпечне).

Властивості кінематики дають уявлення про траєкторію і швидкість руху всіх елементів машини, а також про те, як розподіляється потік енергії від двигуна до робочого тіла. Вони відображаються у вигляді графіків руху. За такою схемою можна: оцінити кількість пускових пристроїв, їх ефективність; побачити частоту обертання різних компонентів; вибрати правильну швидкість приводного двигуна та вирішити, чи потрібно її регулювати.

Енергетичні характеристики показують загальне (кВт·год) і питоме (кВт·год на одиницю продукції) споживання електроенергії, що використовується для виконання процесу, а також розподіл енергії між різними блоками машини. Також надається інформація про ефективність різних вузлів і коефіцієнт потужності споживаної потужності.

Механічні властивості визначають залежність між постійною швидкістю машини та моментом опору. Їх можна зобразити графічно або аналітично (рисунок 3.1). Використовувати механічні властивості: аналізувати перехідні дії, режими роботи машин і двигунів; визначати ймовірність запуску та стабільної роботи електроприводу; при складанні графіків навантаження.

Розуміння механічних характеристик особливо необхідно при регулюванні швидкості асинхронного двигуна (ІМ) і використанні перетворювачів частоти. Можливість зміни швидкості ІМ при регулюванні частоти  $f_1$  впливає безпосередньо з виразу  $\omega_0 = 2\pi f_1/g$ . З цього виразу видно, що швидкість синхронізації АМ пропорційна частоті напруги живлення.

						<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
							36
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			

Під час регулювання частоти необхідно також відрегулювати напругу джерела живлення. Фактично ЕРС обмотки статора ІМ пропорційна частоті струму і магнітному потоку  $E_1 = k\Phi f_1$ . З наведеного виразу видно, що магнітний потік ІМ змінюється за умови постійної напруги джерела живлення  $U_1$  та регулювання його частоти. Зокрема, зниження частоти // призводить до збільшення магнітного потоку, що призводить до насичення двигуна і збільшення намагніченості струму, що пов'язано з погіршенням енергетичних характеристик. Двигун, а в деяких випадках і викликає його неприпустимий нагрів. Збільшення частоти  $f_1$  призводить до зменшення потоку двигуна, за виразом  $M = k\Phi I_2 \cos\phi_2$ , при постійному моменті навантаження на вал, до збільшення струму ротора, тобто струму, який перевантажує його обмотки. Крім того, з цим пов'язано зниження максимального крутного моменту і перевантажувальної здатності двигуна. Зазвичай при регулюванні вище основної частота потужності перевищує номінальну частоту не більш ніж в 1,5-2 рази. Це обмеження в основному пов'язано з герметичністю обмоток ротора і максимально можливою швидкістю обертання встановлених підшипників. Регулювання швидкості вниз від основної швидкості зазвичай знаходиться в діапазоні 10%/15. Нижня межа частоти обмежена складністю реалізації блоку живлення з низькою частотою струму, можливістю нерівномірного обертання, поганим охолодженням самовентильованого двигуна та багатьма іншими факторами. Тому частотне регулювання швидкості АМ можна зробити в діапазоні 20 % 30. У цьому випадку, крім зміни частоти струму, змінюється і рівень вхідної напруги. Оскільки механічні властивості залежать від показників ступеня в аналітичних виразах (рис. 4.1), умовно розділених на 4 групи ( $x = 0, x = 1, x = 2, x = -1$ ), то 4 закони є Використовується також для регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів. В основі кожного закону лежить постійність перевантажувальної здатності двигуна.

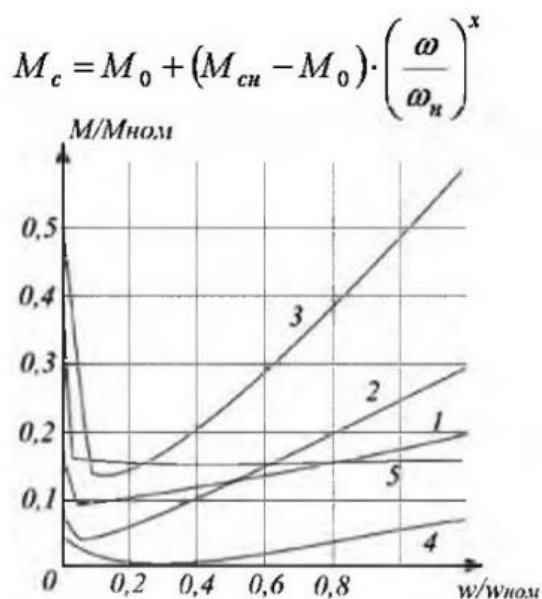


Рисунок 3.1 – Механічні характеристики робочих машин: 1-5 характеристики при зміні показника ступеня від 0 до 3 і різному початковому моменті опору.

Для отримання закону регулювання при постійному моменті опору ( $x = 0$ ) виберемо дві точки перетину механічних характеристик моменту опору і електродвигуна ( $\omega_1$  і  $\omega_2$ ) (рис 3.2).

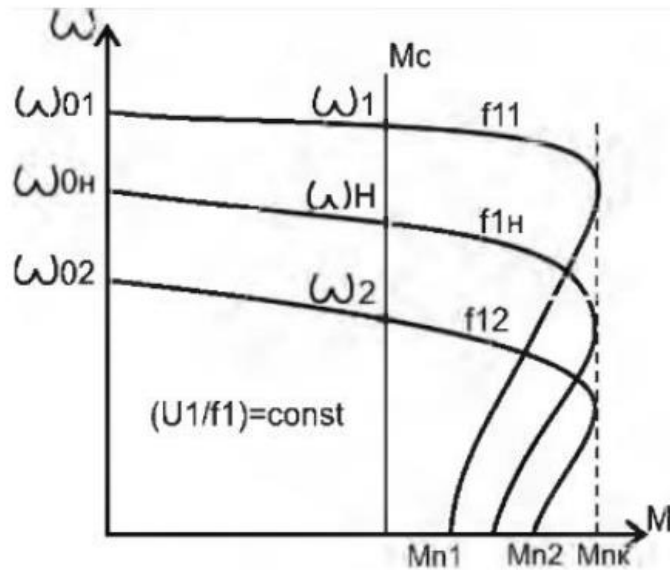


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики електродвигуна і робочої машини при  $M_c = const$

Для цих точок перевантажувальна здатність виглядає наступним чином:

$$\frac{M_{кр1}}{M_{ндв}} = \frac{M_{кр2}}{M_{ндв}} = Const \quad (13)$$

У раціональному електроприводі  $M_{ндв} = M_c$  прив і тоді можна записати:

$$\frac{M_{кр1}}{M_{сприв1}} = \frac{M_{кр2}}{M_{сприв2}} = Const \quad (14)$$

У зв'язку з тим, що момент критичний електродвигуна прямо пропорційний квадрату напруги і обернено пропорційний квадрату частоти, то:

$$\frac{U_1^2}{M_{сприв1} \cdot f_1^2} = \frac{U_2^2}{M_{сприв2} \cdot f_2^2} = Const \quad (15)$$

З формули рівняння механічної характеристики (рис. 3.1) випливає, що моментопору пропорційний кутовій швидкості в ступеня  $x$  і частоті обертання також в ступені  $x$ :

$$M_{\text{сприв}} \equiv \omega^x \equiv f^x . \quad (16)$$

Тоді формулу (14) можна представити в наступному вигляді:

$$\frac{U_1^2}{f_1^x \cdot f_1^2} = \frac{U_2^2}{f_2^x \cdot f_2^2} = \text{Const} . \quad (17)$$

Закон регулювання при постійному моменті опору ( $x = 0$ ) буде виглядати наступним чином:

$$\frac{U}{f} = \text{Const} . \quad (18)$$

Відповідно для робочих машин з моментом опору, що змінюється за лінійним законом ( $x = 1$ ):

$$\frac{U}{f \cdot \sqrt{f}} = \text{Const} . \quad (19)$$

Для робочих машин з моментом опору, що змінюється за квадратичним законом (вентиляторна характеристика -  $x = 2$ ):

$$\frac{U}{f^2} = \text{Const} . \quad (20)$$

Для робочих машин з моментом опору, що змінюється за гіперболічним законом ( $x = -1$ ):

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = \text{Const} . \quad (21)$$

Отримані вирази можна проілюструвати графічно (рис. 3.3).

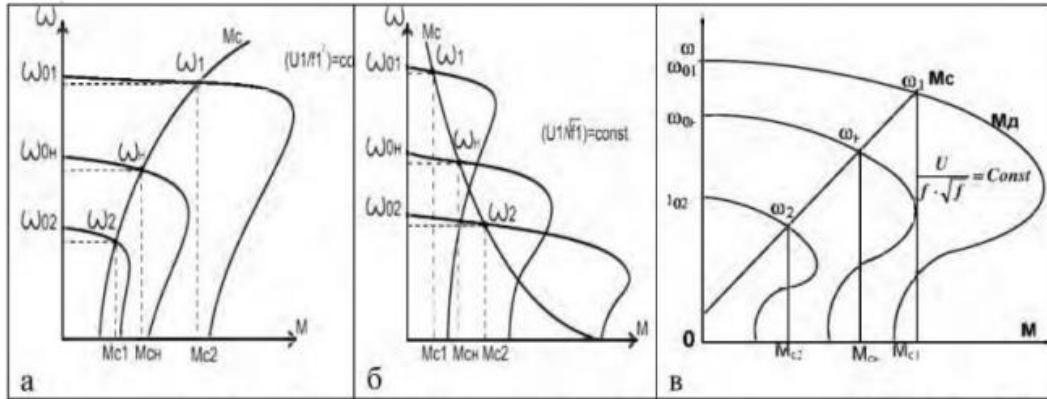


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики електродвигуна і робочої машини: при а – вентиляторному навантаженні; б – гіперболічному моменті опору і  $P_c = const$ ; в – лінійно зростаючому навантаженні.

На діаграмі навантаження верстата показано залежність від часу моменту  $M$ , потужності опору  $P_c$  і кутової швидкості робочої машини. Діаграма навантаження відображає характер і режим роботи електропривода. Завантаження робочих машин може бути постійним і змінним.

Вентилятори та відцентрові насоси працюють при постійному перевантаженні при постійній продуктивності та тиску, зернові елеватори, сепаратори – коли потік постійний, а не кутова швидкість. При змінних навантаженнях застосовуються машини з нерівномірною подачею обробного матеріалу (дробарки, шліфувальні машини, ручні машини для обрізки гілок і кущів) і машини зі змінною частотою обертання робочого тіла (поршневі насоси, поршневі преси, пилорама). Щодо вибору електроприводу маховика професор Г. І. Назаров запропонував розділити діаграми навантажень робочих машин зі змінними навантаженнями на дві великі категорії за характером збільшення крутного моменту: перехідні ударні навантаження та імпульсні навантаження. Опірний момент плавно збільшується.

Максимальний крутний момент по відношенню до середнього значення розрізняє слабо змінні (1,4), помірно змінні (1,4 ... 2) і різко змінні ( $> 2$ ) навантаження. При більш слабких навантаженнях проблеми з приводом маховика виникають тільки в міру зростання вимог до ступеня нерівномірності роботи. Для помірно змінних навантажень рішення про використання маховика приймається щоразу, залежно від ситуації. У разі різких змін навантаження вибирається електропривод.

Інерційні характеристики визначають величину і характер зміни моменту інерції рухомих частин машини. Для машин, у яких обертається робоче тіло, момент інерції є величиною постійною. Для верстатів зі складними рухами одного органу (поступально-поступальні в лісопилних рамах, компресори,) момент інерції є змінним.

Інерційність електроприводів і робочих машин зазвичай оцінюють коефіцієнтом інерції  $F_j$ . Коефіцієнт інерції може варіюватися в широких межах, від значень, близьких до 1 до 100. Пропорційно  $F_j$  час запуску та зупинки приводу також збільшується.

Характеристики приводу робочої машини взаємопов'язані, характеризуючи ту саму машину з різних точок зору. Спільне для них — вимоги технологічного процесу та робочої машини для нагоди. Тому у всіх випадках потрібно розуміти характеристики робочої машини і враховувати це при виборі найкращого електропривода.

Механічні властивості головних приводів машин з малим крутним моментом холостого ходу -  $M_s \text{ const} / n$ , для приводів подачі -  $M_s \text{ const}$ . При регулюванні швидкості потужність, споживана механізмом головного приводу, залишається практично постійною. Потужність, що споживається приводом подачі, пропорційна швидкості. З точки зору допустимого нагріву електродвигуна в парі різні методи регулювання і різні характеристики навантаження на на рис. 1. 3.4 Графік, що показує різні комбінації в машині.

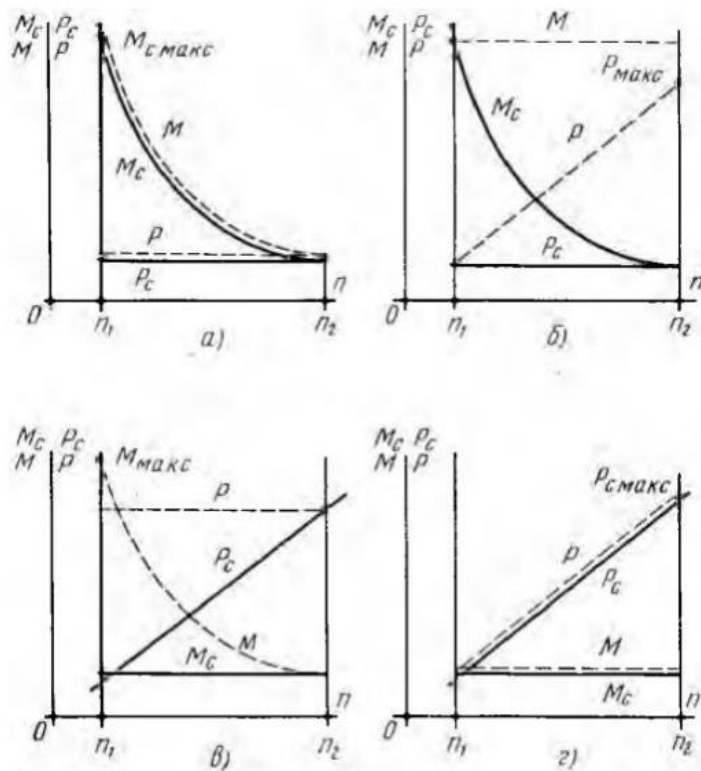


Рисунок 3.4 – Механічні і навантажувальні характеристики за різних способів регулювання

Графіки а і б відповідають умові навантаження  $P_c \text{ const}/n$ , графіки с і д відповідають умові навантаження  $M_s \text{ const}$ . Для обох випадків показано використання методів керування: а і б - з постійною потужністю, с і д - з постійним крутним моментом. На цих графіках суцільні лінії відображають характеристики навантаження  $M_s$  і  $P_s$ , а пунктирні — допустиме навантаження двигуна.

Якщо обраний метод керування (а, d) відповідає, розмір двигуна може бути повністю використаний у всьому діапазоні від  $n_1$  до  $n_2$ .

При використанні методу регулювання, який не відповідає навантаженню (b, c), ефективність використання двигуна низька. Отже, для карти керування з постійним моментом при постійній потужності навантаження номінальна потужність двигуна дорівнює  $P_n = P_{\max} = P_c \cdot n_2/n_1$ . Тому потужність завищена на коефіцієнт  $D$  (діапазон регулювання). Недовантаження двигуна може призвести до його роботи з низьким коефіцієнтом потужності та низькою ефективністю. Номінальний крутний момент повністю використовується тільки при мінімальній швидкості  $M_n = M_{s.\max}$ .

Для схеми регулювання постійної потужності при постійному крутному моменті навантаження номінальний момент двигуна на найменшій швидкості дорівнює  $M_n = M_{s.\max} = M_s \cdot n_2/n_1$ . Таким чином, номінальний крутний момент завищений у коефіцієнт  $D$  порівняно з крутним моментом резистивності, що призводить до збільшення розміру двигуна. Номінальна потужність використовується тільки в точці, що відповідає максимальній швидкості, де  $P_n = P_c$ . Фактичний графік механічних властивостей відрізняється від наведеного вище. Так, як на фото. На рисунку 3.5 показані механічні властивості та ефективність обертових машин у залежності від швидкості обертання.

Привід подачі має постійний момент навантаження майже в усьому діапазоні регулювання швидкості. В основному це пов'язано з моментом тертя в напрямних і шестернях механізму подачі. Більш точні механічні характеристики механізму подачі показані на рис. 1. 3.6 У початковій частині (розділ 0-1) неможливо підтримувати постійний крутний момент, оскільки неможливо збільшити глибину різання при малих подачах. Крутний момент збільшується зі швидкістю подачі.

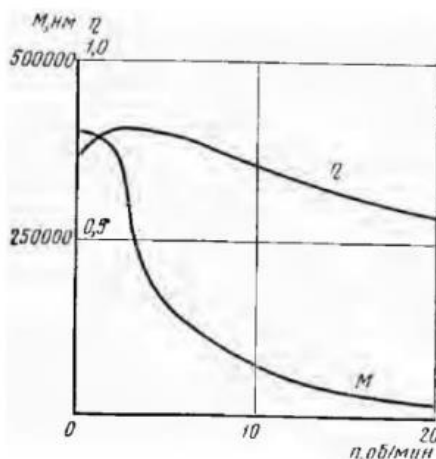


Рисунок 3.5 – Механічна характеристика головного руху деревообробного верстата і залежність ККД від частоти обертання





Зусилля прилипання виникає при рушанні столу з місця на початку руху:

$$F_{np} = \beta \cdot S_{np}, \quad (24)$$

де  $\beta$  – питоме зусилля прилипання, Н/см<sup>2</sup>;  $S_{np}$  – площа поверхні прилипання, см<sup>2</sup>.

При рушанні з місця діють тільки тертя і зусилля прилипання.

Зусилля подачі при рушанні можна визначити за формулою:

$$F_{подтр} = \mu_m \cdot g \cdot m + \beta \cdot S_{np}, \quad (25)$$

де  $\mu_m$  – коефіцієнт тертя в напрямних при рушанні столу з місця, 0,2 ... 0,3.

При робочій подачі в процесі різання зусилля подачі визначається зусиллям різання і тертя:

$$\hat{F}_{подр} = k_z \cdot \hat{F}_x + \mu_d (gm + F_y + F_z), \quad (26)$$

де  $\mu_d$  – коефіцієнт тертя в напрямних при русі, 0,05 .. 0,15.

Момент на валу ходового гвинта, що виникає під дією зусилля подачі визначається наступним чином:

$$M_{xв} = 0,5 F_{подр} \cdot d_{cp} \cdot tg(\alpha + \varphi), \quad (27)$$

де  $d_{cp}$  – середній діаметр ходового гвинта, мм;  $\alpha$  – кут нахилу різьби ходового гвинта, град.;  $\varphi$  – кут тертя різьби, град.

Кут нахилу різьби ходового гвинта залежить від діаметра гвинта і кроку його нарізки:

$$\alpha = arctg \left( \frac{s_n}{\pi \cdot d_{cp}} \right), \quad (28)$$

де  $s_n$  – крок нарізки гвинта, мм.

Момент, що обертає на валу ходового гвинта визначає момент статичного опору [6]:

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$M_c = \frac{M_{xв}}{i \cdot \eta_{пер}} \quad (29)$$

Виходячи з вищесказаного, в якості приводу основного руху вала машини виберемо електропривод асинхронного двигуна на основі короткозамкнутого ротора. Режим роботи цього накопичувача S7 безперервний при циклічному навантаженні.

В якості драйвера подачі вибирається кроковий двигун, яким може керувати відповідний драйвер. Режим роботи S3 - переривчастий..

### 3.1.2. Комплектний електропривод пиляльних дисків та подачі

Виходячи з попереднього розділу, в якості електроприводу для основного руху осей верстата обрано асинхронний двигун ПГР ПА 73 - 132S / 4С.

Двигун-редуктор, також відомий як мотор-редуктор, являє собою комбінацію електродвигуна та коробки передач в загальний блок. У порівнянні з приводами на базі редукторів він компактніший, зменшує витрату матеріалу основної рами та полегшує монтаж обладнання. Крім того, для механізму з навісним варіантом (фланцевий варіант) не потрібна спеціальна рамкова конструкція.

Мотор-редуктори широко використовуються практично у всіх галузях промисловості (підйомна техніка, будівельна техніка тощо), а для забезпечення підприємств мотор-редукторами різного призначення, розмірів і потужностей доступна велика кількість конструктивних схем і типорозмірів.

Продукція PGR характеризується підвищеною ефективністю та надійністю, покращеною точністю руху та плавністю роботи, а також низьким рівнем шуму та вібрації. Ці вироби не вимагають обслуговування і легко монтуються завдяки своїй компактності.

Сфери застосування мотор-редуктора PGR:

- Текстильна промисловість
- Деревообробна промисловість
- харчова промисловість
- хімічна промисловість
- Гірничодобувне виробництво
- залізна промисловість
- Виробництво конвеєрного обладнання



## 3.2. Засоби координаційного управління виконавчими механізмами

### 3.2.1. Засоби вимірювання технологічних параметрів

У досліджуваній системі автоматичного керування було виміряно кілька параметрів:

- Температура головного двигуна (від 0 до 50 °С);
- Швидкість обертання пильних валів фуганку (від 0 до 32000 хв<sup>-1</sup>);
- Наявність паразитного струму від дотику шкіри оператора на пильних валах (в нормі відсутній; 2 датчики);
- Тиск в патрубку стружковідсосу від зони різання (в нормі є, поява розрідження в патрубку вважається причиною для зупинки верстату на перевірку стану системи стружковідводу).

Рекомендується використовувати датчик температури OVEN PVT10 для вимірювання температури основного корпусу.

*Датчик температури та вологості OWEN PVT10* – Датчик температури та вологості OWEN PVT10 призначений для безперервного перетворення відносної вологості та температури в некорозійних середовищах у два однорідних вихідних сигналу 4...20 мА та передачі вимірюваного значення через інтерфейс RS-485. (Modbus RTU).

Функціональні особливості:

Цифровий датчик вологості і температури.

Діапазон вимірювань відносної вологості: 0 ... 95% RH, абсолютна похибка 3,0 (4,0)% RH.

Діапазон вимірювання відносної вологості: 0...95% RH, 3,0 (4,0)% абсолютна похибка

Відносна вологість.

Діапазон вимірювання температури: -20...+70°С, абсолютна похибка 0,5°С.

Комбінований вихідний сигнал: два канали 4...20 мА, RS-485 (Modbus RTU).

Ергономічний корпус для легкої установки (на стелі або стіни) та експлуатації.

Висока повторюваність: ±0,1% RH, ±0,1°С. Висока стабільність: 0,25% RH/рік, 0,02 С/рік

Датчики PVT10 використовуються для вимірювання параметрів повітряного середовища в таких лабораторіях, як бібліотеки, музеї, фармацевтика, овочеві магазини, медичні, офісні, складські та промислові об'єкти.

Характеристики

- Діапазон вимірювання відносної вологості RH 0...95% RH
- Діапазон вимірювання температури навколишнього повітря – 20...+70°С
- Похибка вимірювання абсолютної вологості

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47



- Системи розливу,
- Управління доступом до дверей / воріт. [10]

Для зчитування швидкості обертання валу рубанка використовується двоканальний надпотужний магнітний датчик швидкості обертання серії GEL 247 (LENORD + BAUER).

GEL 247 - це безконтактний датчик швидкості Lenord Bauer.

Принцип роботи цього датчика швидкості - безконтактне магнітне сканування. Вбудоване магнітне поле датчика змінюється під час обертання цільового колеса. Сенсорна система датчика фіксує зміни магнітного поля. Крім того, сигнал перетворюється в прямокутний або синусоїдний сигнал одинарної напруги або подвійний сигнал напруги. Крім того, сигнал передається на підсилювальний пристрій через виділений кабель.

Завдяки безконтактному вимірюванню обертання датчик швидкості GEL247 не потребує обслуговування та зносостійкий.

Датчик швидкості GEL247 безпечно виявляє повільні обертання від 0 Гц без втрати імпульсу та високошвидкісні обертання до 35 кГц.

Цей безконтактний датчик швидкості 2 каналний з 2 зміщенням 90°

Канал забезпечує напрямок обертання.

Корпус датчика міцний, малий і виготовлений з нержавіючої сталі. Конструкція корпусу датчика забезпечує надійну роботу навіть у важких умовах. Компактний розмір цього датчика швидкості дозволяє використовувати його там, де простір обмежений. Особливості та технічні параметри безконтактного датчика швидкості GEL 247

Цільовий модуль опори колеса: 1,0 - 3,5;

Діапазон вимірювання швидкості: 0 - 35 кГц; діапазон робочих температур: -40...+120°C; напруга живлення: 10 - 30 В DC; ступінь захисту від зовнішніх впливів: IP68;

Матеріал цільового колеса: феромагнітна сталь;

Повітряний зазор: від 0,1 до 1,3 мм (залежно від модуля).

Сфери застосування безконтактного датчика швидкості GEL 247 для залізничного транспорту

Залізничні транспортні засоби:

- Контроль тяги;
- Контроль ковзання;
- Контроль заметів;

- Контроль швидкості двигуна;

Автоматизовані системи:

- Вимірювання положення і швидкості обертання в різних механізмах, двигунах і роликах.

Для контролю наявності паразитарних струмів шкіри людини на пилковому валу ми будемо використовувати систему автоматичного гальмування SawStop Aim від Festool.

Змінна коробка для аварійної зупинки пильних дисків KT-TKS 80 з технологією SawStop.

Цей замінний картридж є основою технології SawStop від Festool. Пальці повинні бути захищені. SawStop робить пиляння безпечнішим, ніж будь-коли. Цей пристрій для виявлення плоті зупиняє та опускає пильне полотно менш ніж за 5 мілісекунд. Перш ніж з'явиться шанс будь-якої шкоди. Після активації картридж SawStop необхідно замінити, перш ніж машину можна буде використовувати в повній безпеці. Замінений чорнильний картридж буде замінено протягом двох секунд.

Основні характеристики змінних картриджів SawStop[9]:

- легкий монтаж;
- Основні елементи технології TKS 80 SawStop;



Рисунок 3.7. Картридж SawStop KT-TKS 80 разом з давачем наявності струму від Festool.

### 3.2.2. Технологічний контролер

В якості ПЛК для системи управління обрано S7-300 від Siemens.

										Лист
										50
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						

СУ-81.6.151.10.ПЗ





Simatic Step 7 — це програмний пакет від Siemens, розроблений для розробки систем на основі ПЛК Simatic та інших подібних архітектур.

Ця програма дозволяє розробляти та підтримувати системи автоматизації на базі програмованих логічних контролерів Siemens Simatic S7-300 і Simatic S7-400. По-перше, це робота над контролером програмування. Програмування контролера здійснюється з редактора програм, який забезпечує заповнення програми трьома мовами:

FBD — мова релейно-контактної логіки

LAD — мова блочних діаграм

STL — високорівнева мова списку інструкцій.[11]

ПЛК на свої входи отримує наступні сигнали:

Таблиця 3.2. Таблиця вхідних-вихідних сигналів проектованої АСУТП

№	Параметр	Номінальне значення	Відображення		Регулювання	Керівний вплив	Середовище			
			Показ	Сигналізація			Датчики		Виконуючі механізми	
							езп.	Агрес.	езп.	Агрес.
1	Потрапляння м'яких предметів на ріжучі кромки фуганку	Ні	+	+	+	Миттєва примусова зупинка головного валу	-	-	-	-
2	Потрапляння м'яких предметів на ріжучі кромки циркулярної пили	Ні	+	+	+	Миттєва примусова зупинка головного валу	-	-	-	-
3	Температура головного двигуна	0 – 80 °С	+	+	+	Ввімкнення охолоджувального компресору	-	-	-	-
4	Положення каретки подачі заготовки на циркулярну пилу	0 – 100 %	+	+	+	Ввімкнення крокового двигуна подачі каретки	-	-	-	-

### 3.3. Висновки

Для виконання завдання вибору комплектного електроприводу для основного руху осей верстата та подачі заготовки в циркулярну пилку математично змодельовали механічні та інерційні властивості роботи електропривода.

1. Обрано асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором. Цей двигун буде поставлятися в режимі S7 - безперервному з періодичним навантаженням.
2. Визначено конкретні моделі двигунів та наведено їх основні технічні характеристики.
3. Вибрано ПЛК та його панель керування, а також складено таблицю вхідних та вихідних сигналів ПЛК.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53







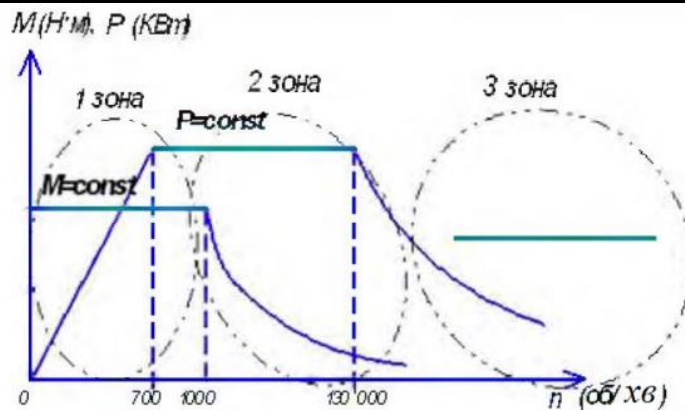


Рисунок 4.2 – Механічні і навантажувальні характеристики при двозонній схемі регулювання.

Тому регулювання вище номінальної швидкості здійснюється шляхом ослаблення магнітного потоку двигуна. Регулювання швидкості в другій зоні забезпечує постійну номінальну потужність і відповідає вимогам верстатів і основних механізмів руху верстатів. Регулювання напруги і струму електродвигуна здійснюється за встановленим порядком.

У 1 зоні швидкість регулюється від номінальної до нульової шляхом зміни напруги якоря з номінальної до нульової. Потік поля залишається номінальним. У цьому випадку крутний момент не змінюється, а потужність падає пропорційно швидкості.

У зоні 2 швидкість регулюється від номінальної до максимальної шляхом ослаблення магнітного потоку при номінальній напрузі якоря. У цьому випадку потужність постійна, а крутний момент зменшується обернено пропорційно швидкості.

У 3 зоні швидкість ще збільшується за рахунок подальшого ослаблення магнітного потоку.

При цьому крутний момент і потужність зменшуються.[6]

Виходячи з вищесказаного, опишемо функціональну схему локальної системи управління основним рухом осі різання деревообробного верстата.

Функціональна блок-схема ланцюгової автоматизації показана на рис. 4.3

Легкість обробки деревини та високі вимоги до кінцевої поверхні диктують використання високих подач і швидкостей різання. Дуже високі швидкості обертання інструменту (до 30 000 хв-1), подача до 120 м/хв (обрізний станок) тощо. Задану швидкість потрібно точно контролювати. Точність забезпечується підбором правильного двигуна з необхідними характеристиками та забезпеченням йому необхідних умов експлуатації.

ПЛК контролює швидкість асинхронного двигуна через перетворювач частоти. Залежно від навантаження на двигун можна вибрати той чи інший швидкісний режим. Якщо PLC генерує сигнал аварійної зупинки для осі машини, двигун автоматично вимкнеться..

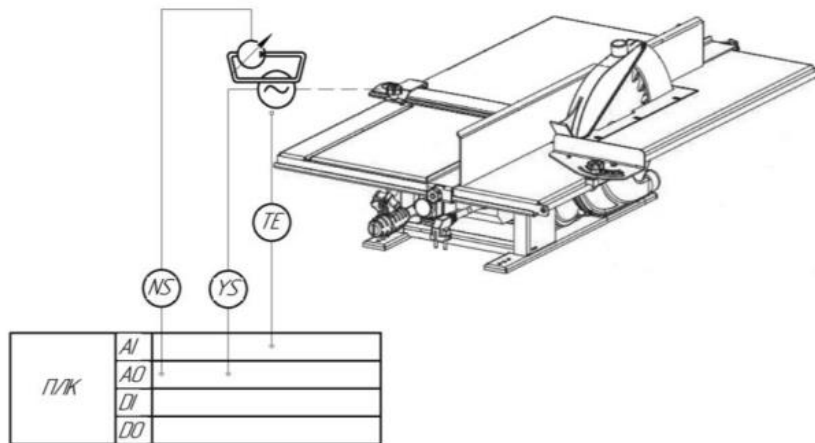


Рисунок 4.3 – Контур регулювання процесу руху валів верстату.

Для запобігання перегріву двигуна під час роботи використовується система примусового охолодження двигуна. За допомогою магнітного пускача ПЛК запускає насос охолодження, який перекачує охолоджуючу рідину через котушки, обплетені навколо корпусу головного двигуна. Температуру двигуна вимірює датчик, при досягненні певної температури (наприклад, 45°C) включається система примусового охолодження, а при зниженні температури до 25°C система охолодження вимикається.

#### 4.2. Структурна схема електропривода

На рис. 4.4 показана блок-схема електроприводу з регульованою частотою струму. У схему входять контролер струму ПК і регулятор швидкості PSH, основна функція яких полягає у формуванні сигналу, пропорційного значенню струму. В асинхронному приводі необхідно контролювати модуль, частоту та фазу струму, оскільки подається синусоїдний сигнал. Модуль і фаза струму визначаються такими виразами:

$$|I_1| = \sqrt{I_{1d}^2 + I_{1q}^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{I_{1q}}{I_{1d}}.$$





де  $r$  і  $x$  – опори ротора відповідно активний і індуктивний.

ЕРС ротора залежить від швидкості:

де  $\omega^*$  - відносна зміна кутової швидкості,  $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$ ;  $E_{2\max}$  – максимальне значення ЕРС, яке виникає у випадку синхронної швидкості  $\omega_0$ .

Індуктивний опір ротора визначається за формулою:

$$x_2 = 2\pi f_{\text{рот}} L_2 .$$

Індуктивність обмотки ротора  $L_2$  можливо прийняти постійною, а частоту струму показати в такому вигляді:

$$f_{\text{рот}} = f_0 \omega^* ,$$

де  $f_0$  – частота струму при синхронній швидкості обертання (50 Гц).

Графік зміни опорів в роторному ланцюзі для динамічного гальмування представлений на рис. 4.5.

Рівняння для струму ротора можна представити в наступному вигляді:

$$I_2 = \frac{E_{2\max} \omega^*}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}} .$$

Гальмівний момент створюється активної складової струму ротора:

$$I_{2a} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 .$$

Представивши  $\cos \varphi_2$  відношенням активного опору до повного опору, маємо такий вираз при активній складовій струму ротора:

$$I_{2a} = \frac{E_{2\max} \omega^*}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}} \cdot \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}}} = \frac{E_{2\max} \omega^* \cdot r_2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}} .$$

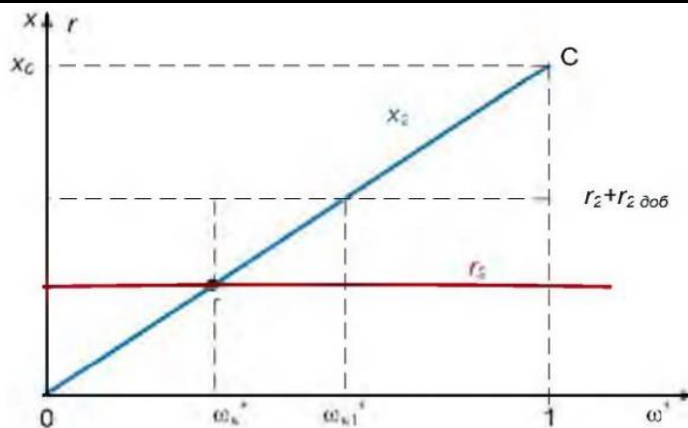


Рисунок 4.5 – Графік зміни опорів в роторному ланцюзі при динамічному гальмуванні

З зміною швидкості обертання ротора активна складова має максимум. Аби визначити цей максимум необхідно взяти першу похідну і прирівняти її до нуля:

$$\frac{d(I_{2a})}{d(\omega^*)} = \frac{d}{d(\omega^*)} \left( \frac{E_{2\max} \omega^* \cdot r_2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}} \right) = \frac{E_{2\max} \cdot r_2 (r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}) - E_{2\max} \cdot r_2 \cdot 2\omega^{*2} \cdot x_0^2}{r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}} = 0.$$

Даний дріб звертається в нуль при рівності чисельника нулю:

$$E_{2\max} \cdot r_2 (r_2^2 + x_0^2 \omega^{*2}) - E_{2\max} \cdot r_2 \cdot 2\omega^{*2} \cdot x_0^2 = 0.$$

Вирішуючи цей вираз щодо  $\omega^*$ , отримаємо:

$$\omega^* = \omega_k^* = \frac{r_2}{x_0}.$$

З графіка (рис. 4.5) і попереднього виразу видно, що максимальне значення динамічного моменту (оскільки струм максимальний) виникає тоді, коли активний та індуктивний опори в колі ротора знаходяться в рівновазі, тобто також від графік (рисунок 4.5) Можна помітити, що при синхронній швидкості чутливий опір набагато більший за активний опір. У зв'язку з цим максимальне значення динамічного моменту знаходиться при швидкості, близькій до нуля. Критичне значення швидкості (відповідає максимальному гальмівному моменту) збільшується при включенні додаткового опору в ланцюг ротора (рисунок 4.5).

Визначаємо максимальне значення струму ротора, підставляючи значення критичної швидкості (попередній вираз) у поточний вираз:



$$M = \frac{2M_{\text{кдт}}}{\frac{\omega^*}{\omega_{\text{к}}^*} + \frac{\omega_{\text{к}}^*}{\omega^*}}; M_{\text{кдт}} = \frac{3I_1^2 \cdot x_{\mu}}{2\omega_0(x_{\mu} + x_2')},$$

де  $x_{\mu}$  і  $x_2'$  - індуктивні опори, що відповідають колу намагнічування, ротор з'єднаний з обмотками статора,  $I_1$  - змінний струм статора, що визначається вирівнюванням постійної і змінної протікають сил намагнічування.

Співвідношення постійного струму до змінного залежить від схеми підключення обмоток статора. Враховуючи опір обмоток статора, відносно значення критичної швидкості можна визначити за допомогою::

$$\omega_{\text{к}}^* = \frac{r_2'}{(x_{\mu} + x_2')}.$$

Динамічне гальмування шляхом самозбудження здійснюється за допомогою конденсаторів. Після відключення двигуна від трифазної мережі підключіть батарею конденсаторів до обмоток статора. на графіку. На рисунку 4.7 зображено графік напруги на ЕРС і конденсаторі при динамічному гальмуванні.

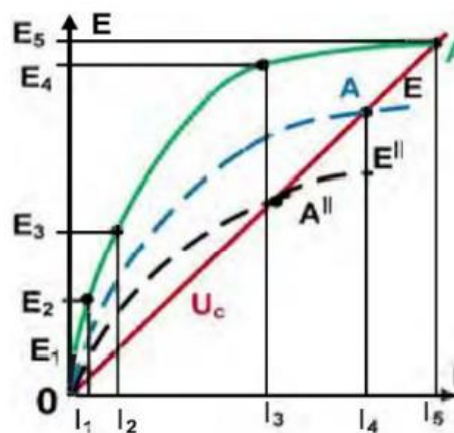


Рисунок 4.7 – Графіки зміни ЕРС при динамічному гальмуванні

Процес самозбудження виглядає наступним чином. Після відключення від трифазної мережі та перемикання обмоток статора на конденсатори ЕРС  $E_1$  в обмотках статора (за рахунок залишкового магнітного потоку) викликається інерційним обертовим ротором. У статорі виникає струм, що створює магнітний потік, під впливом якого ЕРС зростає до  $E_2$ . У свою чергу ЕРС  $E_2$  виробляє струм  $I_2$  і т. д., тобто відбувається лавиноподібний процес збудження. Процес стабілізується в точці А, де ЕРС дорівнює напрузі на конденсаторі. Під дією активної складової струму  $I_5$  утворюється гальмівний момент, в результаті чого швидкість знижується.

При зменшенні швидкості ЕРС зменшується, струм статора зменшується, і характеристика переміщається з точки А в точку А', а потім в точку А//. При цьому гальмівний момент може збільшуватися, оскільки зменшується частота струму статора і зростає активна складова струму, що призводить до збільшення моменту. Приблизний вигляд механічних властивостей показаний на на рис. 4.8.

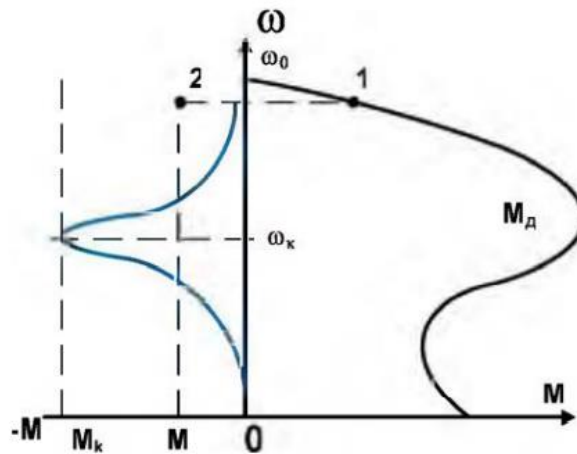


Рисунок 4.8 – Механічні характеристики асинхронної машини в руховому і динамічному режимах

Опір  $M_0$  в ланцюжку поставок в основному викликаний тертям. Під час інерційного руху цей момент майже не змінюється. Кінетична енергія системи при інерційному русі в точності дорівнює роботі над моментом  $M_0$  (приведеним до валу двигуна) на кутовому шляху ( $\varphi$  вала двигуна, що відповідає інерційному руху системи):

$$\frac{J\omega^2}{2} = M_c \varphi \rightarrow \varphi = \frac{J\omega^2}{2M_c}$$

Знаючи передавальне число кінематичного ланцюга, легко визначити величину лінійного переміщення прогресивної складової машини. Опір у ланцюжку поставок завжди залежить від ваги компонентів, стану поверхонь тертя, кількості, якості та температури мастила. Коливання цих змінних можуть спричинити значні зміни у значенні  $M_0$ , а отже, і в шляхах. Контактори, що керуються перемикачами, відрізняються часом роботи. Крім того, швидкість руху також може бути змінена.

Все це призводить до розкидання точок зупинки. Щоб зменшити інерційний шлях руху, необхідно зменшити швидкість руху, коливальний момент системи та збільшити гальмівний момент. Найефективніше знизити швидкість руху перед зупинкою. У цьому випадку кінетична енергія та інерційний рух рухомої маси різко зменшуються. Зменшення швидкості подачі також зменшує шлях під час роботи обладнання.

Однак зниження швидкості подачі під час механічної обробки, як правило, неприйнятно, оскільки це спричиняє зміни у визначеному малюнку та обробці поверхні. Тому зниження частоти обертання електроприводу частіше використовується для монтажних рухів. Швидкість електродвигуна знижується різними способами.

Основною частиною моменту інерції ланцюга живлення є момент інерції ротора двигуна, тому при вимкненому двигуні рекомендується механічно відокремити ротор від решти кінематичного ланцюга. Зазвичай це робиться за допомогою електромагнітне зчеплення. У цьому випадку зупинка відбувається швидко, оскільки ходовий гвинт має малий момент інерції. При цьому точність зупинки в основному залежить від величини зазору між елементами кінематичної схеми. Для збільшення гальмівного моменту застосовують електричне гальмування за допомогою електродвигуна, а механічне гальмування за допомогою електромагнітної муфти. Більш високої точності зупинки можна досягти за допомогою жорстких упорів, які механічно зупиняють рух. Недоліком у цьому випадку є те, що в частинах системи, які стикаються з жорстким упором, виникають дуже великі зусилля. Обидва типи гальмування використовуються з первинним перетворювачем для відключення приводу, коли тиск зупинки досягає певного значення. Слід зазначити, що в багатьох випадках відносна складність точної зупинки рухомих частин машини за допомогою орбітальної електроавтоматики змушує використовувати гідравлічні системи. У цьому випадку відносно легко досягти низьких швидкостей, і рухомий блок може залишатися притиснутим до жорсткого упору протягом тривалого часу. Для точної зупинки при швидкому обертанні елементів машини часто використовуються такі шестерні, як мальтійські хрестики і затискачі.[1]

### 4.3. Висновки

В рамках цього розділу

1. Проаналізовано спроектований у цій роботі контур керування основним процесом руху валу деревообробного обладнання.
2. Наведено типову схему руху з'єднання головного сердечника електроприводу з енергоспоживаючим пристроєм.
3. Описано елементний склад основних профілів руху цього верстата.
4. Наведено функціональну схему ЛКС та описано взаємодії її елементів.

Крім того, згідно з структурною схемою досліджуються основні характеристики типового частотно-керованого електроприводу.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65







Після зчитування інформації про приблизні розміри заготовки, що фарбується, і бажаний режим (швидкість) основного і подачі двигунів, ПЛК запускає основний цикл верстата, де зчитує інформацію з датчиків системи.

Якщо під час роботи виникла проблема, двигун зупиняється, а оператор сповіщається про аварійну ситуацію.

Щоб зупинити машину нормально, оператор повинен натиснути відповідну кнопку на панелі оператора (див. Розділ 5.3), після чого ПЛК вимкне машину в нормальному режимі..

### 5.3. Інтерфейс оператора

Було обрано Siemens KTP600 Basic Color PN 6AV6647-0AD11-3AX0 як панель оператора (рис. 5.3).

Пульт управління дозволяє контролювати роботу системи; змінювати режим роботи системи (автоматичний-ручний); виконувати пуск-стоп (змінювати положення) різних механізмів системи в ручному режимі; виконувати пуск-стоп лінії в автоматичному режимі; задати параметри механізму системи; Переглянути журнал подій.



Рисунок 5.3 – Зовнішній вигляд та елементний склад операторської панелі: 1 – дисплей/сенсорний екран; 2 – вирізи для затискних скоб; 3 – монтажне ущільнення; 4 –

функціональні клавіші; 5 – інтерфейс профінет; 6 – виходи блоку живлення; 7 – табличка з технічними даними; 8 – позначення інтерфейсу; 9 – напрямна для маркувальних стрічок; 10 – підключення для функціонального заземлення.

У верхній частині кожного екрана є область повідомлень. Унизу кожного екрана є кнопки:

Головний - перехід на головний робочий екран;

Параметри - перехід на екран для зміни параметрів механізму системи;

повідомлення - перехід на екран повідомлень.

У нижній частині панелі керування оператора розташовані функціональні кнопки:

F1 (Головна) – натискання кнопки «Додому» переведе вас на екран

"Головна"

F2 (Параметри) – натискання кнопки «Параметри» переведе вас на екран

"Параметри"

F3 (Повідомлення) - натискання кнопки повідомлення переведе вас на екран

Повідомлення

F4 (Скидання) - натисніть кнопку «Скидання», щоб скинути помилку.

Перемикання між екранами здійснюється натисканням відповідної кнопки в нижній частині екрана або натисканням відповідної функціональної кнопки внизу панелі керування оператора.

на рис. 5.4 показано, як підключити панель оператора до ПЛК і датчиків..

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
						69
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

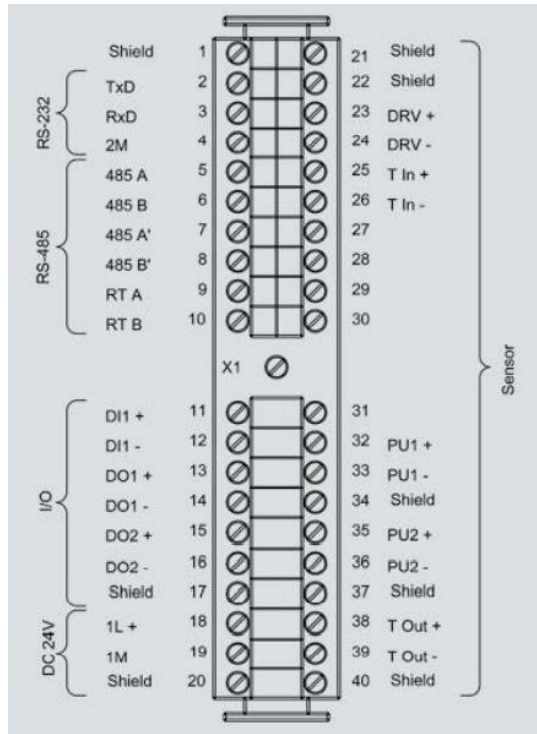


Рисунок 5.4 – Схема підключення панелі оператора до ПЛК та датчиків.

Система живиться від центральної системи живлення через розетку. ПЛК і деякі датчики живляться від блоку живлення Siemens Sitop PSU 100 C.

#### 5.4. Висновки

1. Представлено схему потоку інформаційного матеріалу з контрольованими параметрами та їх значеннями, описано функцію елементного складу.
2. Описано деревний заповнювач, розроблений у функціональному алгоритмі.
3. Для подальшого проектування обрана, описана панель оператора Siemens KTP600 та наведена схема її підключення до попередньо обраного програмованого логічного контролера.

Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-81.6.151.10.ПЗ

Лист

70

## РОЗДІЛ 6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВЕРСТАТУ ЦКБ-40

### 6.1. Аналіз факторів небезпеки

*Механічна небезпека* – Контакт предмета або його частин з людиною може призвести до травм.

До них відносяться: рухомі частини механізму, рухомі частини механізму, заготовки, гострі краї, задирки, підвищений вміст пилу в повітрі.

Методи та засоби захисту:

1. Переконайтеся, що небезпечна зона недоступна
2. Використовуйте спеціальне обладнання для зменшення небезпеки, зокрема:
  - огорожувальне обладнання (стаціонарне, пересувне, переносне, часткове, може бути суцільним і сітчастим);
  - запобіжні обмежувачі;
  - Блокування (механічні, електричні, оптичні, радіаційні тощо), підключені до ударно-пускового механізму.

*Небезпека поранення і удари*

Це може виникнути через: необережного поводження з машиною, впливу на кути машини та тверді поверхні тощо.

Методи та засоби захисту:

- регулярно очищайте зону біля машини, щоб виключити можливість ковзання;
- Будьте особливо обережні та обережні біля машини.

*Небезпека розрізання або защемлення*

Тільки в Німеччині щороку трапляється понад 4000 травм на виробництві, спричинених використанням циркулярних пил. Близько 26% серйозних нещасних випадків призводять до інвалідності через виробничу травму (статистика «Професійні травми 2017» Німецької національної асоціації страхування від нещасних випадків DGUV).

Може статися через:

- дозволити пальцям і рукам увійти в зону дії пилки;
- використовувати пилку без захисного кожуха;
- необережне поводження з механізмом преса;
- Порушення кінцівок тіла в поворотному механізмі стійки.

Методи і засоби захисту:

- використання прошковувачі в зоні дії пилкових дисків;

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		71

- завжди використовувати захисний кожух на пильний диск;
- прибирати руки при роботі близько затискаються механізму верстата;
- використання механізму автоматичного тормозу пильного диска;
- завжди працювати збоку від кронштейна, але не навпаки нього.

#### *Небезпека затягування*

Може статися через:

- затягування одягу оператора верстата в пильний механізм.

#### Засоби захисту:

- робочий одяг повинен прилягати до тіла, кільця, браслети і годинник на час роботи необхідно знімати.

#### *Електричні небезпеки*

Можуть статися внаслідок:

- Контакт з струмоведучими частинами (неізолювані дроти електрики);
- Контакт з струмоведучими частинами, які в несправному стані, знаходяться під напругою;

#### Засоби і методи захисту:

- уважно перед початком роботи і включення станка перевіряти справність електропроводки;
- регулярно проводити контроль за дотриманням правил безпеки електрообладнання.

#### *Небезпеки від шуму*

Виражаються в:

- Втрати слуху (глухоту), інших фізіологічних розладах (наприклад, у втраті рівноваги, ослабленні уваги);
- погіршення сприйняття мови, звукових сигналів і т. д.

Можуть статися внаслідок: тривалого впливу, характеристики приміщення, інші джерела шуму, наприклад, розташовані поруч верстата і їх кількість.

#### Методи і засоби захисту:

- використання засобів індивідуального захисту (навушники);
- застосування засобів колективного захисту (екранування від шуму).

#### *Пожжежонебезпека*

Може статися через: неправильно налагодженої або відсутності пилозбірники і витяжки для тирси.

Методи захисту: використання витяжки.

Також можливі й інші небезпеки такі як:

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		72

- Несподівані пуски, повороти, прокручування (або будь-які подібні нештатні стану) від: неполадок або пошкодження систем управління, відновлення енергопостачання після його переривання;

- Порушення швидкості обертання інструменту;
- Порушення енергопостачання;
- Помилки монтажу;
- Немоżliвість пригальмувати або повністю зупинити окремі вузли.

Незважаючи на використання обладнання за призначенням та дотримання всіх відповідних приписів щодо безпеки зберігається небезпека при роботі (потенційні ПП), обумовлена особливостями конструкції і конкретним використанням верстата:

Дотик пильних інструментів;

Дотик основного і підрізного пилкових дисків в зоні різання;

Дотик основного і підрізного пилкових дисків під рівнем столу при повністю висунутому вперед або назад рухомому столі;

Віддача заготовки;

Віддача оброблюваної деталі або частин оброблюваної деталі;

Виліт окремих зубів при використанні пильних дисків з твёрдосплавними наплавленнями;

Поломка пильного інструменту;

Поломка і викид пилкового диска;

Защемлення при ручному або електричному переміщенні двухроlikової каретки;

*Небезпека затискання*

Защемлення між вагається при обертанні пильним диском і паралельним упором або заготовками, розташованими в зоні коливань.

*Електрообладнання*

Дотик струмопровідних деталей при відкритих розподільних коробках

*Шум*

Шкідливий вплив на органи слуху при тривалій роботі без захисних навушників

*Пила*

Деревний пил є небезпечним для здоров'я при роботі без витяжки.

Необхідно знижувати небезпеку за рахунок підвищення уважності при монтажі, експлуатації і техобслуговуванні верстата.

Ушкоджуює властивості верстата;

*Електричне обладнання*

Потужність двигуна основної пили 50-250 кВт

Потужність приводу подачі 2,2 кВт

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		73



## 6.2. Комплекс заходів захисту персоналу

Робота на будь-якому верстаті, особливо на деревообробних верстатах, які вручну подають заготовки, створює високий ризик, якщо не дотримуватись вимог щодо правильного використання.

Роботи без запобіжних пристроїв і модифікації, що знижують безпеку, заборонені.

Перед кожним запуском перевіряйте, що запобіжні та робочі пристрої правильно встановлені та в хорошому стані.

Перед заміною інструменту, перед усуненням несправностей та під час робіт з технічного обслуговування вживайте заходів, щоб запобігти несподіваному запуску машини, наприклад, заблокуйте головний вимикач.

Використовуйте тільки пилку, яка відповідає розміру вашої машини.

Швидкість потрібно підбирати так, щоб вона не перевищувала максимально допустиме значення, зазначене на лезі.

Не використовуйте деформовані або потріскані леза.

Робочий одяг повинен щільно прилягати до тіла. Під час роботи знімайте кільця, браслети та годинник.

Робоча зона повинна мати достатню кількість вільного простору, хороше освітлення та уникати ризику послизнутися та травмуватися.

Не обробляйте деталі (занадто великі або занадто малі), які не відповідають потужності машини.

Займіть робоче положення так, щоб працівник завжди зручно знаходився з одного боку від ножа, подалі від можливої зони віддачі (області безпосередньо перед лезом).

Перед тим, як увімкнути машину, з пильного диска необхідно видалити вільні предмети.

Пиляльне полотно починає різати, коли воно досягає повної швидкості. Завжди використовуйте захисний футляр.

Зверніть увагу на безпечну подачу заготовки.

Рівень звукового тиску на робочому місці перевищує 85 децибел. Тому під час роботи потрібно використовувати захисні навушники.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
						75
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



Ошурки від розпилення не тільки погіршують видимість, але й шкодять здоров'ю. Тому машину необхідно під'єднати до системи відсмоктування тирси через два витяжні отвори. Швидкість повітря повинна бути не менше 20 м/с. Необхідно вжити заходів для одночасного увімкнення машини та витяжки.

Тільки кваліфікований електрик має право працювати з електричними компонентами машини. Регулярне очищення машини є важливою вимогою безпеки.

Машини розроблені з особливою увагою до створення оптимальних умов роботи, від численних функцій механічної та електричної безпеки до шумозаглушаючих покриттів і видалення пилу.

Настільна пилка не вимагає спеціального фундаменту в польових умовах. Підлога повинна мати несучу здатність, що відповідає вазі машини, бути рівною і рівною. Якщо машина хитається, це можна виправити, встановивши підставку для домкрата. Місце встановлення. Вибір місця установки верстата повинен забезпечувати достатньо вільного простору навколо верстата з урахуванням зайнятої площі та розміру заготовки, що обробляється. Крім того, для усунення небезпек необхідно забезпечити та підтримувати безпечну відстань від елементів конструкції та іншого обладнання.

Активний захист оператора. Для захисту оператора від небезпечних елементів деревообробного верстата – пилкового валу та диска передбачена автоматична гальмівна система для полотна циркулярної пилки та валу рубанка.

Щоб запобігти потраплянню стружки, зона різання машини обладнана системою всмоктування стружки.

Крім того, безпека вимагає від операторів носити засоби індивідуального захисту: респіратори, комбінезони, навушники та окуляри.[2]

### **6.3. Висновки**

У рамках цього розділу розглянуто основні небезпеки роботи операторів деревообробних верстатів. Більшість з них пов'язані зі значною швидкістю обертання ріжучої поверхні деревообробного обладнання, ризиком защемлення подаючих візків або інших рухомих частин.

- Машина з ризиком ураження електричним струмом та шуму.
- Вібрація або канцерогенність деревної тріски, яка виділяється у великих кількостях під час роботи машини.

Тому роботу оператора такої машини можна назвати складною.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
						76
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблений верстат пропонує два способи активного захисту: автоматичне гальмування валу головного двигуна та систему видалення стружки в активній зоні різання.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						77
<i>Змн</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

У рамках даного дипломного проекту описано конструкцію та технічні характеристики деревообробного верстата ЦКБ-40.

- Описано основні частини та компоненти заводського продукту.
- Наведено відомості про методи розрахунку робочих енергетичних режимів систем електроприводу та машин.
- Обрано основні режими різання деревини для високої енергоефективності.
- Також було проведено аналітичний огляд існуючих автоматичних та напівавтоматичних систем для різальних та розпилювальних машин.
- Описано принципи та шляхи формування взаємодії контуру керування та елементів системи технічних параметрів.
- Математично змодельовано механічні та інерційні властивості електропривода.
- Визначено конкретні моделі двигунів та наведено їх основні технічні характеристики.
- Обрано потрібну групу датчиків, ПЛК та панель керування та складить таблицю вхідних та вихідних сигналів ПЛК.
- Представлена схема потоку інформаційного матеріалу з контрольованими параметрами та їх значеннями

Підводячи підсумок, можна зробити висновок, що найбільш «цікавим» з точки зору комбінацій параметрів є саме деревообробний ЦКБ-40. Тому він був обраний за основу для автоматизації цього проекту.

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		78

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белов М.П. Автоматизованний електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М. П. Белов, В.А. Новиков, Л. Н. Розсудов. – 3-е изд., випр. – К.: Видавничий центр «Академія», 2017. – 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2
2. Белов С. В., Ільницька А. В., Козьяков А. Ф. і ін. Безпека життєдіяльності: Підручник для вузів. Вид. 4-е / За заг. ред. С.В. Бєлова. – К.: Вища школа, 2020
3. Ганопольський С.Г., Копилов В.В. Визначення потужності механізмів подачі і різання деревообробного верстата: Методичні вказівки до практичних занять з курсу "Обладнання галузі" – К.: Вид-во ВятГУ, 2019. – 24 с.
4. Глебов И. Т. Проектирование деревообрабатывающего оборудования. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 232 с. ISBN 5-230-25725-3.
5. ДСТУ Р 51344-99. Безпека машин. Принципи оцінки та визначення ризику
6. Оськін С.В. Автоматизованний електропривод: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С.В.Оськін – К.: Вид-во ТОВ «КРОНА», 2019, - 489 с.
7. Суханов В. Г. Круглопилыні верстати для розпиловки деревини.— К.: Лісн. пром-сть, 2018.— 96 с
8. PRG: Drive Technologies. Helical Gear Units of PA/PF series cata-logue for 2018. 298 p. Access mode – URL: [http://www.pgr.com.tr/customcontent/urun\\_katalog/95722b67-c4a5-4c4e-9f67-35dbb8947a7c/PA-PF.pdf](http://www.pgr.com.tr/customcontent/urun_katalog/95722b67-c4a5-4c4e-9f67-35dbb8947a7c/PA-PF.pdf)
9. Replacement cartridges KT-TKS 80 Festool. Access mode: <https://www.festool.com/accessories/575851---kt-tks-80>. Date of access: 05.16.2021
10. Sensick catalogue. W250: Compact photoelectric switch series for a broad range of applications. 5.06.2018. P 778 – 809. Access mode – URL: <http://www.sensorica.ru/pdf/w250.pdf>
11. Simatic S7. Article in the archives of the Internet Encyclopedia "Wikipedia": [https://en.wikipedia.org/wiki/Simatic\\_S7-300](https://en.wikipedia.org/wiki/Simatic_S7-300) (application date: 03.04.2021)
12. Stepper motor Nema 17HS8401. Access mode – URL: <http://regrap.in.ua/17HS8401>. Date of access: 05.15.2021
13. Two-channel magnetic rotation speed sensor for heavy duties GEL 247 SERIES (LENORD + BAUER). Access mode: <https://tdneoteh.ru/product/447>. Date of access: 10/05/2021

					<i>СУ-81.6.151.10.ПЗ</i>	Лист
						79
ЗМН	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		