

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А. С.

_____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВЕРСТАТУ ЦДК5

Дипломний проект

Виконав:
студент групи СУ-71

Бабак Я. Б.

Керівник проекту:
к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

Суми – 2021

РЕФЕРАТ

Бабак Ярослав Борисович. Система автоматизації деревообробного верстату ЦДК5. Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (дипломний проєкт). Сумський Державний Університет, Суми, 2021 р.

Робота присвячена методам й засобам автоматизації процесів управління виконавчими механізмами деревообробного верстату ЦДК5. Запропоновано проєктне рішення щодо комплексу локальних систем управління виконавчими механізмами та системи комплексної автоматизації верстату. Розроблена конструкторська документація для технічної реалізації системи автоматизації.

Робота містить 104 сторінки основного тексту, 28 рисунків, 7 таблиць; 4 додатки; список використаних джерел з 13 найменувань.

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

ABSTRACT

Babak Yaroslav Borysovych. System of automation of the woodworking machine TsDK5-3. 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 TsDK5-3. 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 104 pages of the main text, 28 figures, 7 tables; 4 applications; 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'ютерних наук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ А. С. Довбиш

“ _____ “ _____ “ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Тема роботи: Система автоматизації деревообробного верстату ЦДК5. Дипломний проект. Затверджено наказом ректора СумДУ № 2361- III від 21.01.2021 р.

Термін подання закінченої роботи 25.05.2021 р.

Вихідні дані до роботи: технічна документація верстату ЦДК5.

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.	01.03.2021-15.03.2021
2	Опис об'єкта автоматизації. Задачі автоматизації. Аналіз відомих технічних рішень	16.03.2021-31.03.2021
3	Розробка функціональної схеми автоматизації	01.04.2021-10.04.2021
4	Вибір обладнання	11.04.2021-15.04.2021
5	Розробка алгоритмів управління	16.04.2021-25.04.2021
6	Охорона праці	26.04.2021-30.04.2021
7	Оформлення проекту та презентації	01.05.2021-25.05.2021
8	Подання роботи керівнику. Публічний захист роботи	26.05.2021-31.05.2021

Дата видачі завдання «01» 02. 2021 р

Керівник проекту:

к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

До виконання прийняв:

студент групи СУ-71

Бабак Я. Б.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування системи автоматизації деревообробного верстату ЦДК5

Назва і галузь застосування: Система автоматизації деревообробного верстату ЦДК5.
Деревообробка.

Підстави для проектування: Наказ ректора СумДУ № 0543.ІІІ від 21.01.2021.

Призначення проекту: створення сучасної комп'ютеризованої системи автоматизації деревообробного верстату ЦДК5 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.	01.03.2021-15.03.2021
2	Опис об'єкту автоматизації. Задачі автоматизації. Аналіз відомих технічних рішень	16.03.2021-31.03.2021
3	Розробка функціональної схеми автоматизації	01.04.2021-10.04.2021
4	Вибір обладнання	11.04.2021-15.04.2021
5	Розробка алгоритмів управління	16.04.2021-25.04.2021
6	Охорона праці	26.04.2021-30.04.2021
7	Оформлення проектної документації	01.05.2021-15.05.2021

Розробник ТЗ:

студент гр. СУ-71

Бабак Я. Б.

Погоджено:

керівник проекту

к. т. н., доцент

Черв'яков В.Д.

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	СУ-71 6.151.001 ДП ТЗ	Технічне завдання	2	1	
3	A4	СУ-71 6.151.001 ДП ПЗ	Реферат	1	1	
4	A4	СУ-71 6.151.001 ДП ПЗ	Пояснювальна записка	80	1	
			<u>Документація конструкторська</u>			
5	A3	СУ-71 6.151.001 С1	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Схема інформаційно-матеріальних потоків	1	1	
6	A3	СУ-71 6.151.001 А2	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Функціональна схема автоматизації	1	1	
	A3	СУ-71 6.151.001 К3	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Кінематична схема	1	1	
	A2	СУ-71 6.151.001 Е3	Система автоматизації управління деревообробним верстатом. Електрична принципова схема	2	1	
			СУ-71 6.151.001 ДП			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
<i>Розробив</i>		Бабак Я. Б.			<i>Лист.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевірів</i>		Черв'яков В. Д.			Т	1
<i>Реценз.</i>					СумДУ СУ-71	
<i>Н. Контр.</i>						
<i>Затвердив</i>						

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЕРЕВООБРОБНОГО ВЕРСТАТУ ЦДК5

Проектант:

студент гр. СУ-71

Бабак Я. Б.

Керівник проекту:

к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИРІЗНОГО КРУГЛОПИЛЬНОГО ВЕРСТАТУ ЦДК5.....	6
1.1. Конструктивно-технологічна характеристика верстату ЦДК5	6
1.1.1. Компонування прирізного верстата ЦДК-5	6
1.2. Технологічні програми порізу заготовок	10
1.2.1. Кінематика пиляння круглими пилками.	13
1.2.2. Розрахунок сил і потужності пиляння.....	16
1.2.3. Вибір режимів роботи круглопильних 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 круглопильних прирізних деревообробних верстатів.....	25
1.4.1. Установка колодопильна круглопильна УБК-2	25
1.4.2. Установка стаціонарна круглопильна однопильна УСК-1	26
1.4.3. Круглопильний 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

					СУ-71 6.151.001 ПЗ							
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Бабак Я. Б.				Система автоматизації деревообробного верстату ЦДК5			Лит.	Арк.	Листів		
Перевірів	Черв'яков В. Д.							Т	2	80		
Реценз.								СумДУ СУ-71				
Н. Контр.												
Затвердив												

2.3. Висновки.....	35
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	36
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
РОЗДІЛ 4. ЛОКАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ГОЛОВНИМ РУХОМ ВАЛІВ ЦИРКУЛЯРНОЇ ПИЛИ ТА ФУГАНКУ.....	54
4.1. Функціональна схема електропривода.....	54
4.2. Структурна схема електропривода.....	58
4.3. Висновки.....	65
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЕРЕВООБРОБНИМ ВЕРСТАТОМ.....	66
5.1. Структурна схема.....	66
5.2. Алгоритм роботи технологічного контролера.....	67
5.3. Інтерфейс оператора.....	68
5.4. Висновки.....	70
РОЗДІЛ 6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВЕРСТАТУ ЦДК5.....	71
6.1. Аналіз факторів небезпеки.....	71
6.2. Комплекс заходів захисту персоналу.....	75
6.3. Висновки.....	76
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

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-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів в деревообробній промисловості є одним із значущих факторів для економіки України, враховуючи великі обсяги заготівлі лісоматеріалів та експорту виробів з дерева ліств'яних і хвойних пород. Цим визначається актуальність даного проекту, присв'яченого розробці системи автоматизації деревообробного верстату.

Технологічним об'єктом, для якого розробляється система автоматизації (СА), є прирезний круглопильний верстат ЦДК5. Верстат призначений для розпилювання кругляка на дошки або дошок на бруски.

На підставі проведеного аналізу технологічної схеми верстата і регламента технологічного процесу визначені задачі автоматизації, запропонована функціональна схема СА та вибрані технічні засоби для її технічної реалізації. Розроблені локальні системи управління виконавчими механізмами та комп'ютерно-інтегрована система управління агрегатом. Запропоновані інженерні рішення щодо охорони праці обслуговуючого персоналу при експлуатації верстата. Можливість технічної реалізації запропонованої СА забезпечена комплектом конструкторської документації.

					<i>СУ-71 6.151.001 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 ЦДК5

1.1. Конструктивно-технологічна характеристика верстату ЦДК5

Багатопилковий прирізний верстат ЦДК-5 спроектований на базі однопилкового верстата ЦДК-4.

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

Багатопилковий верстат ЦДК-5 застосовується 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 ЦДК-5

Станина верстату складається з двох чавунних виливків коробчатої форми верхньої і нижньої. У нижній частині спереду (по ходу розпилювання) і у верхній частині ззаду знаходяться шафи для електроапаратури. У верхній частині змонтований пильний вал, який частково входить в супорт, де встановлюється пила (пилки). У нижній частині на хиткій плиті змонтований електродвигун пильного вала. Тут же є натягач для установки електродвигуна при зміні діаметра пилки (пилоч). На верхній стінці змонтований механізм управління. Ззаду в нижній частині укріплена плита, на якій змонтовані електродвигун, варіатор і редуктор механізму, подачі.

Пильний вал змонтований на двох опорах в жорсткому корпусі, шарнірно закріпленому на верхній частині станини. Корпус в передній частині має припливи, через які проходить вісь кочення. У задній частині корпусу є припливи для шарнірної підвіски до гвинта підйому корпусу. Верхній кінець гвинта підйому кріпиться в механізмі управління.

На одному кінці пильного вала насаджений шків, на іншому – встановлена пила. Замість однієї пилки при розпилюванні тонких дощок може бути встановлено кілька, пилоч (не більше 5-ти) з шириною постава не більше 200 мм.

При установці декількох пилоч необхідно виготовити і встановити між пилами проставні кільця, відповідні ширині випилюваних брусків і новий башмак з вирізами, відповідними поставу пил.

Механізм управління змонтований у верхній частині станини і здійснює вертикальне переміщення супорта притискних валків і пильного вала через систему циліндричних і

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

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

Захист пили, що складається з двох коливальних листів, служить для запобігання вильоту дрібних обрізків і сучків збоку. При розпилюванні широких дощок і щитів листи під час проходження дошки піднімаються.

Механізм противикидування служить для запобігання викиданню розпилюваної дошки назад (на оператора). Механізм складається з корпусу, в якому змонтовані 2 ряди кігтів, що пропускають дошки вперед і перешкоджають зворотному виходу.

У разі необхідності верхні кігті можуть бути підняті, а нижні опущені спеціальною рукояткою. При піднятті кігтів рукояткою передбачене електроблокування, що забезпечує гальмування пильного вала і механізму подачі. [7]

Технічну характеристику верстату наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата ЦДК5.

<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 ЦДК5 ілюструє рис. 1.1:

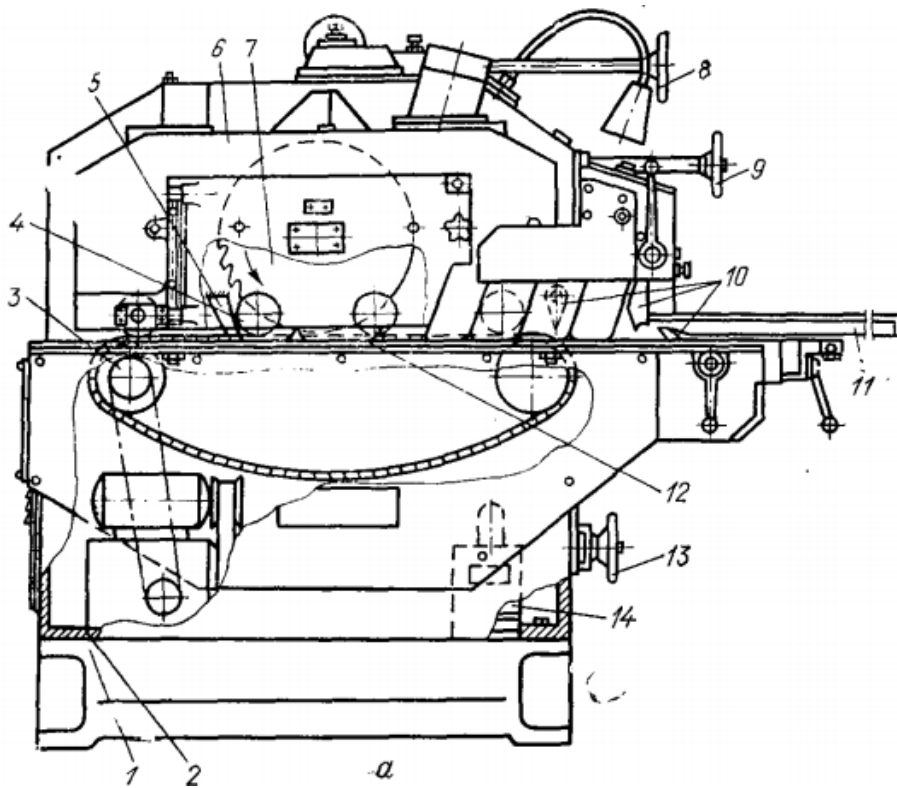


Рисунок 1.1. Конструктивний склад деревообробного верстату ЦДК5

Конструктивно верстат включає в себе механізми: головного руху 7, подачі, управління пильним валом, притискним супортом, а також варіатор 13, що базують елементи 11 і елементи безпеки 10. Всі основні вузли верстата встановлені на станині 1.

Механізм головного руху складається з пильного вала, на одному кінці якого встановлено затискні фланці для кріплення пилки, а на іншому пружна муфта для з'єднання з електроприводом. Пильний вал обертається в підшипниках, встановлених в * подовженому корпусі, закріпленому в ексцентрикових втулках. Ексцентрики забезпечують жорстку установку шпиндельного вузла і дозволяють поднастрайвувати його за допомогою механізму управління пильного вала, що складається з маховичка 9 і черв'ячної передачі, в залежності від діаметра застосовуваної пилки. Привід пильного валу здійснюється від електродвигуна М (потужність 13 кВт, частота обертання 2910 хв-1).

Механізм подачі складається з конвеєра 3 і притискних роликів 4, встановлених в спеціальному супорті 6. Конвеєр складається з опорної рами, ведучої зірочки, двох туєрів, гусеничного ланцюга і її направляють 12. конвеєрного-гусеничний ланцюг має гусениці шириною 170 мм. На робочій поверхні гусениць, нанесено сітчасте рифлення з кроком 5 мм, а в середній частині є паз шириною 10 мм і глибиною 6 мм для входу в нього вершини зубів пилки, щоб забезпечувалося повне розпилювання по всій висоті заготовки. Нижні поверхні гусениць мають два шліфованих кутових паза, якими вони точно базуються на напрямних, закріплених на рамі конвеєра.

Напрямні 12 виготовлені з текстоліту. Для більшої зносостійкості поверхні ковзання напрямних змащуються від плунжерного насоса 14, який приводиться в дію від окремого електродвигуна, що працює одночасно з двигуном приводу подачі. Притискні ролики 4, два довгих і чотири коротких, розташовані симетрично по відношенню до осі пилки, встановлені в спеціальному супорті 6.

Налаштування супорта на товщину матеріалу, що розпилюється, здійснюється за шкалою шляхом переміщення його у вертикальному напрямку по напрямних станини за допомогою механізму управління супортом, що складається з маховичка 8, конічної і гвинтовий передачі. Притиск матеріалу забезпечується роликами, пружними з двох сторін. Крім роликів, в супорті, тримаючи пилку і в одній площині з нею встановлюється направляючий ніж 5. Для видалення стружки є лоток з горловиною, що приєднується до екстаустерной системи.

Напрямна лінійка 11 укріплена на передньому кожусі станини. Вона складається з литого корпусу і лінійки з рукояткою фіксації. Елементи безпеки являють собою три ряди когтевої захисту 10 для запобігання від зворотного вильоту матеріалу і його зрізання. Перший нижній ряд встановлений в передньому кожусі станини, другий верхній встановлений попереду супорта на станині (в противикидачеві) і має один ряд когтевих упорів з двома зубцями, які можна, в разі необхідності, піднімати рукояткою, третій верхній ряд встановлений в рухомому супорті.

Збоку пила закривається дверцятами супорта і подвійним бічним огородженням. Крім того, на верстаті встановлений бічний запобіжний секційний щиток. При підйомі верхньої когтевої захисту рукояткою спрацьовує електроблокування і верстат відключається. У верхній частині корпусу протівовибрасивателя встановлений пульт управління верстатом.

Станина верстата збірна, вона складається з шести з'єднаних між собою деталей (корпуса 2, підстави 1, двох кронштейнів і двох кожухів). Усередині корпусу встановлено варіатор для зміни швидкості подачі, вузол мастила, механізм управління варіатором, вузол пильного вала, механізм управління пильним валом.

На станині встановлені супорт, протівовибрасиватель, конвеєр подачі, механізм управління супортом, напрямна лінійка і шафа з електроапаратурою.

На кінематичній схемі верстата ЦДК5 показано, що обертання пильного вала повідомляється від електродвигуна М через пружну муфту. Привід конвеєра 3 здійснюється від електродвигуна приводу подачі М 2 через варіатор, редуктор і ланцюгову передачу. Ведена зірочка цієї передачі має запобіжний від перевантажень зрізний штифт. Регулювання швидкості подачі здійснюється маховичком 13 і контролюється за показаннями стрілки.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.2. Технологічні програми порізу заготовок

Пиляння деревини – це процес різання деревини пилами з метою поділу її на частини (ГОСТ 17743-72). Поперечне пиляння деревини – це пиляння, при якому площина пропила перпендикулярна напрямку волокон деревини. Поздовжнє пиляння – це пиляння, при якому площина пропила паралельна напрямку волокон деревини. Отже, характерною ознакою процесу пиляння є утворення пропилу в розділюваному матеріалі.

Пропил – це зазор, що утворюється в деревині при розпилюванні за рахунок подрібнення її частини і видалення пилкою. Якщо процес пиляння не закінчений, у стовбурі можна виділити дно і бічні поверхні (стінки). Щоб формувати пропили, пильний інструмент повинен мати три робочих леза (по числу пропилів). На відміну від простого однолезвийного, відкритого різання при пилянні трилезовим різання є закритим.

У круглопилкових верстатах ріжучим інструментом є кругла пила. Різання деревини круглими пилами відбувається за рахунок втілення в неї зубів пилки, які руйнують міжклітинні зв'язки, зрізають деревину і видаляють тирсу з пропила. Ріжуча частина пильного інструменту характеризується кутовими і лінійними параметрами. Поверхня зуба A_γ (рис. 1.2), по якій при різанні сходять стружка, називається передньою; поверхню зуба A_α , звернена до дна пропилу, називається задньою. Бічні поверхні зуба називаються відповідно правою і лівою (щодо напрямку обертання пилки).

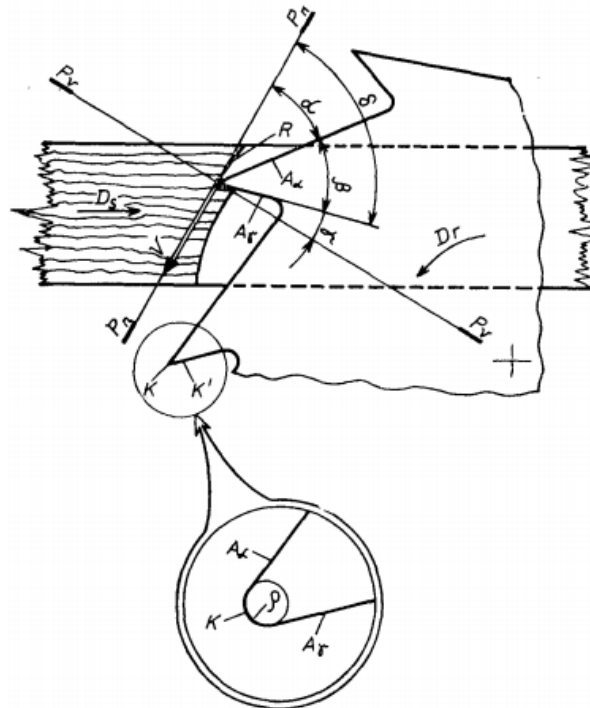


Рисунок 1.2. Кутові параметри пилки: кути: α – задній, β – загострення, γ – передній, δ – різання; площини: P_n – різання, P_γ – основна; поверхні: A_γ – передня, A_α – задня; рухи: D_r – головний; D_s – подачі; ρ – радіус зкруглення різальної кромки.

						СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

Поверхні зуба, взаємно перетинаючись, утворюють ріжучі кромки: короткі K і бічні K' . Перехід від передньої поверхні до задньої або бічних відбувається за деякими сполучаються кривим поверхонь (це добре помітно при розгляді зуба пилки під мікроскопом). Для спрощення справжні перехідні поверхні замінюють вписаними циліндричними поверхнями. Тоді в нормальному перетині контур кожного леза буде являти собою дугу кола радіуса ρ . Цей радіус називають радіусом округлення різальної крайки. При величині $\rho = 5 \dots 10$ мкм зуби пив вважаються дуже гострими, при радіусі округлення понад 60 мкм – тупими.

У процесі різання зуби пив врізаються в оброблюваний матеріал і ріжучими крайками зрізають його, перетворюючи в стружку (тирсу). Поверхня, по якій відбувається відділення стружки від заготовки, називають поверхнею різання R . Площина, дотична до поверхні різання в даній точці реж ущей кромки, називається площиною різання P_n . Площина P_v , перпендикулярна напрямку швидкості головного руху різання v , називається основною площиною.

Положення ріжучих поверхонь і ріжучих кромок зуба відносно площини різання характеризується геометричними параметрами ріжучої частини інструменту в процесі різання – робочими кутами. Основними робочими кутами є кут різання δ , передній γ і задній α .

Кутом різання β називають кут між площиною різання P_n і передньою поверхнею зуба A_γ . Переднім кутом γ називають кут між передньою поверхнею леза A_γ і основною площиною P_v . Заднім кутом α називають кут між задньою поверхнею леза A_α і площиною різання P_n .

Точне визначення положення поверхні різання і площини вимірювання робочих кутів викликає утруднення, тому геометричні параметри ріжучої частини зубів круглих пил, необхідні для експлуатації та заточування інструменту, призводять в статистиці, тобто без урахування рухів інструменту і заготовки в процесі різання.

Для виготовлення і контролю круглих пилок зручно застосовувати прямокутну систему координат, орієнтовану щодо геометричних елементів різального інструменту з початком координат в вершині зуба (рис. 1.3). Основна площина цієї інструментальної системи P_{vu} проходить через вершину зуба перпендикулярно напрямку швидкості головного руху різання v . Дотична інструментальна площина P_{tu} – це координатна площина, дотична до вершини зуба пилки і перпендикулярна основній площині. Контурна інструментальна площина P_{ku} – координатна площина, перпендикулярна лінії перетину основної площини і дотичної. Крім цих площин, іноді додатково використовують нормальну січну площину передньої поверхні P_{ny} (перетин Б-Б) і нормальну січну площину задньої поверхні P_{na} (перетин А-А).

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

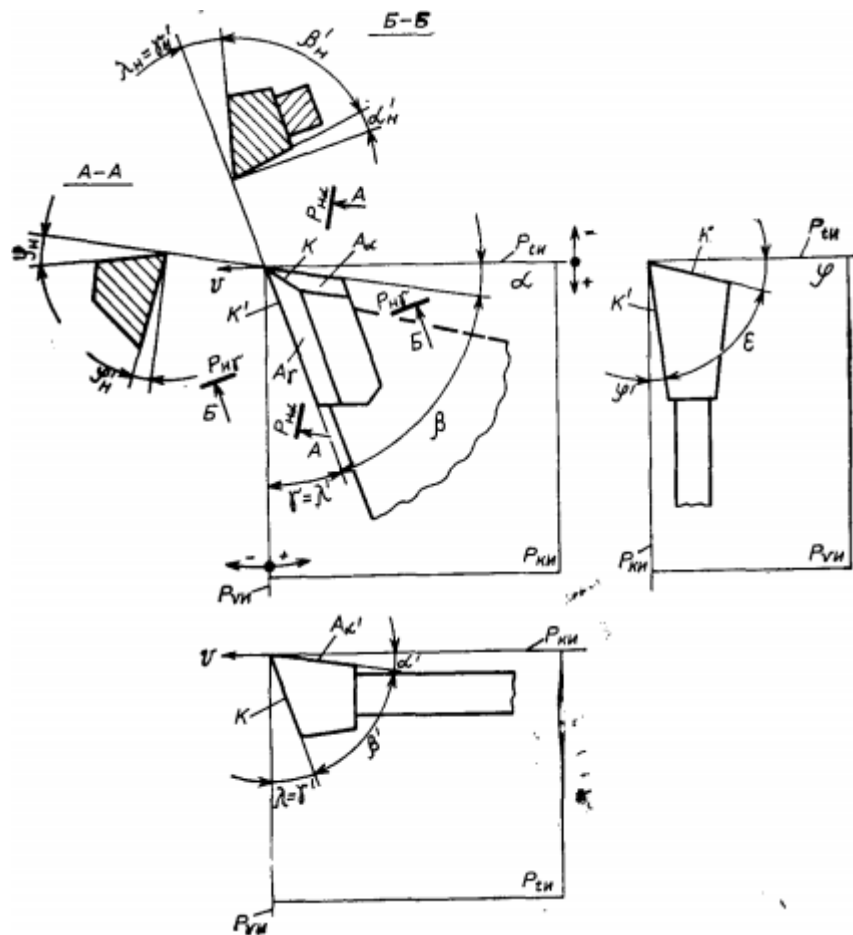


Рисунок 1.3. Координатні інструментальні площини для пильного ріжучого інструменту: $P_{ки}$ – контурна; $P_{ви}$ – основна; $P_{ти}$ – дотична

Для ріжучої кромки зуба K (коротка ріжуча кромка, яка при поздовжньому пилянні є головною різальною крайкою) в контурній площині $P_{ки}$ розрізняють контурні кути: задній кут α – кут між задньою поверхнею A_{α} і дотичною інструментальною площиною $P_{ти}$; кут загострення β – кут між передньою A_{γ} і задньої A_{α} поверхнями леза K ; передній кут γ – кут між передньою поверхнею леза K і інструментальною основною площиною $P_{ви}$.

Розрізняють передні і задні кути позитивні, якщо вони розташовані поза тілом зуба пилки, і негативні, якщо вони розташовані в тілі зуба пилки. Існує зв'язок між кутами γ , α , β : $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Положення короткої ріжучої кромки K може бути додатково задано кутами λ і φ .

Кут нахилу ріжучої кромки λ – це кут між ріжучою кромкою K або її проекцією на площину $P_{ти}$ і основний інструментальної площиною $P_{ви}$. Кут K вимірюється в площині $P_{ви}$.

Кут скосу ріжучої кромки φ – це кут між ріжучою кромкою K або її проекцією на основну інструментальну площину $P_{ви}$ і дотичній площиною $P_{ти}$. Кут φ вимірюється в основний площині $P_{ви}$.

Для бічних ріжучих крайок зубів пили розрізняють: задній кут α' (кут бічного зазору) – кут між бічною задньою поверхнею зуба $A_{\alpha'}$ і контурної площиною $P_{ки}$; кут загострення β' –

кут між передньою A_γ і бічною задньою поверхнею A_α ; передній кут γ' – кут між передньою поверхнею A_γ і основний інструментальної площиною. Кути α' , β' , γ' вимірюють в площині P_t або в перерізі, паралельному цій площині і проходить через дану точку бічної різальної крайки. Співвідношення між кутами α' , β' , γ' : $\alpha' + \beta' + \gamma' = 90^\circ$. 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 різальної крайки K' – це кут між бічною різальною кромкою K' або її проекцією на контурну площину P_{kn} і основною інструментальною площиною. Він вимірюється в контурній площині або перетині, паралельному контурної площині в даній точці.

Кут піднутрення φ' (допоміжний кут в плані) – це кут між бічною різальною кромкою K' або її проекцією на основну інструментальну площину P_{vi} контурної площиною P_{ki} . Кут φ' вимірюють в основній інструментальної площині P_{vi} або перетині, паралельному цій площині.

Кут при вершині зуба в плані ε – кут між проекціями короткою і бічний ріжучої кромки на основну інструментальну площину P_{vi} . Між кутами φ , ε , φ' існує залежність: $\varphi + \varepsilon + \varphi' = 90^\circ$. Для стандартних круглих пилок величини деяких кутів для короткої і бічний різальних крайок рівні $\gamma' = \lambda$; $\lambda' = \gamma$. Деякі кутові параметри для заточування і перевірки зручніше задавати в нормальних перетинах до короткої і бічний кромки зубів. Так задають кути косоного заточування по передній поверхні γ_n' і по задній φ_n . Участь в різанні декількох різальних крайок є характерною особливістю процесу пиляння.

Кутові параметри зуба характеризують взаємне положення його утворюють поверхонь з урахуванням кількості різальних крайок. Головними крайками зуба будуть ті кромки, які виконують основну функцію по перерізанню волокон деревини. При поздовжньому пилянні головну функцію по перерізанню волокон деревини виконує коротка ріжуча кромка зуба, отже, вона і буде головною. У пилок для поперечного пиляння головну функцію по перерізанню волокон деревини виконують бічні ріжучі кромки, отже, ці кромки і будуть головними.

Закритий характер різання при пилянні вимагає, щоб місткість западини між зубами пилки (див. рис. 1.2) була досить великою, а профіль її – сприяє найбільшому заповненню і ущільненню зрізаної стружки. Конструкцію западини і її працездатність оцінюють коефіцієнтом напруженості западини σ . За даними спеціальних досліджень, величина σ , при якій зберігаються нормальні умови роботи зуба в пропили, повинна бути не менше 0,5.

1.2.1. Кінематика пиляння круглими пилами.

Головний рух різання D_r при пилянні круглими пилами – це обертальний рух інструменту з частотою n (зазвичай від 1500 до 3000 хв⁻¹). Частоту обертання пилки зазвичай

						<i>СУ-71 6.151.001 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 , зазвичай прямолінійний рівномірний, при поздовжньому пилянні, як правило, надається заготовці. Швидкість руху подачі v_s у круглопилкових верстатів досягає 50 м/хв і більше. При поперечному пилянні рух подачі D_s здійснює або заготовка, або пила. Швидкість подачі є основною характеристикою продуктивності круглопилкових верстатів. Щоб судити про режим роботи пильного інструменту і про можливість його інтенсифікації, підвищенні якості пиляння, використовують поняття: подача на один оборот S_o і подача на один зуб S_z .

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

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

де S_o – подача на оборот, мм/об; v_s – швидкість подачі, м/хв; n – частота обертання пилки, хв⁻¹; 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:

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

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

Якщо головний рух різання D_r і подача D_s в місці контакту інструмента і заготовки спрямовані в протилежні сторони, такий випадок пиляння називають пилянням із зустрічною подачею. Якщо напрямки руху D_r і подачі D_s збігаються, такий випадок пиляння називають пилянням з попутним подачею.

У поздовжньому пилянні попутна подача майже не використовується, так як при ній можливе затягування деревини пилкою, що призводить до нерівномірного швидкості подачі, перевантаження двигунів механізмів різання і подачі. [3]

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						14
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попутна подача зазвичай застосовується при поперечному пилянні. Додавання двох одночасних рухів – головного D_r і подачі D_s призводить до результуючому руху різання D_ϵ і до циклоїдальних траєкторії різання при пилянні круглою пилою.

Додавання швидкості головного руху різання v і подачі v_s призводить до швидкості результуючого руху різання v_ϵ .

Зважаючи на крихту величини v_s в порівнянні з v (для $v = 50$ м/с і $v_s = 30$ м/хв = 0,5 м/с відношення $v/v_s = 0,01$) відмінність між істинною траєкторією різання (циклоїдою) і окружністю різання невелика, тому циклоиду замінюють окружністю, а швидкість результуючого руху різання v_ϵ приймають рівною швидкості головного двіжжя різання v , тобто $v_\epsilon \approx v$, допускаючи при цьому лише незначну похибку.

При пилянні круглими пилами кожен зуб пилки в процесі різання зрізає певний шар деревини, який в процесі різання сильно деформується, розпадається на окремі елементи (перетворюється в тирсу). Таким чином, що зрізається шар – це частина матеріалу, обмежена поверхнями різання від двох сусідніх зубів, яка буде зрізана одним зубом.

Основна функція зубів при пилянні деревини круглими пилами - перерізання волокон. Найкращі умови для перерізання волокон мають ті ріжучі кромки (леза), які розташовані перпендикулярно до волокон. При поздовжньому пилянні волокна перерізає головна (коротка) ріжуча кромка, а бічні ріжучі кромки формують бічні стінки пропилу. При поперечному пилянні волокна перерізають бічні ріжучі кромки, ці ж ріжучі кромки формують і бічні стінки пропилу, а коротка (похила) кромка формує дно пропилу.

Таким чином, при пилянні теоретично кожен зуб може залишати ризик на поверхні пропилу, причому відстань між цими ризиками зумовлюється кінематикою процесу пиляння і способом підготовки зубів пили.

Геометрія поверхні пропилу складається під впливом кількох чинників процесу: якості підготовки зубів пилки, режиму пиляння, стійкості плоскої форми пилкового диска під час роботи, поперечних коливань диска, вібрації заготовки та ін.

Шорсткість пильної поверхні переважно визначається глибиною рисок, що залишаються зубами пил. При пилянні круглими пилами найбільшу глибину мають ризики в тому місці, де найбільша ширина зрізу. Для зустрічного пиляння це спостерігається у тій поверхні заготовки, де зуби пилки виходять з пропила, а для попутного пиляння, де зуби пилки входять в пропил.

Зі збільшенням затуплення круглих пилок глибина нерівностей також збільшується за рахунок появи нерівностей руйнування, так як тупі зуби гірше перерізають волокна деревини.

Експериментальні дослідження показують, що збільшення радіусу округлення різальних крайок з 20 до 100 мкм призводить до збільшення нерівностей пильної поверхні в середньому в 2 рази.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

У виробничих умовах максимальну глибину кінематичних нерівностей можна розрахувати за формулою

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

Користуючись формулою (4), можна по відомій подачі S_0 або S_z , типу зубів і розі виходу визначити максимальну висоту нерівностей або вирішити зворотну задачу – визначити допустиму швидкість подачі по заданій шорсткості.

При пилянні пилами з пластинками твердого сплаву рекомендована величина подачі S_z) мм/зуб, визначається видом оброблюваного матеріалу.

1.2.2. Розрахунок сил і потужності пиляння.

При пилянні витрачається певна кількість енергії.

Частина цієї енергії витрачається на зрізання стружки і подолання сил тертя в процесі різання, а частина на подолання тертя і опорів, що виникають в робочих вузлах верстата і приводу. Кількість енергії, що витрачається на пиляння круглими пилами, залежить від багатьох чинників.

Важливою енергетичною характеристикою процесу пиляння є потужність пиляння P . Для круглопилкових верстатів ця потужність на пиляльному валу. В процесі впровадження зубів пилки в деревину виникає сила взаємодії між пилою і деревиною F (Ріс. 4). Цю силу називають силою різання. Зазвичай силу різання зручніше представляти не у вигляді одного вектора F , а у вигляді двох його складових: дотичної F_k і нормальної F_n , причому складова F_n може бути відтискаючою $|+F_n|$ або зтягуючою $|-F_n|$. За абсолютною величиною

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

Вектор F можна розкласти і на сили F_1 і F_2 , які діють у напрямку подачі і нормально до неї, тобто сили, які протидіють подачі і притиску заготовки.

У практиці розрахунків сил і потужності пиляння застосовують різні методи. Аналітичні формули для розрахунку сил різання будуються за законами механіки і опору матеріалів з урахуванням реальних характеристик оброблюваних матеріалів. Даний метод не знайшов широкого поширення через складність отримання необхідних вихідних характеристик оброблюваного матеріалу і деяких параметрів процесу різання.

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

					<i>СУ-71 6.151.001 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 заключає в тому, що для розрахунків застосовуються нормовані сили.

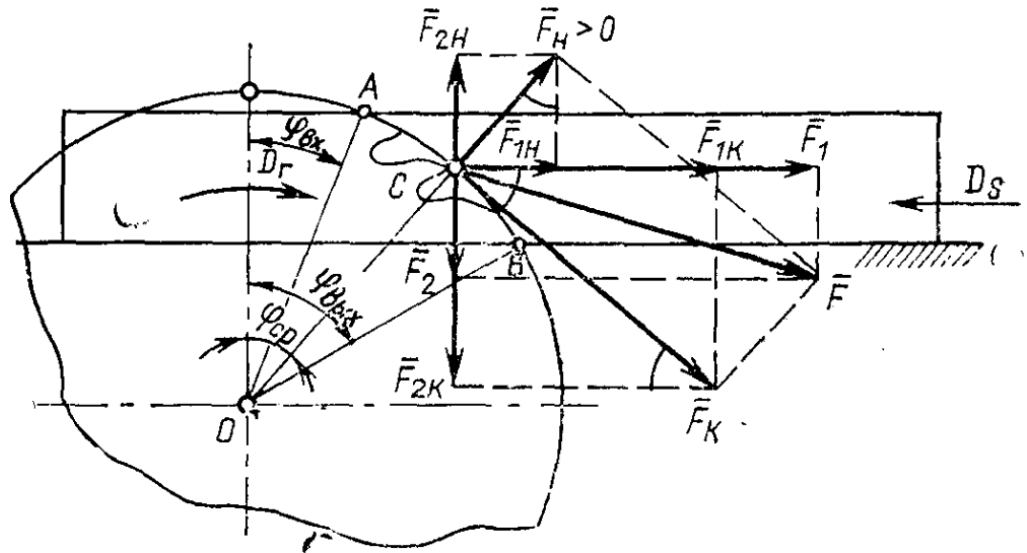


Рисунок 1.4. Сили за подачею і нормально до подачі

Ці сили отримані при певних фіксованих умовах експериментів і віднесені до одиниці ширини зрізу. Їх величини зазвичай представляють у вигляді графіків або таблиць, тому ці сили називають «табличними».

Табличні сили мають певними ознаками: вони умовно-постійні за час зрізання однієї стружки, перераховані на 1 мм ширини зрізаного шару; дійсні для цілком певних «табличних» умов різання.

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 пилянні круглими пилами табличні умови такі: розпилюється суха сосна, кут зустрічі $\varphi_B = 60^\circ$, ширина зрізаного шару $B = 1$ мм, висота пропилу $H = 60$ мм, швидкість обертання зубів пилки $v = 40$ м/с, передній кут $\gamma = 30^\circ$, зуби гострі.

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

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{п}} a_{\omega} a_{\varphi} a_{\text{н}} a_{\nu} a_{\gamma} a_{\rho}, \quad (7)$$

де $a_{\text{н}}$ – поправка на породу деревини; a_{ω} – поправка на вологість деревини, вибирають в таблиці по заданому значенню вологості ω ; a_{φ} – поправка на кут зустрічі зуба пилки з волокнами деревини, знаходять по таблиці для відповідного кута зустрічі зуба пилки з волокнами деревини; $a_{\text{н}}$ – поправка на висоту пропила, вибирається по таблиці для заданого значення висоти пропила h ; a_{ν} – поправка на швидкість різання, знаходять в таблиці для швидкості ν , обчисленої за формулою (1); a_{γ} – поправка на передній кут, визначається по заданому значенню переднього кута γ і кута зустрічі φ_B по таблиці; a_{ρ} – 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 $z_{\text{реж}} = z (\varphi_{\text{ввх}} - \varphi_{\text{вх}}) / 360^\circ$, де кути $\varphi_{\text{вх}}$ і $\varphi_{\text{ввх}}$ визначають за відповідними формулами в залежності від типу круглопилкового верстата.

3. Визначають нормальну складову F_n загальної сили різання

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

де m_{γ} – доданок, що враховує величину переднього кута; m_{ρ} – доданок, що враховує гостроту інструменту і еквівалентну товщину шару, що зрізається $a_{\rho} = S_z \sin \varphi_{cp} B_{np} / B$, 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 заготівлю від центру пили.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						18
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 η – 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

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

Вологість деревини і затуплення зубів пили, а також перехідний множник m вибирають по таблиці. Множник m вибирають в залежності від переднього кута γ і часу роботи інструменту T . [4]

1.2.3. Вибір режимів роботи круглопилкових верстатів.

Під режимом в техніці розуміють сукупність параметрів процесу в певному інтервалі часу. Режим різання як сукупність умов протікання процесу характеризується геометричними (формою пилки, типом профілю, числом зубів, гостротою) і стойкісними (матеріалом, граничної зносостійкість зубів пили) параметрами інструменту, взаємної орієнтацією інструменту і заготовки (поздовжнє або поперечне пиляння, зустрічне або попутне, верхнє або нижнє розташування пив) і параметрами кінематики процесу (швидкістю головного руху різання і подачі).

Процес поділу матеріалу на круглопилкових верстатах має на меті одержання продукту праці (деталі, заготовки) із заданими властивостями і якістю (точністю форми і розмірів, заданої шорсткістю поверхонь). Тому режим пиляння повинен базуватися на фізико-технологічних можливостях процесу, встановлюються теорією і досвідом. У виробництві завжди важливо, якою ціною досягнуто необхідний рівень властивостей продукту, у що обійшлася технологічна операція, тобто режим пиляння повинен бути економічно оптимальний.

Оптимальним (найкращим) вважається режим, при якому досягається оптимальне поєднання параметрів різання. Розробку таких режимів називають оптимізацією. Призначення режимів обробки на круглопилкових верстатах в конкретних виробничих умовах полягає у

					СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
						19
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначенні розрахунковим шляхом зони технологічно можливих режимів різання і вибору в цій зоні параметрів режиму, відповідних найбільш високої продуктивності верстата. Такі режими прийнято називати технологічними. Точне дотримання технологічних режимів, незважаючи на їх недостатню економічну обґрунтованість, дає відчутний техніко-економічний ефект, гарантує отримання продукції необхідної якості.

Таким чином, в вибір режиму входять: правильний вибір пильного інструменту для відповідних конкретних умов роботи круглопильного верстата; обґрунтоване призначення швидкостей різання (головного руху) і подачі.

1.2.4. Вибір різального інструменту.

Діючі ДСТУ, нормалізує обмін речовин і технічні умови на інструменти закладені поєднання геометричних параметрів, найбільш повно задовольняють вимогам процесу різання. Практично задача вибору і підтримки параметрів інструментів в процесі різання зводиться до суворого виконання вимог стандартів, керівних матеріалів і інструкцій по експлуатації інструментів, для чого необхідно безперервне вдосконалення інструментального господарства підприємства.

1.2.5. Вибір швидкості головного руху різання.

Швидкість головного руху різання (частота обертання пильного шпинделя) на круглопилкових верстатах зазвичай не регулюється, хоча цей фактор впливає на продуктивність процесу, стійкість інструменту, собівартість обробки. Для круглопилкових верстатів діапазон рекомендованих швидкостей для поздовжнього пиляння плоскими круглими пилами 40-60 м/с, поперечного 40-70 м/с; при пилянні деревостружкових плит пилами, оснащеними пластинками твердого сплаву, 50-80 м/с. Однак прагнути до верхньої межі не слід, так як збільшення швидкості призводить до збільшення частоти обертання інструменту і підвищення шуму. Тому до зміни швидкості головного руху при модернізації круглопилкових верстатів можна приступати тільки в обґрунтованих випадках.

1.2.6. Вибір швидкості подачі.

Це найважливіший параметр режиму різання. Вибір її величини полягає в наступному. При виборі швидкості подачі круглопильного верстата необхідно одночасно враховувати гранично допустиму завантаження головного двигуна верстата, задану шорсткість поверхні

					СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		20

пропилу і працездатність інструменту. Визначивши швидкість подачі, виходячи з кожного умови окремо, для реалізації вибирають найменшу з них.

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

1. Визначають табличну силу F_T за формулою

$$F_T = P_z \eta / (v_{z \text{ реж}} B \alpha_{\text{нопр}}), \quad (10)$$

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

2. За F_T в таблиці знаходять α_ε .

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

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

5. Визначають швидкість подачі V за формулою

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

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

1. Розрахунок за кінематичними нерівностями проводять за формулою

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

де $y_{\text{max}} = R_{m \text{ max}}$; 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

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

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; σ_{min} – коефіцієнт напруженості западини, для стійкої роботи круглих пилок цей коефіцієнт приймають рівним: для поздовжнього пиляння $\sigma_{\text{min}} = 2 \dots 3$ і для поперечного пиляння $\sigma_{\text{min}} = 20 \dots 30$.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

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

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва його механізація і автоматизація є основою подальшого технічного прогресу. Вони спрямовані на вирішення однієї задачі – заміни праці людини роботою машин і пристроїв.

Механізація – це заміна ручної праці машинною. Машина, що замінює праця людини, називається робочою машиною. Робота такої машини замінює мускульну силу людини. Але при роботі даної машини людина не може відходити від неї, тому що повинен безперервно виконувати багато допоміжних дій. Продуктивність робочої машини найчастіше обмежується фізичними можливостями людини.

Неавтоматизована робоча машина має тільки механізми робочих ходів. Все холості ходи (завантаження заготовок, зажим) виконує людина. При цьому всі виробничі процеси будуються з спільної роботи людини і машини. Людина сама вибирає і здійснює послідовність (програму) обробки.

Автоматизація – це вищий щабель розвитку машинного виробництва, при якій людина звільняється не тільки від фізичної праці, але і від оперативного управління механізмами, які виконують виробничий процес. Людина звільнений від безперервного обслуговування автоматичної машини і може відійти від неї, так як вона самостійно регулює свою роботу. Продуктивність такої машини може бути дуже високою, так як вона не обмежується фізичними можливостями людини.

Автоматична машина, або автомат, - це самоврядна робоча машина (верстат), яка виконує всі робочі і холості ходи обробки. Під час робочого ходу проводиться безпосередньо обробка заготовок (пиляння, свердління, фрезерування), під час холостого ходу – допоміжні рухи для підготовки робочих ходів (завантаження і затиск заготовок, підведення і відведення інструменту)

При автоматизації всі функції управління виробничим процесом, тобто вмикання і вимикання окремих механізмів, зміна порядку роботи робочих органів, виконуються спеціальними пристроями. Такі пристрої без втручання людини можуть самі підтримувати в заданих межах температуру, вологість і інші технологічні параметри.

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

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						22
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

В сучасних умовах завдання автоматизації досить широкі. Автоматизація охоплює всі ланки виробничого процесу, в тому числі і вантажно-розвантажувальні роботи, міжстаночное транспортування і контроль готових деталей. Отримують застосування конвеєри з автоматичним адресуванням.

При автоматизації виробництва необхідно розробляти принципово нові конструкції виробів, що дозволяють докорінно удосконалити технологічні прийоми їх виготовлення. При широкої автоматизації конструкція виробляється вироби повинна відповідати вимогам високо механізованого виробництва.

Ефективність автоматизації залежить від особливості організації виробничого процесу або ступеня його поточності (безперервності).

Потокову виробництва – необхідна умова для його автоматизації. Основою поточного виробництва є потокова лінія – система (набір) обладнання або робочих місць, спеціалізованих на виконанні однотипних операцій, розташованих по ходу технологічного процесу. Будь-яка потокова лінія характеризується прямопоточних.

За ступенем автоматизації лінії деревообробних верстатів підрозділяються на неавтоматичні, автоматичні і напівавтоматичні.

Неавтоматична лінія складається з верстатів, встановлених в порядку виконання технологічного процесу. Кожен верстат обслуговується індивідуально робочими-верстатникам. Вони подають заготовки у верстат і приймають з верстата оброблені деталі. Оброблювані деталі з одного верстата на інший передаються за допомогою найпростіших (неавтоматических) транспортних пристроїв або вручну робітниками. Таку лінію іноді називають механізованої або поточною.

Автоматична лінія – це система верстатів, встановлених в порядку виконання технологічного процесу і об'єднаних засобами транспортування і управління, так що обробка заготовок і пересування їх від верстата до верстата відбувається автоматично, тобто без участі робітників. Заготовки в перший верстат завантажуються завантажувальним пристроєм з початкового накопичувача. Готові деталі з останнього верстата видаляються розвантажувальним пристосуванням в кінцевий накопичувач.

Напівавтоматична лінія по мірі автоматизації займає проміжне місце між автоматичною лінією і неавтоматической. У такій лінії одні операції автоматизовані, а інші виконуються робітниками-операторами. В одних лініях робітники-оператори здійснюють кінцеві або завантажувально-розвантажувальні операції, в інших ці операції автоматизовано і робітники-оператори виконують проміжні операції. Так як в лінії деякі операції здійснюються людиною, то її називають автоматизованої.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Автоматизоване виробництво володіє багатьма важливими перевагами перед неавтоматизованим.

Продуктивність технологічного обладнання при автоматизації виробництва значно збільшується. Це стає можливим за рахунок застосування безперервних потоків, підвищення швидкостей обробки і прискорення переходу з однієї операції на іншу. Автоматизоване технологічне обладнання працює при постійному і найбільш сприятливого режиму, так як воно самостійно забезпечує нормальний хід процесу. Це знижує знос устаткування і запобігає можливість поломок і аварій.

Автоматичний пристрій може контролювати і управляти виробничим процесом краще, ніж людина, з набагато більшою точністю, швидкістю і безпомилково. Воно забезпечує рівний ритм роботи всіх машин і верстатів, що входять в лінію. Продуктивність технологічного обладнання набагато збільшується.

Продуктивність праці при автоматизації різко підвищується за рахунок підвищення продуктивності технологічного устаткування, а також скорочення кількості обслуговуючого персоналу.

Суворе дотримання режиму роботи обладнання та об'єктивність автоматичного контролю сприяють значному підвищенню якості продукції, що випускається. Якість продукції стає не тільки більш високим, але і рівномірним, або однаковим.

Автоматизація дозволяє значно прискорити або інтенсифікувати весь хід процесу і застосувати нові технологічні прийоми виготовлення продукції. За рахунок інтенсифікації процесу і більш раціонального розташування обладнання зростає випуск продукції з одиниці площі виробничих площ.

В кінцевому рахунку, автоматизація забезпечує значне зниження собівартості продукції, що виготовляється.

Автоматизація підвищує безпеку роботи і різко покращує умови праці. Вона звільняє людину від одноманітної і важкої роботи. Робочий на автоматизованому ділянці спостерігає за ходом процесу на значній відстані. Завдяки цьому зменшується можливість травматизму від рухомих частин машини, усувається шкідливий вплив високої температури, парів лакофарбових матеріалів, деревного пилу і інших шкідливих речовин. Автоматичний механізм може успішно працювати в таких умовах, які не виносить людський організм. Поліпшення санітарно-гігієнічних умов зменшує стомлюваність робітників-операторів.

У більшості випадків метою автоматизації є підвищення рентабельності виробництва або отримання більшої кількості виробів при одночасному зменшенні витрат на виготовлення кожного виробу.

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

						<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			24

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

Для ефективного впровадження комплексної автоматизації повинні бути створені певні умови. Найважливішими з них є: спеціалізація виробництва, раціональність технології, а також технологічність конструкції виробів, які виробляються

Визначимо функціональні завдання проектування для описаної системи – деревообробного верстату.

Функціональні завдання автоматизації АСУТП обробки деревини включають наступні:

1. Управління швидкістю руху валу рейсмуса та циркулярної пили;
2. Контроль температури та охолодження в разі потреби головного двигуна станка;
3. Забезпечення функції аварійного зупину станка у випадку потрапляння м'яких об'єктів на різучі кромки;
4. Забезпечення механізму автоматичної подачі заготовки кареткою циркулярної пили.

1.4. Аналітичний огляд відомих систем управління круглопилних прирізних деревообробних верстатів

В рамках розділу 1.1 наведено конструктивні характеристики верстату ЦДК5. Проведемо огляд ще декількох його «колег».

1.4.1. Установа колодопильна круглопильна УБК-2

Установа УБК-2 використовується для поздовжнього розкрою колод діаметром від 14 до 36 см, з метою отримання двухкантих брусків з подальшою розпилюванням їх на багатошпіндельних круглопилковому верстаті. Має дві пилки з діаметром Ø900 мм. Швидкість подачі верстата до 40 м/хв. Технічні характеристики верстата наведені в табл. 1.2. На рис. 1.5 зображено верстат УБК-2.



Рисунок 1.5 – Установа УБК-2

					СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		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 ³ /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

Установка стаціонарна круглопильна моделі УСК-1 використовується для поздовжнього розпилювання колод діаметром від 10 до 40 см, на дошки і бруси. На рис. 1.6 зображений верстат УСК-1. Технічні характеристики верстата наведені в табл. 1.3.



Рисунок 1.6 – Верстат УСК-1

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

На верстаті встановлено 2 пилки: верхня – Ø500 мм, з частотою обертання 1902 об/хв; нижня – Ø630 мм або Ø500 мм, з частотою обертання 1500 об/хв. В результаті обробки колоди на даному верстаті отримуємо дошки з найменшою товщиною 16 мм, і бруси з найбільшою 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 ³ /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. Круглопилний верстат LAIMET-120

Laimet-120 – це перший верстат, випущений компанією Laitilan Metallilaine Oy, і з початку випуску цього верстата до теперішнього часу став найбільш продаваним з усіх вироблених Laimet. Цей верстат є номером один з продажу в Україні серед імпортованих аналогів даного класу верстатів, набагато обігнавши всіх конкурентів разом узятих.

						СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
							27
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 1.7 – Верстат Laimet-120

1.4.4. Верстат Kara master

Верстат є дуже універсальним, з високим ступенем автоматизації, саме тому даний верстат легко інтегрується в лісопильні потоки будь-яких типів, а також є відмінним головним обладнанням для лісопильних цехів. Kara Master забезпечує високу якість пиломатеріалів і високу продуктивність, що грає вирішальну роль в умовах жорсткої конкуренції на ринку пиломатеріалів. Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.5.

Верстати Kara Master можуть виконуватися двох типів:

Стационарними (встановлюються на бетонний фундамент), на рис. 1.8;

Пересувними (з окремим приводом від трактора або окремого дизельного двигуна).

На бревнопильних верстатах KARA є можливість змінювати висоту пропила від 300 до 600 мм, саме тому верстати цієї марки можуть розпилювати колоди з діаметром до 60 см. Верстат, оснащений додатковими пристосуваннями, можна використовувати окремо, щоб отримувати чистообрізний пиломатеріали.

В такому випадку, продуктивність становитиме 15-18 м³ обрізного пиломатеріалу за одну 8-годинну зміну. У складі лісопильних ліній при використанні верстата Kara Master в якості головного бревнопильний обладнання продуктивність становить 25-30 м³ обрізного пиломатеріалу за 8 годин на одиницю обладнання. Таке варіювання продуктивності визначається застосуванням різних опцій верстата.



Рисунок 1.8 – Верстат Kara Master

						<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

На даному верстаті є можливість використання широкого набору гідравлічних пристосувань, які призначені для:

- базування колоди перед його розпилюванням на робочому столі;
- подачі колоди безпосередньо на бревнопильний верстат,
- фіксації колоди.

Все це дозволяє в процесі розпилювання справлятися всього одному оператору, навіть якщо розпилюється дуже великий пиловник.

Таблиця 1.5 – Технічні дані верстата Кара 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
заточної станок (0,55кВт), об/хв.	3000
верхній пильний диск (1кВт), об/хв	1500

1.5. Висновки. Постановка задач проектування

В рамках даного розділу проведено опис конструктивно-технічних особливостей круглопильно-прирізного верстату ЦДК5. Описано основні агрегати та компоненти заводського виробу.

Далі наведено відомості відносно способів розрахунку енергетичних режимів роботи електроприводів та систем верстату. Обрано основні режими різання деревини за онакою найбільшої енергоефективності.

У підрозділі 1.3 викладено основні види задач автоматизації для деревообробних верстатів, зокрема, круглопильних, а також перелічено обрані нами в якості завдань автоматизації, пункти.

Також виконано аналітичний огляд існуючих автоматичних та напівавтоматичних систем прирізно-розпиловочних верстатів. На основі викладеного можемо зробити висновок, що найбільш «цікавим» за комбінацією параметрів є саме круглопильно-прирізний верстат ЦДК5. Тому його і обрано в якості основи для автоматизації в даному проекті.

На підставі вищевикладеного поставимо наступні задачі проектування, що належать вирішенню в рамках проекту.

Задача 1. Розробити локальну систему управління електропривода пиляльних дисків.

Задача 2. Розробити локальну систему управління електропривода подачі заготовок.

Задача 3. Розробити локальну систему управління відведенням стружки з зони різання;

Задача 4. Розробити локальну систему управління аварійним зупином пильних валів;

Задача 5. Розробити функціональну схему автоматизації верстату.

Задача 6. Розробити комп'ютерно-інтегровану систему управління верстатом

Задача 7. Розглянути питання охорони праці при експлуатації верстату.

Для подальшого проектування у кресленнях проекту наведено, кінематичну схему розроблюваного верстату та схему інформаційно-матеріальних потоків для нього.

Можемо вважати цілі даного розділу досягнутими.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВЕРСТАТУ

2.1. Опис функціональної схеми. Елементний склад

На рис. 2.1 представлено функціональну схему автоматизації круглопильно-фугувального верстату, що є розширенням можливостей верстату ЦДК5 (див додаток В).

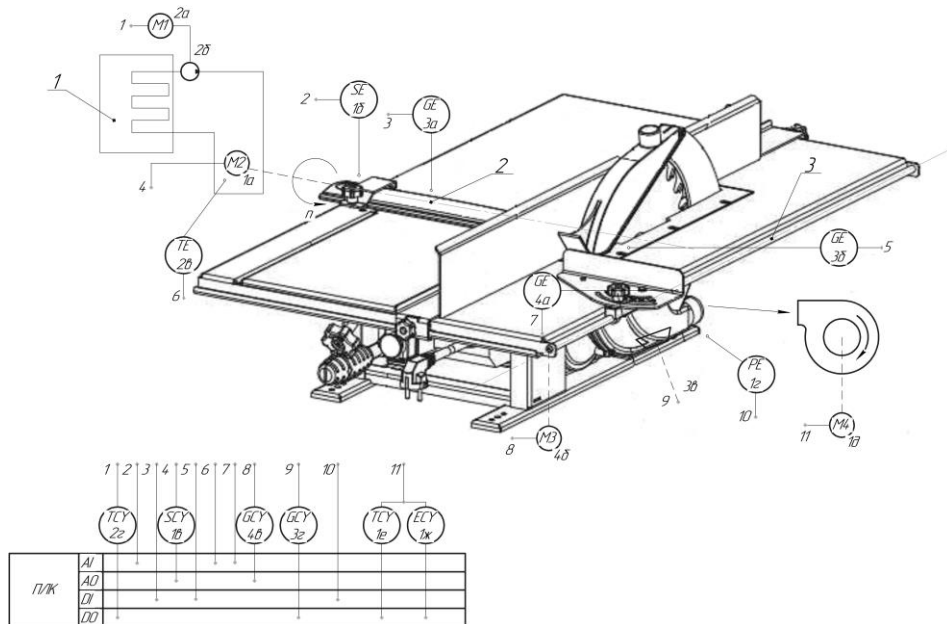


Рисунок 2.1 – Функційна схема автоматизації круглопильного деревообробного верстату.

Легкооброблюваність деревини та вимоги високої якості до одержуваної поверхні обумовлюють застосування високих швидкостей подачі і різання. Частоти обертання інструменту досить високі (до $30\ 000\ \text{хв}^{-1}$), швидкості подачі досягають $120\ \text{м/хв}$ (обрізні верстати) і більше. Задані швидкості потребують точності управління. Точність забезпечується підбором правильного двигуна, що має необхідні властивості, а також забезпеченням йому необхідних умов функціонування.

ПЛК через перетворювач частоти керує обертами асинхронного двигуна головного руху валів верстату. В залежності від навантаження на двигун може бути обраний той або інший швидкісний режим. Якщо ПЛК формує сигнал аварійного зупину валів верстату, двигун вимикається автоматично.

Для того, щоб головний двигун не перегрівався під час роботи застосовується система примусового охолодження двигуна. Через магнітний пускач ПЛК запускає насос охолодження, який прокачує охолоджувальну рідину через змійовик, оплетений довкола корпусу двигуна головного руху. Температура двигуна вимірюється давачем і при досягненні

певної температури (наприклад, 45°C) вмикається система примусового охолодження, при зменшенні температури до рівня 25°C – охолодження вимикається.

Для забезпечення автоматичної подачі деревини на вал циркулярної пили реалізовано систему автоматичної подачі. Швидкість подачі задається оператором у інтерфейсі SCADA-системи в залежності від типу оброблюваної деревини та товщини заготовки. Там же може бути задано швидкість обертання пили.

Через драйвер крокового двигуна ПЛК здійснює управління кроковим двигуном, який через зубчасту рейку рухає механізм каретки по направляючому валу. Положення каретки визначається оптичним давачем положення. При досягненні дальнього положення подача струму на кроковий двигун зупиняється.

Для убезпечення роботи оператора розроблено підсистему автоматичного зупину пильних валів верстату. Вона утворюється готовою системою безпечного аварійного зупину пильного диска циркулярної пили SawStop-AIM від німецького виробника Festool. Технологія полягає в тому, що ємнісний давач зчитує струм утечки на пильному диску. У випадку наявності паразитного струму на металічній основі диска, спрацьовує *картридж аварійного зупину KT-TKS 80*: спеціальний бойок заганяє під дією попередньо сильно стиснутої пружини алюмінієвий блок в обертний пильний диск.

Тільки в одній Німеччині щорічно реєструються понад 4000 випадків виробничих травм при роботі з циркулярним пилами. Майже 26% важких нещасних випадків призводять до інвалідності внаслідок трудового каліцтва (Статистика Головного об'єднання німецького державного страхування від нещасних випадків DGUV «Виробничий травматизм в 2017 р.»). При роботі монтажною дисковою пилкою з технологією безпечної аварійної зупинки у випадку контакту зі шкірою знижується небезпека важких травм кистей рук. Оператор отримує можливість концентруватись на своїй роботі, а дана технологія – на захисті його рук.

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

Розглянемо функціональну схему з рис. 2.1.

Через магнітний пускач 2г ПЛК з'єднується з двигуном М1. Видаючи імпульс на ввімкнення пускача, він спрямовує електричний струм на вхід двигуна постійного струму. Двигун, будучи ввімкненим, починає обертати вал крильчатки насосу (2б) охолодження головного двигуна, яки з'єднано з мотором механічно.

Головний двигун М2 зєднано з ПЛК через перетворювач частоти 1в. Видаючи імпульс певного рівня, він змінює частоту електричного струму, який передається від перетворювача

					СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
						33
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1в на вхід асинхронного двигуна 1а, від чого змінюється корисна швидкість обертання двигуна.

Давач температури 2в, який під'єднується до аналогового входу контролера передає інформацію (у вигляді аналогового сигналу 4...20 мА) про температуру головного двигуна. При досягненні певної температури корпусом двигуна, що свідчить про початок перегріву, запускається двигун М1 (механізм описано вище), який прокачує охолоджувальну рідину через змійовик, що його обвито довкруги головного двигуна. Нагріта рідина охолоджується натуральним чином у охолоджувальному бакові 1. При досягненні корпусу двигуна критичної температури, подача електричного струму на двигун М2 вимикається для забезпечення справності головного двигуна

Крутний момент від валу головного двигуна через редуктор (механічний зв'язок; на схемі не позначено, проте мається на увазі) подається на пильні вали. В якості пильних валів виступають фуганковий вал та вал циркулярної пили. При цьому швидкість обертання ріжучих кромки ножа фуганку дещо нижча, ніж швидкість обертання ріжучих частин циркулярної пили (через різницю діаметрів валів).

Аналоговий давач швидкості обертання 1б валу фуганку 2, також, видаючи сигнал у вигляді аналогової петлі 4...20 мА, через аналоговий вхід інформує оператора про швидкість руху валів. Це допомагає визначити та встановити необхідний швидкісний режим для головного двигуна. Давач передає швидкість обертання не тільки холостого ходу, а й валів під навантаженням, що допомагає зрозуміти рівень просадки обертів (а тобто, силу навантаження двигуна) при пиління/строганні. Через те, що відома різниця між діаметрами валу фуганку та пили, можна встановити також швидкість руху циркулярної пили та вивести цю інформацію на панель оператора.

Обидва технологічні агрегати (фуганок та циркулярна пила генерують значну кількість деревного пилу під час своєї роботи, у системі передбачено стружковідсмоктувач. Під час роботи верстату він вмикається автоматично та, спрямовуючи повітряні потоки подалі від зони збору стружки, відсмоктує її з робочої поверхні агрегатів. Вали крильчатки відсмоктувача також механічно з'єднано з двигуном М4 (1д). Він електрично з'єднаний з магнітним пускачем (1е, 1ж), який, отримуючи сигнал з дискретного виходу ПЛК, замикає контакти, чим здійснює запуск двигуна насоса. Давач розрідження 1г на виході патрубка стружковідведення верстату через аналоговий вхід сповіщає ПЛК про забитість входу для стружки, що дозволяє оператору вчасно зупинити верстат та вдяти заходів по відновленню безпечного функціонування верстату.

Деревообробне обладнання є доволі травмонебезпечним для оператора. Ріжучі вали спроможні обертатися зі швидкістю порядку 30 тис обертів у хв. Через це необхідним видалося встановлення автоматичного пневматичного тормозу 3в, який вмикається від сигналу з

цифрового виходу ПЛК через магнітний пускач 3г. Цей сигнал формується у відповідь на отримання електричного сигналу від датчиків наявності шкіри (3а, 3б) на валах агрегатів на цифрові входи ПЛК. Тормоз дозволяє, щонайменше, зменшити шкоду, що може бути завдана операторові пильними валами.

Ще одним важливим вмінням деревообробного верстату є автоматична подача заготовки на циркулярну пилу (фуганок спроможний здійснювати подачу сам собі). Зчитуючи через аналоговий вхід інформацію від датчика положення 4а каретки подачі, ПЛК може, передаючи сигнали на драйвер крокового двигуна 4в, керувати переміщенням двигуна МЗ (4б). Частотою імпульсів регулюється швидкість руху двигуна, яка за допомогою механічного зв'язку (гвинтової пари) рухає каретку подачі заготовки на циркулярну пилу.

2.3. Висновки

Таким чином нами було описано розроблену для виконання поставлених завдань автоматизації функціональну схему автоматизації. Ця схема позначає концепцію розробленої системи та буде використана в наступних розділах для побудови проекту системи автоматизації у більших деталях.

Описано контури регулювання технологічних параметрів та принципи (а також, канали) взаємодії між елементами системи, та принципи формування вхідних та вихідних параметрів.

Розроблена концепція дозволяє виконувати поставлені задачі, а також, робити це енергоефективним чином, тож вважаємо її достатньою основою для виконання завдань проектування.

					<i>СУ-71 6.151.001 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

Приводні характеристики виробничих машин – технологічні, кінематичні, енергетичні, механічні, навантажувальні, інерційні. Ці характеристики необхідні як при експлуатації електропривода – для створення енергоефективних і надійних режимів роботи, так і при проектуванні раціонального електроприводу. Технологічні характеристики зображують у вигляді технологічних схем і технологічних завдань.

Ці характеристики визначають вимоги до електроприводу з боку якості продукції (допустимі коливання швидкості, питомі витрати енергії, необхідність регулювання режимів роботи і досяжні рівні, необхідність автоматизації і її ступінь) і умови роботи електроприводу в залежності від характеру навколишнього середовища, роду приміщення (сухе, сухе неопалюване, сире, пожежонебезпечна, вибухонебезпечна).

Кінематичні характеристики дають уявлення про траєкторії і швидкостях руху всіх елементів машини, а також про шляхи розподілу енергетичного потоку від двигуна до робочого органу. Зображуються вони у вигляді кінематичних схем (див додаток А). Такі схеми дають можливість: оцінити кількість передавальних пристроїв, їх ккд; побачити швидкості обертання окремих складових; правильно вибрати частоту обертання приводного двигуна і прийняти рішення про необхідність її регулювати.

Енергетичні характеристики показують загальний (кВт-год) і питома (кВт-год на одиницю продукції) витрата електричної енергії на виконання технологічного процесу, а також розподіл енергії між окремими вузлами машини. Також наводяться відомості за коефіцієнтами корисної дії окремих вузлів і коефіцієнту потужності споживаної електроенергії.

Механічні характеристики визначають залежність сталої швидкості машини від моменту сил опору. Вони можуть бути зображені графічно або описані аналітично (рис. 3.1). Механічні характеристики використовуються: при аналізі перехідних процесів, режимів роботи машини спільно з електродвигуном; визначенні можливості пуску і стійкої роботи електроприводу; при побудові навантажувальних діаграм.

Знання механічних характеристик особливо необхідно при регулюванні швидкості асинхронного двигуна (АД) і використанні при цьому перетворювачів частоти. Можливість зміни швидкості АД при регулюванні частоти f_1 слід безпосередньо з виразу $\omega_0 = 2\pi f_1/p$. Як видно з цього виразу, синхронна швидкість АД прямо пропорційна частоті напруги живлення.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						36
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При регулюванні частоти виникає також необхідність регулювання напруги джерела живлення. Дійсно, ЕРС обмотки статора АД пропорційна частоті струму і магнітного потоку $E_1 = k\Phi f_1$. З наведеного виразу випливає, що при постійній напрузі джерела живлення U_1 і регулювання його частоти змінюється магнітний потік АД. Зокрема, зменшення частоти // призводить до зростання потоку Φ , як наслідок, до насичення машини і збільшення струму намагнічування, що пов'язано з погіршенням енергетичних показників двигуна, а в ряді випадків і до його неприпустимого нагрівання. Збільшення частоти f_1 призводить до зниження потоку двигуна, що при постійному моменті навантаження на валу в відповідності з виразом $M = k\Phi I_2 \cos\varphi_2$ призводить до зростання струму ротора, тобто до перевантаження його обмоток по струму. Крім того, з цим пов'язано зниження максимального моменту і перевантажувальної здатності двигуна. Зазвичай при регулюванні вище основної швидкості частота джерела живлення перевищує номінальну не більше ніж в 1,5-2 рази. Зазначене обмеження обумовлено перш за все міцністю кріплення обмотки ротора, а також з максимально можливою частотою обертання встановлених підшипників. Регулювання швидкості вниз від основної, як правило, здійснюється в діапазоні 10 % 15. Нижня межа частоти обмежений складністю реалізації джерела живлення з низькою частотою струму, можливістю нерівномірності обертання, погіршенням охолодження самовентилуються електродвигунів і рядом інших факторів. Таким чином, частотне регулювання швидкості АД може здійснюватися в діапазоні 20 % 30. У цьому випадку крім зміни частоти струму змінюється і рівень напруги, що підводиться. У зв'язку з тим, що механічні характеристики в залежності від показника ступеня в аналітичному вираженні (рис. 4.1) умовно розбиті на 4-ри групи ($x = 0, x = 1, x = 2, x = -1$), то використовують і 4-ри закону регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна. В основу кожного закону покладено сталість перевантажувальної здатності електродвигуна.

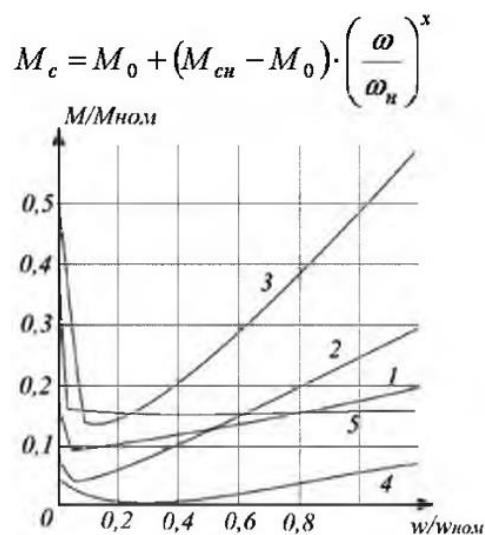


Рисунок 3.1 – Механічні характеристики робочих машин: 1-5 характеристики при зміні показника ступеня від 0 до 3 і різному початковому моменті опору.

Для отримання закону регулювання при постійному моменті опору ($x = 0$) виберемо дві точки перетину механічних характеристик моменту опору і електродвигуна (ω_1 і ω_2) (рис 3.2).

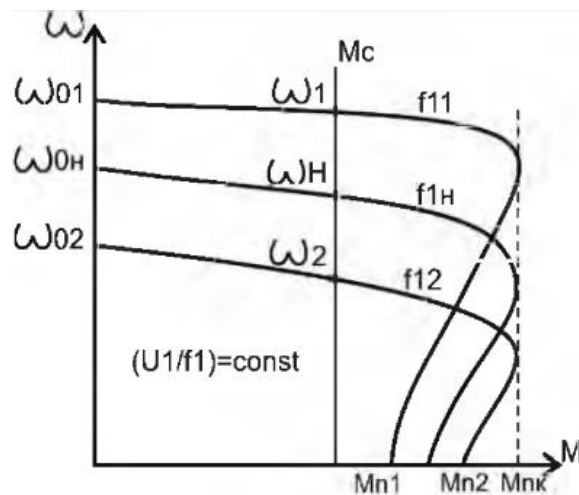


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики електродвигуна і робочої машини при $M_c = const$

Для цих точок перевантажувальна здатність виглядає наступним чином:

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

У раціональному електроприводі $M_n дв = M_c прив$ 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 момент опорупропорційний 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Отримані вирази можна проілюструвати графічно (рис. 3.3).

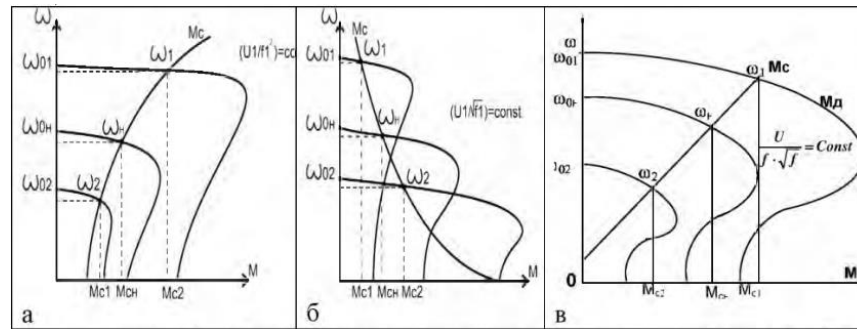


Рисунок 3.3 – Механічні характеристики електродвигуна і робочої машини: при а – вентиляторному навантаженні; б – гіперболічному моменті опору і $P_c = const$; в – лінійно зростаючому навантаженні.

Навантажувальні діаграми машин показують залежності моменту M_c , потужності P_c опорів і кутової швидкості робочої машини від часу. Навантажувальні діаграми відображають характер і режим роботи електроприводу. Навантаження робочої машини може бути постійної і змінної.

З постійним навантаженням працюють вентилятори і відцентрові насоси при постійних продуктивності і натиску, зернові елеватори, коли незмінні подача і кутова швидкість, сепаратори. З змінним навантаженням працюють машини, в які перероблялася маса надходить нерівномірно (дробарки, подрібнювачі, ручні машини по обрізки гілок і кущів), а також машини, у яких швидкість робочих органів змінна (поршневі насоси, поршневі преси, лісопильні рами). У зв'язку з вибором маховикового електроприводу професором Г. І. Назаровим запропоновано розділяти навантажувальні діаграми робочих машин зі змінним навантаженням за характером наростання моменту на дві основні групи: ударне навантаження з миттєвим і пульсуюча з плавним наростанням моментів опору.

По відношенню максимального моменту до середнього розрізняють слабопеременную (1,4), помірно змінну (1,4 ... 2) і різко змінну (> 2) навантаження. У разі слабо змінного навантаження питання про маховиковий привід може виникнути тільки при підвищених вимогах до ступеня нерівномірності роботи. Для помірно змінного навантаження питання про Маховиковим приводі вирішують кожен раз в залежності від конкретних умов. При різко змінному навантаженні вибирають Маховиковим електропривод.

Інерційні характеристики визначають значення і характер зміни моменту інерції рухомих частин машини. У машин з обертальним рухом робочих органів момент інерції – величина постійна. У машин зі складним рухом окремих органів (зі зворотно-поступальним у лісопильних рами, компресорів, трієрних машин) момент інерції – величина змінна. Значення і ступінь зміни моменту інерції зазвичай використовують при визначенні тривалості пуску і

оцінці втрат енергії в перехідних режимах. Інерційність електроприводу і робочої машини часто оцінюється коефіцієнтом інерції F_j . Коефіцієнт інерції змінюється в широких межах від величини, близької до одиниці до 100. Пропорційно F_j збільшується і час пуску і зупинки приводу.

Приводні характеристики робочих машин взаємопов'язані і характеризують одну і ту ж машину з різних точок зору. Загальним для них є вимоги технологічного процесу і робочої машини до приводу. Тому у всіх випадках необхідно знати властивості робочої машини і враховувати їх при виборі раціонального електроприводу.

Механічні характеристики для головних приводів верстатів при невеликому моменті холостого ходу – $M_c \approx const/n$, для приводів подач – $M_c \approx const$. При регулюванні швидкості потужність споживана механізмом головного приводу, залишається майже незмінною. Потужність, споживана приводом подачі пропорційна швидкості. З точки зору допустимого нагріву електродвигуна парі різних способах регулювання і різних характеристик навантажень на рис. 3.4 наведені графіки різних комбінацій в верстатах.

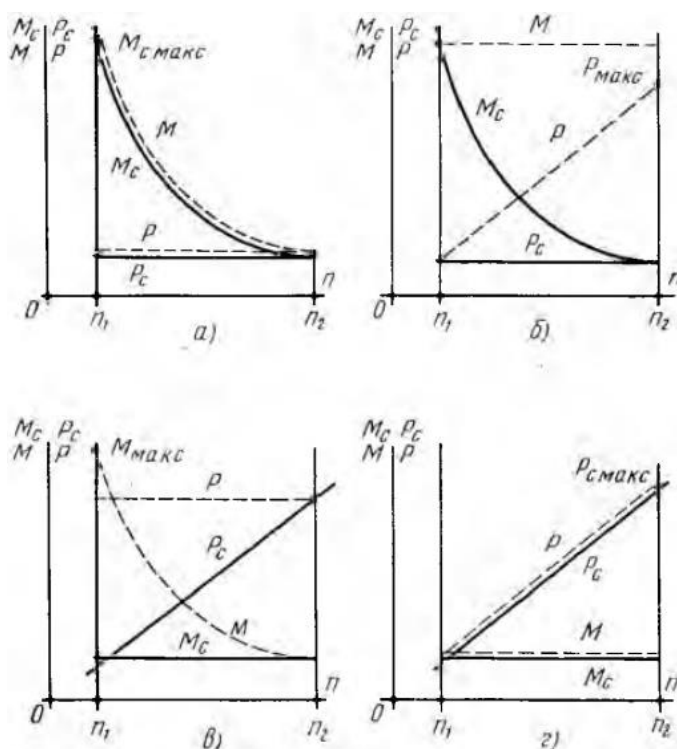


Рисунок 3.4 – Механічні і навантажувальні характеристики за різних способів регулювання

Графіки а й б відповідають умові навантаження $P_c \approx const/n$, а графіки в і г – $M_c \approx const$. Для обох випадків показано використання методів регулювання: а й б – з постійною потужністю, в й г – з постійним моментом. На зазначених графіках суцільними лініями показані характеристики навантаження M_c і P_c , а пунктирними – допустимі навантаження

електродвигуна. При відповідності обраного методу регулювання (а, г) виходить повне використання габариту електродвигуна у всьому діапазоні від n_1 до n_2 .

При способах регулювання не відповідають навантаження (б, в) електродвигун використовується не ефективно. Так для графіка регулювання з постійним моментом при постійній потужності навантаження номінальна потужність електродвигуна $P_n = P_{\max} = P_c n_2/n_1$. Таким чином, потужність виявляється завищеною в D (діапазон регулювання) раз. Недовантаження електродвигуна призводить до того, що він працює з низьким коефіцієнтом потужності і ККД. Номінальний момент використовується повністю тільки в точці мінімальної швидкості $M_n = M_{c.\max}$.

Для графіка регулювання спостійною потужністю при постійному моменті навантаження номінальний момент електродвигуна при мінімальній швидкості - $M_n = M_{c.\max} = M_c n_2/n_1$.

Отже, номінальний момент завищений в D разів у порівнянні з моментом опору, що призводить до завищення габариту електричної машини. Номінальна потужність використовується тільки в точці відповідає максимальній швидкості, де $P_n = P_{c.\max}$

Реальні графіки механічних характеристик дещо відрізняються від наведених вище. Так на рис. 3.5 зображена механічна характеристики карусельного верстата і залежність ККД від частоти обертання.

Привід подачі має постійний момент навантаження майже на всьому діапазоні регулювання швидкості. Це обумовлено головним чином моментом тертя в напрямних і передачах механізму подачі. Більш точна механічна характеристики механізму подачі представлена на рис. 3.6. У початковій частині (ділянка 0-1) зберегти сталість моменту не вдається через неможливість збільшення глибини різання при малих подачах. Момент збільшується зі збільшенням швидкості подачі.

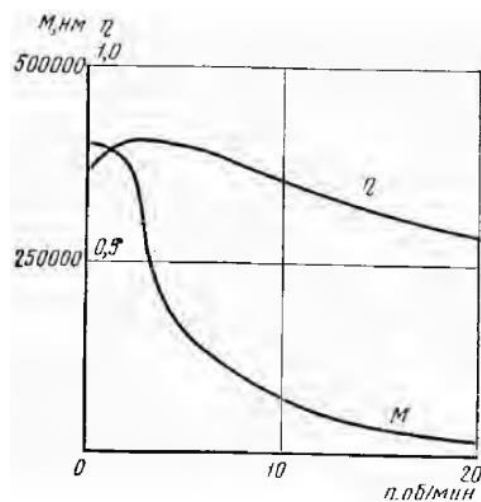


Рисунок 3.5 – Механічна характеристика головного руху деревообробного верстата і залежність ККД від частоти обертання

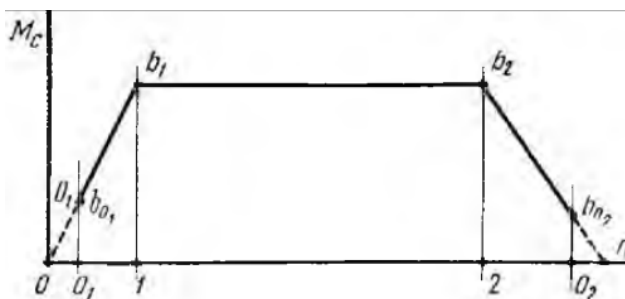


Рисунок 3.6 – Механічна характеристика приводу подачі

Для електричної машини такий режим сприятливий – електродвигун автоматично розвантажується в потрібній частині діапазону. Таким чином на ділянках 0-1, 1-2 найбільш підходящим способом регулювання є спосіб зміни напруги при збереженні магнітного потоку електродвигуна.

Необхідність підвищення номінального струму двигуна або застосування системи незалежної вентиляції повинна застосовуватися відповідно до положення точок b_{01} і b_1 .

Для невеликих двигунів приводів подач система незалежної вентиляції не є економічно доцільною. Більш часто йдуть шляхом підвищення струму машини, а отже і завищується її розмір. Ділянка 2 – O_2 відповідає великій швидкості подачі при підвищених скоростях різання. Через обмеження допустимої потужності головного руху зусилля подачі повинне бути зниженим. У зв'язку з цим можливо застосування електродвигунів, швидкість яких регулюється зміною магнітного потоку і уникнути завищення габаритів електричної машини. Таким чином, досить економічно в приводах подачі використовувати електродвигун з незалежним збудженням.

Двигун подачі забезпечує зусилля, необхідне для лінійного переміщення столу, яке в загальному випадку дорівнює сумі зусиль різання тертя і прилипання:

$$F_{под} = k_z \cdot F_x + F_{тр} + F_{пр}, \quad (22)$$

де k_z – коефіцієнт запасу, 1,2 ... 1,5; F_x – складова зусилля різання в напрямку подачі, Н; $F_{тр}$ – зусилля тертя столу про напрямні, Н; $F_{пр}$ – зусилля прилипання, Н.

Зусилля тертя столу залежить від маси столу або супорта і складових зусилля різання - F_y і, спрямованих нормально до тих, що направляють:

$$F_{тр} = \mu (gm + F_y + F_z), \quad (23)$$

де μ – коефіцієнт тертя в напрямних.

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

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

де β – питоме зусилля прилипання, Н/см²; S_{np} – площа поверхні прилипання, см².

При русанні з місця діють тільки тертя і зусилля прилипання.

Зусилля подачі при русанні можна визначити за формулою:

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

де μ_m – коефіцієнт тертя в напрямних при русанні 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 μ_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; α – кут нахилу різьби ходового гвинта, град.; φ – 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]:

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

На основі викладеного вище оберемо електропривід на базі АД з короткозамкненим ротором в якості приводу головного руху валів верстату. Режим роботи такого приводу S7 – неперервний з періодичним навантаженням.

В якості приводу подачі обрано кроковий двигун, який може бути керованим через відповідний драйвер. Режим його роботи S3 – повторно-короткочасний.

3.1.2. Комплектний електропривод пиляльних дисків та подачі

Базуючись на попередньому розділі в якості електроприводу головного руху валів верстату обрано асинхронний двигун PGR PA 73 – 132S / 4C.

Мотор-редуктор, так само іменований електродвигуном редуктора, це суміщений в загальний агрегат електродвигун і редуктор. У порівнянні з приводом на базі редуктора, він набагато більш компактно, зменшена матеріаломісткість основної рами, обладнання простіше в установці. До того ж він не вимагає для механізму з насадним виконанням (фланцеве виконання) спеціальних рамних конструкцій.

Мотор редуктори широко застосовуються практично у всіх галузях промисловості (вантажопідйомне обладнання, будівельна техніка і т.д.), а величезний вибір конструкційних рішень і типорозмірів дозволяє постачати підприємства мотор редукторами різних призначень, розмірів і потужностей.

Продукція компанії PGR (Туреччина) відрізняється підвищеним коефіцієнтом корисної дії і надійністю, підвищеною кінематичною точністю і плавністю роботи, а також низьким рівнем шуму і вібрацій. Продукція не вимагають обслуговування і зручні при монтажі завдяки своїй компактності.

Області застосування мотора – редуктора PGR (Туреччина):

- Текстильна промисловість
- Деревообробна промисловість
- Харчова промисловість
- Хімічна промисловість
- Гірничорудне виробництво
- Сталеливарна промисловість
- Виробництво конвеєрного обладнання

						<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
							45
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Завдяки своїй конструкції, мотор-редуктори з черв'ячною передачею, компанії PGR (Туреччина) характеризуються плавністю і безшумністю роботи. До переваг черв'ячного мотор-редуктора також можна віднести компактність - черв'ячний мотор-редуктор буде значно меншого розміру в порівнянні з аналогічним мотор-редуктором з зубчастою передачею з одним і тим же передавальним числом редуктора. Характерною особливістю черв'ячного мотор-редуктора є властивість самоторможения.

Черв'ячні мотор-редуктори мають розгорнутий під 90 градусів розташування вихідного вала, що буває зручно в разі, коли немає можливості (наприклад, за габаритами) розташувати весь мотор-редуктор з співвісним розташуванням вала.

Також існує кілька варіацій, таких як черв'ячний мотор-редуктор з циліндричної передачею, здвосні черв'ячні мотор-редуктори, черв'ячні мотор-редуктори з варіатором і ін. Дані варіанти дозволяють підвищити передавальне співвідношення до 3600, що істотно розширює можливості застосування даного типу мотор-редукторів.

Серію PA \ PF характеризують високі експлуатаційні якості і рентабельність при традиційній компонованні. Є модифікації з лапами і фланцевим кріпленням, призначені для будь-яких робочих положень, що значно спрощує установку.

Обраний двигун PRG PA 73 – 132S / 4C має такі характеристики:

- споживана потужність: 5,5 кВт;
- швидкість обертання на холостому ходу: 15,8 об / хв;
- крутний момент: 3320 Н * м;
- вага: 263 кг. [8]

Для виконання поздовжньої подачі заготовки на пильний диск обрано кроковий двигун *NEMA 17HS8401 1.8A 0.52N.m*

- Біполярний, 4-хпроводний;
- Вал діаметром 45 мм, одна фаска;
- Крок 1,8 град .;
- Макс. струм обмотки 10,8 А;
- Опір обмотки 20,7 Ом +/- 10%;
- Індуктивність 3,2 мГн +/- 20%;
- Момент утримання 520 Н * см;
- Крутний момент 253,6 Н * см;
- Макс. робоча температура 80°C;
- Розміри 42x42x48см, фланець NEMA17;
- Вага 37 кг.
- Обмотка А: червоний +, зелений -

					<i>SU-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					46	

- Обмотка В: жовтий +, синій - [12]

3.2. Засоби координаційного управління виконавчими механізмами

3.2.1. Засоби вимірювання технологічних параметрів

В досліджуваній системі автоматичного керування вимірюються декілька параметрів:

- Температура головного двигуна (від 0 до 50 °С);
- Швидкість обертання пильних валів фуганку (від 0 до 32000 хв⁻¹);
- 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).

Температуру корпусу головного двигуна пропонується вимірювати давачем температури ОВЕН ПВТ10.

Датчик вологості і температури ОВЕН ПВТ10 – Датчик вологості і температури ОВЕН ПВТ10 призначений для безперервного перетворення відносної вологості і температури неагресивної середовища в два уніфіковані вихідні сигнали 4 ... 20 мА і передачі вимірних значень по інтерфейсу 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 вимірювань температури: -20 ... + 70 °С, абсолютна похибка 0,5 °С.

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

Ергономічний корпус, зручність монтажу (на стелю або на стіну) і експлуатації.

Висока повторюваність: ± 0,1% RH, ± 0,1 °С.

Висока стабільність: 0,25% RH в рік, 0,02 С в рік.

Перетворювачі ПВТ10 застосовуються для вимірювання параметрів повітряного середовища бібліотек, музеїв, фармацевтичних та інших лабораторій, овочесховищ, а також медичних, офісних, складських та виробничих приміщень.

Характеристики

- Діапазони вимірювань відносної вологості RH 0 ... 95% RH
- Діапазони вимірювань температури навколишнього повітря - 20 ... + 70 °С
- Абсолютна похибка вимірювання вологості

						<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			47

- $\pm 3,0\%$ в діапазоні RH = 20 ... 80% ($\pm 4,0\%$ за 20 ... 80%)
- Абсолютна похибка вимірювання температури $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Повторюваність $\pm 0,1\%$ RH / $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$
- Стабільність, рік $\pm 0,25\%$ RH / $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$
- Час готовності до роботи після включення на каналі вологості / температури 10/15 сек.
- Ступінь пиловологозахисту IP20
- Підтримувані інтерфейси і протоколи Modbus RTU RS-485

Умови експлуатації

- закриті вибухобезпечні приміщення без агресивних парів і газів;
- атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа;
- граничні значення температури середовища;
- граничні значення відносної вологості середовища [13]

Поточне положення каретки подачі заготовки на пильний диск циркулярної пили будемо відслідковувати за допомогою давача положення Sensick W250.

Оптичний давач положення Sensick W250. Компактний фотоелектричний перемикач для широкого кола застосувань.

Сімейство фотоелектричних перемикачів W250 має спеціальну комбінацію, яка об'єднує як DC, так і DC / AC версії в дуже компактному корпусі.

Версія кабелю або вертикальна планка забезпечують гнучкість W250 для системної інтеграції.

Під час налаштування чутливості та відстані сканування, користувач підтримує зручний для читання дисплей позиціонування.

Світловий / темний комутації через кабель управління зменшує кількість варіантів пристрою та зменшує затрати енергії.

Можливості W250:

- Універсальна напруга живлення (DC або DC / AC) у компактному корпусі спрощує інтеграцію в машини,
- Регулювання допоміжних світлових променів
- світлове / темне перемикування знижує вартість запасів шляхом зменшення кількості необхідного варіанта,
- постачається в комплекті та готовий до використання, оскільки монтажні кронштейни та рефлектор (тільки WL250) входять в комплект постачання.

Основні сфери застосування:

- Машинобудування,
- Лісова промисловість,
- Зберігання та обробка матеріалів,

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

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

Для зчитування швидкості обертання валу фуганку використовується *двоканальний магнітний датчик швидкості обертання для важких умов експлуатації серії GEL 247 (LENORD + BAUER)*

GEL 247 – безконтактний датчик швидкості обертання Lenord Bauer.

Принцип дії даного датчика швидкості – безконтактне магнітне сканування. Вбудоване магнітне поле датчика змінюється при обертанні цільового колеса. Сенсорна система датчика записує зміни в магнітному полі. Далі сигнал трансформується в одиночний або подвійний сигнал напруги прямокутної або синусоїдальної форми. Далі сигнали передаються до підсилює пристроїв через спеціальний кабель.

Завдяки безконтактному виміру обертання датчик швидкості GEL247 не вимагає постійного технічного обслуговування і зносостійкий.

Датчик швидкості GEL247 забезпечує безпечне визначення дуже повільного обертання від 0 Гц без втрати імпульсу, а також високошвидкісного обертання до 35 кГц.

Даний безконтактний датчик швидкості обертання – 2-канальний, має 2 зміщених на 90 ° каналу, які забезпечують напрямок обертання.

Корпус датчика – міцний, невеликих розмірів, виготовлений з нержавіючої сталі. Конструкція корпусу датчика забезпечує його надійну експлуатацію навіть в жорстких умовах.

Компактні розміри даного датчика швидкості обертання дозволяють застосовувати його в умовах обмеженого простору для монтажу.

Особливості та технічні параметри безконтактного датчика швидкості обертання GEL 247

Модуль цільового колеса: від 1.0 до 3.5;

Діапазон вимірювань швидкості обертання: 0 – 35 кГц;

Діапазон робочих температур: -40 ... + 120 ° С;

Напруга живлення: 10 – 30 В постійного струму;

Ступінь захисту від зовнішніх впливів: IP68;

Матеріал цільового колеса: феромагнітна сталь;

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

Області застосування безконтактного датчика швидкості обертання серії GEL 247

Залізничні транспортні засоби:

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

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						49
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль швидкості двигуна;

Автоматизовані системи:

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

Для відслідковування наявності паразитного струму від шкіри людини на пильних валах використовуватимемо систему автоматичного тормозіння SawStop Aim від Festool.

Змінний картридж аварійного зупину KT-TKS 80 пильного диску технології SawStop.

Цей запасний картридж є центральним елементом технології SawStop від Festool. Пальці потрібно берегти. SawStop робить пиляння безпечнішим, ніж будь-коли раніше. Цей пристрій для виявлення плоти зупиняє і опускає пилковий диск менш ніж за 5 мілісекунд. Перш ніж будь-яка травма мала шанс. Після активації картридж SawStop вимагає заміни, перш ніж апарат буде повністю безпечним для повторного використання. Спрацьований картридж замінюється за дві секунди.

Основні характеристики замінного картриджу SawStop [9]:

- Простий монтаж;
- Центральний елемент технології TKS 80 SawStop;
- SawStop робить пиляння безпечнішим, ніж будь-коли раніше.



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.

SIMATIC S7-300 – універсальний модульний програмований контролер, для вирішення завдань автоматичного управління відносно низькою і середнього ступеня складності.

Основні особливості контролера:

- модульна конструкція, монтаж модулів на профільній шині (рейці);
- природне охолодження;
- застосування локального і розподіленого введення-виведення;
- можливості комунікацій по мережах MPI, Profibus Industrial Ethernet / PROFINET, AS-i, BACnet, MODBUS TCP;
- підтримка на рівні операційної системи функцій, що забезпечують роботу в реальному часі;
- підтримка на рівні операційної системи апаратних переривань;
- підтримка на рівні операційної системи обробки апаратних і програмних помилок;
- вільне нарощування можливостей при модернізації системи;
- можливість використання розподілених структур введення-виведення і просте включення в різні типи промислових мереж.

Таблиця 3.1 – Загальні технічні дані контролерів S7-300.

Характеристика SIMATIC S7-300
Ступінь захисту корпусу IP 20 згідно з ІЕС 60 529
Робочі температури при горизонтальній установці 0 ... 60 ° С
Робочі температури при вертикальній установці 0 ... 40 ° С
Температури зберігання і транспортування -40 ... + 70 ° С
Відносна вологість 5 ... 95%
Поява конденсату не допускається, RH рівень складності 2 відповідно до ІЕС 1131-2
Обледеніння друкованих плат Не допускається
Атмосферний тиск 795 ... 1080 Гпа
У ланцюгах = 24 В Випробувальна напруга = 500 В
У ланцюгах ~ 220 В Випробувальна напруга ~ 1460 на

Обрали саме цей контролер через його універсальність, підтримку на рівні операційної системи функцій, що забезпечують роботу в реальному часі і в разі потреби додати додаткове обладнання не потрібно буде купувати новий контролер, можна буде підключити до даного контролера.

Simatic Step 7 — пакет програмного забезпечення компанії Siemens, яке призначене для розробки систем на базі програмованих логічних контролерів Simatic та інших з подібною архітектурою.

Програма дозволяє розробляти та обслуговувати системи автоматизації на основі програмованих логічних контролерів Simatic S7-300 і Simatic S7-400 фірми Siemens. У першу чергу це роботи з програмування контролерів. Програмування контролерів проводиться з редактора програм, який забезпечує написання програм на трьох мовах:

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 проекрованої АСУТП

№	Параметр	Номинальне значення	Відображення		Регулювання	Керівний вплив	Середовище					
			Показ	Сигналізація			Датчики			Виконуючі механізми		
							езп.	Вибухонеб	Агрес.	езп.	Вибухонеб	Агрес.
1	Потрапляння м'яких предметів на різучі кромки фуганку	Ні	+	+	+	Миттєва примусова зупинка головного валу	-	-	-	-	-	-
2	Потрапляння м'яких предметів на різучі 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 поставленого завдання вибору комплектного електроприводу головного руху валів верстату та подачі заготовки на циркулярну пилу виконане математичне моделювання механічних та інерційних характеристик роботи електроприводів. На основі цього дослідження обрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в якості головного електроприводу верстату. Пацювати цей двигун буде в режимі S7 – неперервний з періодичним навантаженням. В якості приводу подачі обрано кроковий двигун, який може бути керованим через відповідний драйвер. Режим його роботи S3 – повторно-короткочасний.

Вказано конкретні моделі двигунів та наведено їх основні технічні характеристики.

Для забезпечення сталості та безпеки роботи розроблюваного деревообробного верстату передбачено декілька датчиків, тож в рамках даного розділу здійснено вибір необхідного набору датчиків.

Обрано ПЛК та панель оператора до нього, а також, складено таблицю вхідних-вихідних сигналів для ПЛК.

На основі викладеної інформації складаємо електричну принципову схему та наводимо її в додатку Г.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

У механізмах подачі дуже важливим є вимога збереження незмінним моменту електродвигуна при зниженні частоти обертання. У минулих розробках верстатів привід подачі виконувався ступенчатерегульованим за рахунок коробки подач або з плавним регулюванням частоти обертання двигуна. Сьогодні додаткового механічного перебору в механізмах подачі не потрібно. Весь діапазон регулювання 1:20000 перекривається електричними способами. Діапазон потужностей приводів подачі верстатів – 0,1-20 кВт. Як правило, реверс напрямку подачі здійснюється теж за допомогою електроприводу. Перевантажувальну здатність двигун повинен мати при частотах обертання, відповідних режимах різання, в два-чотири рази більше номінальної величини. При великих частотах обертання, як правило, різання не відбувається. Ця зона необхідна для забезпечення швидких переміщень механізмів, і найбільший момент визначається тільки необхідністю забезпечення заданого числа обертів. Особливістю електроприводів для верстатів з ЧПУ є значне розширення виконуваних ними функцій. Наприклад, приводи головного руху поряд з регулюванням і стабілізацією частоти обертання при силових режимах різання повинні забезпечувати можливість резьбонарезання і позиціонування для автоматичної зміни інструменту. Параметри роботи електроприводу подачі і головного руху використовують для отримання інформації про поточні значення технологічних режимів при контролі навантаження і побудови адаптивних систем управління.

У зв'язку з цим діапазони регулювання приводів подачі і головного руху збільшуються до 1:10000, а максимальний момент становить чотирьох - шести кратну величину від номінального моменту M_n . Деякі типи машин постійного струму дозволяють отримати динамічні моменти в 10-12 разів більші M_n реалізація їх в більшості випадків недоцільна через швидке зношення механічних передач.

У всіх випадках, як правило, менша вартість двигуна змінного струму вимагає великих витрат на перетворювач частоти. Тому доцільність застосування систем на змінному струмі повинна вирішуватися шляхом техніко-економічного аналізу, проведеного з урахуванням конкретних особливостей верстата.

Регулює режим роботи електроприводу верстатів може проводитися по двухзонной схемою (рис. 4.2). При роботі приводу в першій зоні (зоні приводу подачі) забезпечується підтримання сталості тривалого часу у всьому діапазоні зміни швидкості. При регулюванні в другій зоні від номінальної до максимальної швидкості напруга обмоток двигуна постійного струму підтримується постійним, а струм обмоток змінюється від номінального до мінімального значення.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

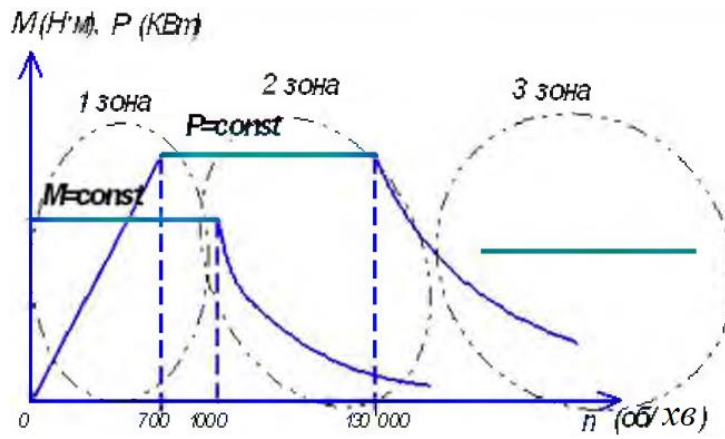


Рисунок 4.2 – Механічні і навантажувальні характеристики при двозонній схемі регулювання.

Таким чином, регулювання швидкості вище номінальної здійснюється за рахунок ослаблення магнітного потоку двигуна. Регулювання швидкості в другій зоні забезпечує підтримання сталості номінальної потужності, що відповідає вимогам механізмів головного руху верстатів і машин. Регулювання напруги і струму електродвигуна здійснюється за заданою програмою.

У 1-й зоні швидкість регулюється від номінального значення до нуля зміною напруги на якорі від номінальної величини до нуля. Потік порушення залишається номінальним. При цьому крутний момент не змінюється, а потужність зменшується пропорційно швидкості.

У 2-й зоні швидкість регулюється від номінального значення до максимального шляхом ослаблення магнітного потоку при номінальній напрузі на якорі. У цьому випадку потужність не змінюється, а крутний момент знижується обернено пропорційно швидкості.

У 3-й зоні швидкість ще зростає шляхом подальшого ослаблення магнітного потоку. При цьому момент і потужність знижуються. [6]

На основі викладеного зобразимо функціональну схему локальної системи управління головного руху ріжучих валів деревообробного верстату.

Функціональна схема автоматизації контуру зображена на рис. 4.3 (див. креслення СУ-71 6.151.001 А2).

Легкооброблюваність деревини та вимоги високої якості до одержуваної поверхні обумовлюють застосування високих швидкостей подачі і різання. Частоти обертання інструменту досить високі (до 30 000 хв⁻¹), швидкості подачі досягають 120 м/хв (обрізні верстати) і більше. Задані швидкості потребують точності управління. Точність забезпечується підбором правильного двигуна, що має необхідні властивості, а також забезпеченням йому необхідних умов функціонування.

Ці процедури проводяться на регуляторі вектора струму РВС. Перша складова модуля струму задається зовнішнім пристроєм, а друга формується пропорційно величині ковзання.

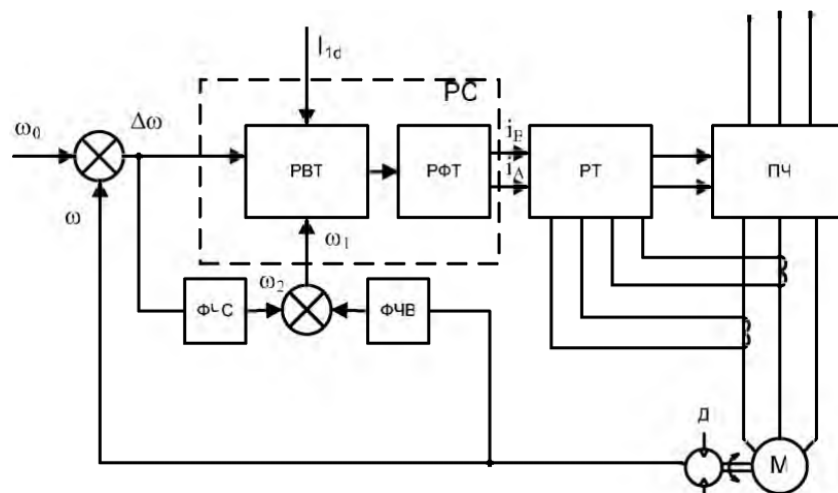


Рисунок 4.4 – Структурна схема електроприводу з частотним керуванням

Для визначення частоти струму статора ω_1 підсумовують частоту ковзання ω_2 рівну частоті струму ротора і частоту обертання валу двигуна через датчик обертання Д. Частоту ковзання ω_2 і частоту обертання валу визначають блоками формування частоти ковзання ФЧК і формування частоти обертання ФЧО. На виході регулятора вектора струму є сигнал пропорційний вектору струму I_1 і його частоті ω_1 . У регуляторі фазних струмів РФС відбувається перетворення струмів двухфазної системи (d і q) в струми трифазного системи. У регуляторі струму РС задані струми i_A i_B порівнюються з істинними, а їх різниця надходить на перетворювач частоти ПЧ у вигляді керуючого сигналу.

При роботі верстатів досить часто використовується специфічний режим електроприводу головного руху – динамічне гальмування електричної машини. Режим динамічного гальмування асинхронних машин проводиться з незалежним збудженням або самозбудженням. При незалежному збудженні обмотку статора відключають від мережі змінного струму і подають на неї постійний або пульсуючий однонаправлений струми.

Обмотка статора створює постійний магнітний потік, який перетинає обертається обмотка ротора. В обмотці ротора наводиться ЕРС E_2 і з'являється струм I_1 . Струм I_1 взаємодіє з постійним магнітним полем статора і створюється гальмівний момент.

Струм ротора визначається наступними параметрами:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}},$$

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

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

ЕРС ротора залежить від швидкості:

$$E_2 = E_{2\max} \omega^*,$$

де ω^* - відносна зміна кутової швидкості, $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$; $E_{2\max}$ – максимальне значення ЕРС, що виникає при синхронній швидкості ω_0 .

Індуктивний опір ротора визначається за формулою:

$$x_2 = 2\pi f_{\text{рот}} L_2.$$

Індуктивність обмотки ротора L_2 можна прийняти постійною, а частоту струму представити в наступному вигляді:

$$f_{\text{рот}} = f_0 \omega^*,$$

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

Графік зміни опорів в роторному ланцюзі при динамічному гальмуванні представлений на рис. 4.5.

Вираз 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 $\cos \varphi_2$ як відношення активного опору до повного опору, отримаємо такий вираз для активної складової струму ротора:

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

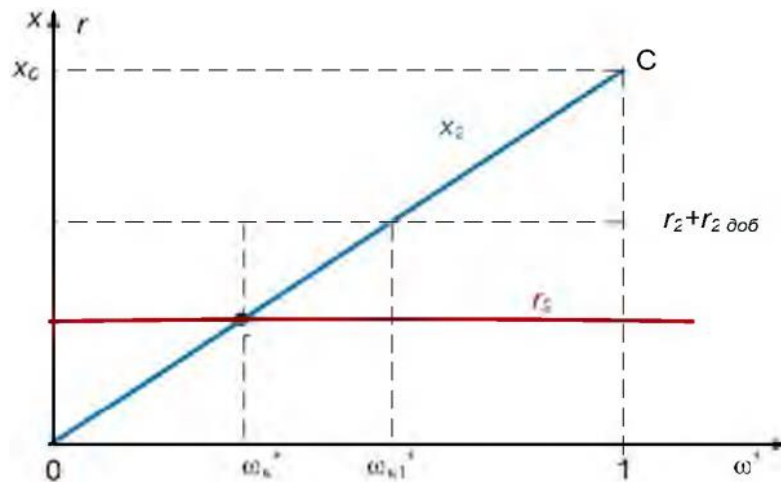


Рисунок 4.5 – Графік зміни опорів в роторному ланцюзі при динамічному гальмуванні

При зміні швидкості обертання ротора активна складова має максимум. Для визначення цього максимуму необхідно взяти першу похідну і прирівняти її нулю:

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

Даний дріб звертається в нуль при рівності чисельника нулю:

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

Вирішуючи це рівняння щодо ω^* , отримаємо:

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

З графіка (рис. 4.5) і попереднього виразу видно, що максимальне значення динамічного моменту (так як струм при цьому максимальний) настає при рівності активного і індуктивного опорів в ланцюзі ротора, тобто $\omega_k^* \cdot x_0 = r_2$. Також з графіка (рис.4.5) видно, що при синхронній швидкості індуктивний опір значно більше активного. У зв'язку з цим максимальне значення динамічного моменту знаходиться на швидкості близькою до нуля. При включенні додаткового опору в ланцюг ротора значення критичної швидкості (відповідне максимальному гальмівним моментом) збільшується (рис. 4.5).

Визначимо максимальне значення струму ротора, підставляючи значення критичної швидкості (попередній вираз) в вираз струму:

$$I_{2a \max} = \frac{E_{2 \max} \cdot r_2^2}{x_0 \left(r_2^2 + \frac{r_2^2 \cdot x_0^2}{x_0^2} \right)} = \frac{E_{2 \max} \cdot r_2^2}{x_0 2r_2^2} = \frac{E_{2 \max}}{2x_0}$$

Максимальне значення активної складової струму ротора залежить від ЕРС $E_{2 \max}$, яка визначається рівнем постійного струму.

Якщо електрична машина працювала в руховому режимі при деякій швидкості ω і проводиться переключення в динамічне гальмування при постійному струмі I_1 (рис. 4.6), то виникає гальмівний момент і двигун переходить з точки 1 в точку 2 характеристик динамічного гальмування.

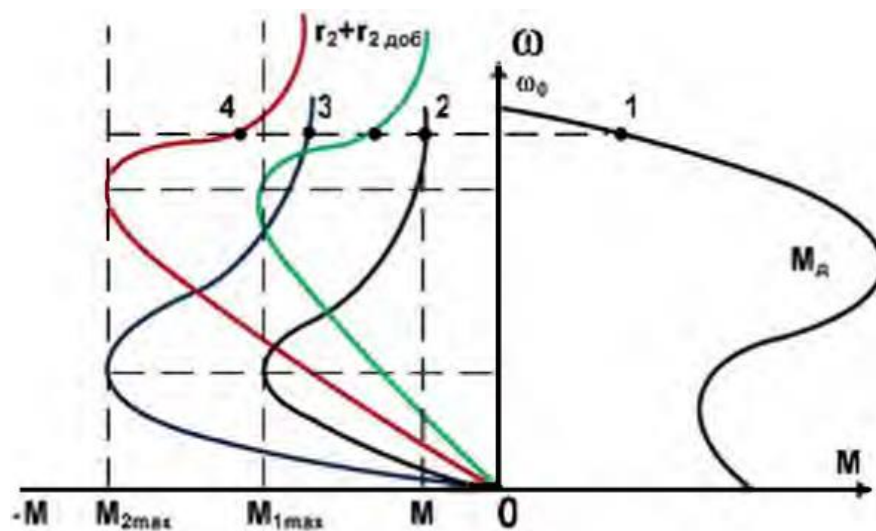


Рисунок 4.6 – Механічні характеристики електричної машини при переході в режим динамічного гальмування з незалежним збудженням

При зниженні швидкості момент спочатку зростає і досягає $M_{1 \max}$, потім зменшується до нуля. Якщо збільшити струм гальмування (величину постійного струму), то машина перейде з точки 1 в точку 3. При цьому буде більш високий гальмівний момент і відповідно зменшиться час зупинки електроприводу.

Однак збільшення початкового гальмівного моменту можна отримати й іншим шляхом – збільшенням додаткового опору в ланцюзі ротора (при використанні двигуна з фазним ротором) точки 3 і 4.

Є й інший підхід до висновку аналітичних рівнянь динамічного гальмування. В цьому випадку постійний струм, що подається в статор, замінюють еквівалентним змінним і розглядають роботу машини як звичайної асинхронної. Так вираз механічної характеристики в режимі динамічного гальмування має вигляд:

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

де x_{μ} і x_2 – індуктивні опори відповідно кола намагнічування і наведений ротора до обмотки статора; I_1 – змінний струм статора, який визначається з рівності намагнічують сил постійного і змінного потоків.

Співвідношення постійних і змінних струмів залежить від схеми з'єднання обмотки статора. З урахуванням опорів обмотки статора відносно значення критичної швидкості можна визначити за формулою:

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

Динамічне гальмування самозбудженням здійснюється з використанням конденсаторів. Після відключення електродвигуна від трифазної мережі до обмотці статора підключають батарею конденсаторів. На рис. 4.7 представлені графіки зміни ЕРС і напруги на конденсаторах при динамічному гальмуванні.

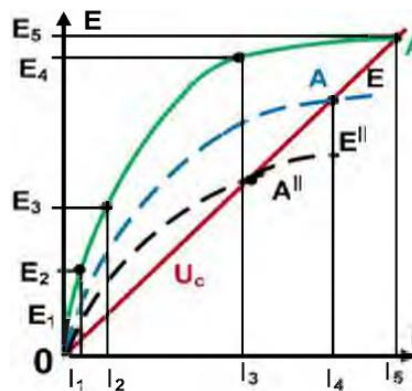


Рисунок 4.7 – Графіки зміни ЕРС при динамічному гальмуванні

Процес самозбудження відбувається наступним чином. Після відключення від трифазної мережі і перемикання обмоток статора на конденсатори, ротор обертаючись по інерції наводить в обмотці статора ЕРС E_1 (за рахунок залишкового магнітного потоку). У статорі виникає струм, який створює магнітний потік, під дією якого ЕРС зростає до E_2 . У свою чергу ЕРС E_2 створює струм I_2 і т. д., тобто відбувається лавиноподібний процес збудження. Процес стабілізується в точці A , де ЕРС дорівнює напрузі на конденсаторах. Під дією активної складової струму I_5 виникає гальмівний момент, що призводить до зниження

швидкості. При зниженні швидкості зменшується наведена ЕРС і струм статора, характеристики переходять з точки A в точку A' , далі в точку A'' . При цьому гальмівний момент може збільшуватися, так як знижується частота струму статора і збільшується активна складова струму, що призводить до збільшення моменту. Зразковий вид механічних характеристик представлений на рис. 4.8.

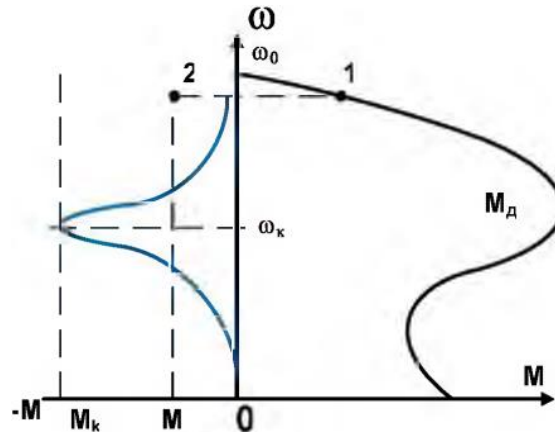


Рисунок 4.8 – Механічні характеристики асинхронної машини в руховому і динамічному режимах

Момент опору M_o в ланцюгах подачі створюється в основному силами тертя. За час руху по інерції цей момент практично не змінюється. Кінетична енергія системи при русі по інерції цілком дорівнює роботі моменту M_o (приведеного до валу електродвигуна) на кутовому шляху (φ вала двигуна, відповідному руху системи за інерцією):

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

Знаючи передавальні відносини кінематичного ланцюга, неважко визначити величину лінійного переміщення поступально рухається вузла верстата. Момент опору в ланцюгах подачі залежить від сили тяжіння вузла, стану поверхонь, що труться, кількості, якості і температури мастила. Коливання цих змінних факторів викликають значні зміни величини M_o , а отже, і шляхи. Керовані колійними перемикачами контактори теж мають розкид значень часу спрацьовування. Крім того, швидкість руху також може дещо змінюватися.

Все це призводить до розкиду положень точки зупину. Для зменшення шляху руху по інерції потрібно зменшити швидкість руху, маховою момент системи і збільшити гальмуючий момент. Найбільш ефективним є зниження швидкості приводу перед зупинкою. При цьому різко зменшуються кінетична енергія рухомих мас і величина переміщення по інерції. Зниження швидкості подачі зменшує і шлях, прохідний за час спрацьовування апаратів. Однак

зменшення подачі під час обробки зазвичай неприпустимо, так як воно призводить до зміни заданого режиму і чистоти поверхні. Тому зниження швидкості електроприводу частіше використовують при настановних переміщеннях. Швидкість електродвигуна знижують різними способами.

Основну частину моменту інерції ланцюга подачі становить момент інерції ротора електродвигуна, тому при виключенні електродвигуна ротор його доцільно механічно відокремити від решти кінематичного ланцюга. Це роблять зазвичай за допомогою електромагнітної муфти. При цьому останов відбувається досить швидко, так як ходовий гвинт має незначний момент інерції. Точність зупинки в цьому випадку визначається в основному величиною зазорів між елементами кінематичної схеми. Для збільшення гальмівного моменту застосовують електричне гальмування електродвигунів, а також механічне гальмування за допомогою електромагнітних муфт. Більш висока точність зупинки може бути досягнута за допомогою застосування жорстких упорів, механічно припиняють рух. Недоліком в цьому випадку є значні сили, що виникають в частинах системи при зіткненні з жорстким упором. Ці два види гальмування застосовують спільно з первинними перетворювачами, які відключають привід, коли тиск на упор досягне певної величини. Слід зазначити, що відносна складність точного зупинки рухомих частин верстата засобами шляховий електроавтоматики змушує в багатьох випадках застосовувати гідравлічні системи. При цьому відносно легко досягаються низькі швидкості, і рухливий вузол може тривалий час залишатися притиснутим до жорсткого упору. Для точного зупинки при швидкому повороті елементів верстатів часто використовують передачі типу мальтійського хреста і фіксатори.[1]

4.3. Висновки

Таким чином, в рамках даного розділу проведено аналіз контуру управління процесом головного руху валів проектного в даній роботі деревообробного верстату.

Було наведено типову кінематично схему зв'язки електроприводу головного руху зі споживачем потужності. Та проведено опис елементного складу контурів головного руху подібних верстатів.

Наведено функціональну схему ЛСУ та описано взаємодію її елементів.

Також за структурною схемою проведено дослідження головних характеристик типового електроприводу з частотним регулюванням

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЕРЕВООБРОБНИМ ВЕРСТАТОМ

5.1. Структурна схема

На рис. 5.1 зображено структуру елементного складу деревооброблювального верстату через схему інформаційно-матеріальних потоків (див. креслення СУ-71 6.151.001 С1).

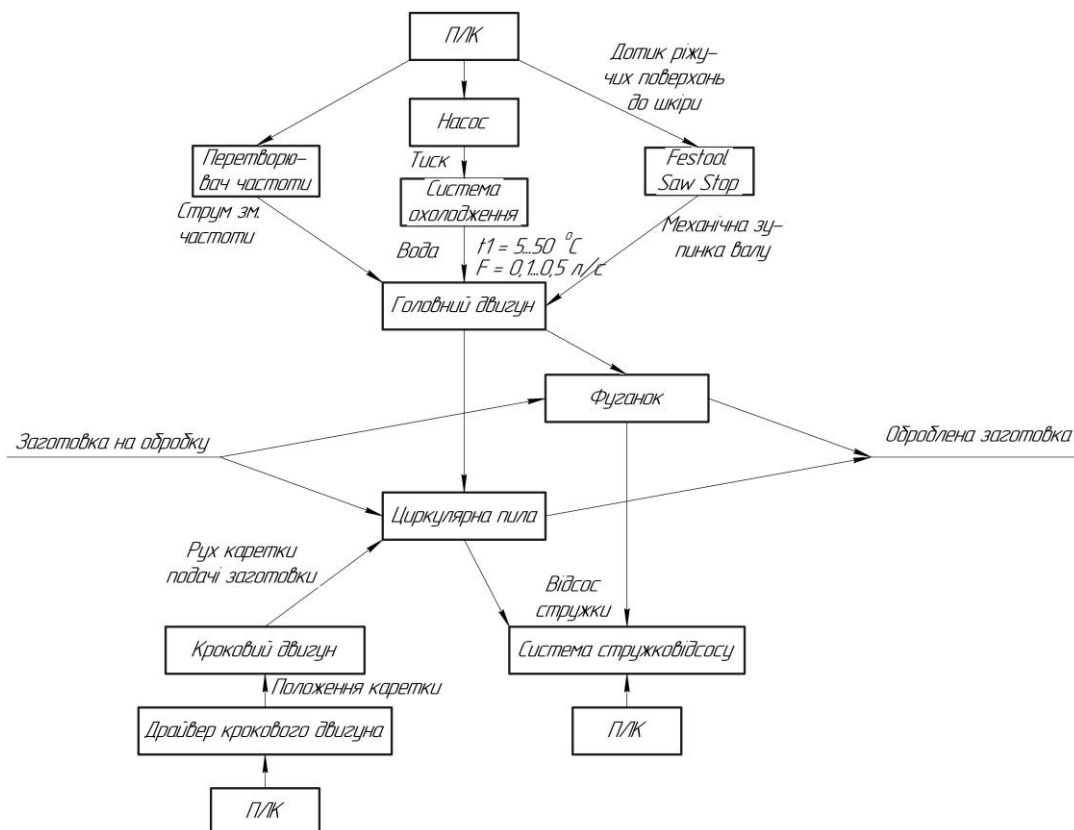


Рисунок 5.1 – Схема інформаційно-матеріальних потоків розробленого верстату

ПЛК через перетворювач частоти керує обертами асинхронного двигуна. В залежності від навантаження на двигун може бути обраний той або інший швидкісний режим. Якщо ПЛК формує сигнал аварійного зупину валів верстату, двигун вимикається автоматично.

Для того, щоб двигун не перегрівався під час роботи застосовується система примусового охолодження двигуна. Через магнітний пускач ПЛК запускає насос охолодження, який прокачує охолоджувальну рідину через змієвик, оплетений довкола корпусу двигуна головного руху. Температура двигуна вимірюється давачем і при досягненні певної температури (наприклад, 45°C) вмикається система примусового охолодження, при зменшенні температури до рівня 25°C – охолодження вимикається.

Для забезпечення автоматичної подачі деревини на вал циркулярної пили реалізовано систему автоматичної подачі. Швидкість подачі задається оператором у інтерфейсі SCADA-

системи в залежності від типу оброблюваної деревини та товщини заготовки. Там же може бути задано швидкість обертання пили.

Через драйвер крокового двигуна ПЛК здійснює управління кроковим двигуном, який через зубчасту рейку рухає механізм каретки по направляючому валу. Положення каретки визначається оптичним давачем положення. При досягненні дальнього положення подача струму на кроковий двигун зупиняється.

Слідкуючи за давачами наявності контакту ріжучих кромek зі шкірою людини, ПЛК реалізує управління безпечною аварійною зупинкою пильних валів за допомогою готової системою безпечної аварійної зупини пильного диска циркулярної пили SawStop-AIM від німецького виробника Festool. Технологія полягає в тому, що ємнісний давач зчитує струм утечки на пильному диску. У випадку наявності паразитного струму на металічній основі диска, спрацьовує *картридж аварійного зупину KT-TKS 80*: спеціальний бойок заганяє під дією попередньо сильно стиснутої пружини алюмінієвий блок в обертотий пильний диск.

5.2. Алгоритм роботи технологічного контролера

Створений алгоритм роботи проектованого деревообробного верстату представлено на рис. 5.2.

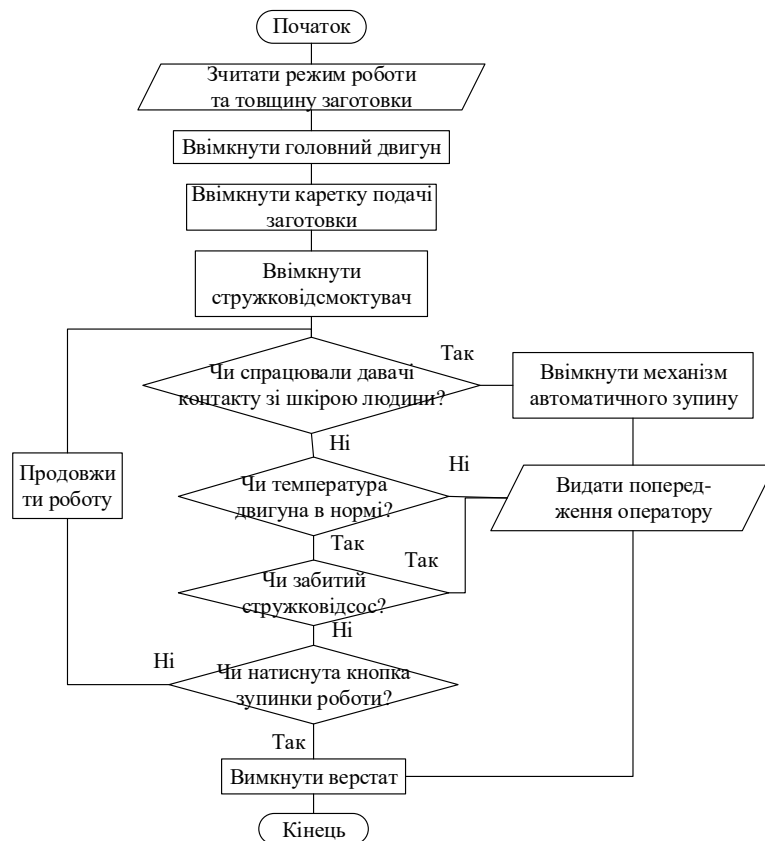


Рисунок 5.2 – Алгоритм роботи розробленого деревообробувального верстату

Після зчитування інформації про орієнтовний розмір розпилюваної заготовки та бажані режими (швидкісні) роботи головного двигуна та двигуна подачі ПЛК запускає головний цикл роботи верстату, в якому зчитує інформацію з датчиків системи.

У випадку, якщо в процесі роботи зустрінуті проблеми, двигун зупиняється а оператор отримує повідомлення про позаштатну ситуацію.

Для зупинки верстату нормальним чином оператор має натиснути відповідну кнопку на панелі оператора (див. розділ 5.3), після чого ПЛК завершить роботу верстату у штатному режимі.

5.3. Інтерфейс оператора

У якості операторської панелі обрано *Siemens KTP600 Basic Color PN 6AV6647-0AD11-3AX0* (рис. 5.3).

Панель управління надає можливість спостерігати за роботою системи; змінювати режим роботи системи (автоматичний-ручний); виконувати пуск-стоп (змінювати положення) окремих механізмів системи в ручному режимі; виконувати пуск-стоп лінії в автоматичному режимі; задавати параметри роботи механізмів системи; переглядати 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 екрану знаходиться область виводу повідомлень.

У нижній частині кожного екрану знаходяться кнопки:

Головна – для переходу на основний робочий екран;

Параметри – для переходу на екран зміни параметрів роботи механізмів системи;

Повідомлення – для переходу на екран повідомлень.

В нижній частині на корпусі ПУ оператора розміщені функціональні кнопки:

F1 (Головна) – При натисканні на кнопку «Головна» відбувається перехід на екран «Головна»

F2 (Параметри) – При натисканні на кнопку «Параметри» відбувається перехід на екран «Параметри»

F3 (Повідомлення) – При натисканні на кнопку «Повідомлення» відбувається перехід на екран «Повідомлення»

F4 (Скидання) – При натисканні на кнопку «Скидання» відбувається скидання помилки.

Переключення між екранами виконується натисканням на відповідні кнопки в нижній частині екранів або на відповідні функціональні кнопки в нижній частині на корпусі ПУ оператора.

На рис. 5.4 наведено спосіб підключення панелі оператора до ПЛК та датчиків.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						69
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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).

Пожежонебезпека

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-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						72
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- 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;

- Неможливість 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 твердосплавними 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.

Ушкоджує властивості верстата;

Електричне обладнання

Потужність двигуна основної пили 50-250 кВт

Потужність приводу подачі 2,2 кВт

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
						73
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Замикається на ключ головний вимикач

Кнопкове управління, керуюча напруга 24 В змінного струму

Блокування приводних двигунів пил

Двигун основної пилки з електричним гальмівним модулем

Двигун основної пилки з контролем температури обмотки

Двигун підрізної пилки з захисним контактом обмотки

Електричне регулювання висоти пропила

Шумові характеристики

Можна з упевненістю стверджувати про необхідність додаткових заходів щодо захисту користувача.

До факторів, що впливає на дійсний рівень впливу шуму на робочому місці, відносяться тривалість впливу, характеристики приміщення, інші джерела шуму, наприклад, розташовані поруч верстати і їх кількість.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що відносяться до даного верстата

Постановою Міністерства праці та соціального розвитку України від 21 березня 1997 року № 15 були затверджені правила з охорони праці ПОТ РМ 001 – 97 в лісозаготівельних, деревообробному виробництвах і при проведенні лісогосподарських робіт.

Згідно цього документа з п.п.1.2.1. «Лісозаготівельні, деревообробні виробництва і роботи в лісовому господарстві характеризуються наявністю наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів» слід, що до ушкоджують властивостями деревообробного верстата можна віднести наступні небезпечні і виробничі фактори:

- рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання; пересуваються вироби, заготовки, матеріали;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень статичної електрики;
- гострі кромки, задирки і шорсткості на поверхні заготовок, інструментів та обладнання;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Перераховані стандарти відповідають ДСТУ 12.0.003-74 і міжнародним стандартом СТ РЕВ 790-77 в частині класифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів. [5]

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74

6.2. Комплекс заходів захисту персоналу

Робота на будь-якому верстаті і особливо на деревообробному з ручною подачею заготовок, пов'язана з високим ризиком при недотриманні вимог щодо належного використання.

Забороняється працювати без запобіжних пристроїв і вносити зміни, що призводять до зниження безпеки.

Перед кожним введенням в експлуатацію перевіряйте правильність встановлення та справність захисних і робочих пристосувань.

Перед зміною інструментів, перед усуненням несправностей і при ремонтних роботах вживати заходів щодо запобігання ненавмисного включення станка, закриваючи, наприклад, головний вимикач на навісний замок.

Дозволяється використовувати тільки ті пильні диски, розміри яких відповідають даним верстата.

Частота обертання повинна бути підбрана так, щоб вона не перевищувала максимально допустиму, вказану на пильних дисках.

Не допускається використання деформованих пилкових дисків, а також дисків з тріщинами.

Робочий одяг повинен прилягати до тіла. Кільця, браслети і годинник під час роботи необхідно знімати.

Необхідно забезпечити на робочому місці достатнього вільного простору, хороше освітлення і запобігти можливості травм внаслідок подськальзиваніє.

Не обробляти деталі, розмір яких не відповідає потужності верстата (занадто великі або занадто маленькі).

Приймати таке робоче положення, при якому робочому завжди буде зручно перебувати збоку від пильного диска, поза зоною можливої віддачі (зона безпосередньо перед пильним диском).

Перед включенням верстата потрібно видалити від диска пилки вільно лежачі предмети.

Розпилювання почати після того, як пильний диск досягне повної частоти обертання.

Завжди застосовувати захисний кожух.

Звертати увагу на безпечну подачу оброблюваної деталі.

Рівень звукового тиску на робочому місці перевищує 85 дБ. Тому, при роботі необхідно використовувати захисні навушники.

Деревний пил, що виникає при розпилюванні, не тільки погіршує видимість, а й шкідлива для здоров'я. Тому верстат повинен бути підключений до системи витяжки тирси

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

через обидва витяжних штуцера. Швидкість повітря повинна бути не нижче 20 м/с. Необхідно вжити заходів для одночасного пуску верстата і витяжки.

Роботи з електричними деталями верстата має право лише кваліфікований електрик.

Регулярне чищення верстата є важливою умовою безпеки.

запобіжні пристрої

В конструкції верстата особливу увагу приділено створенню оптимальних умов для роботи, від численних механічних і електричних запобіжних пристроїв до шумогасильні покриттів і зниження рівня емісії пилу.

Верстат оснащений усіма запобіжними пристроями, які захищають від потенційних небезпек, джерелом яких він може стати.

Монтаж

Фундамент. На місці установки форматного круглопильного верстата спеціального фундаменту не потрібно. Пол повинен володіти несучою здатністю, відповідної вази верстата, бути рівним і горизонтальним. Якщо верстат гойдається, то це усувається підкладенням ніжок.

Місце монтажу. Місце установки верстата повинно бути вибрано таким чином, щоб з урахуванням займаної площі і розмірів оброблюваних заготовок, залишалось ще достатньо вільного простору навколо верстата. Крім того, необхідно забезпечити і дотримуватися безпечну відстань від елементів будівлі та іншого обладнання, щоб виключити небезпеку травмування оператора (защемлення) або інших осіб.

Активний захист оператора. Для захисту оператора від найбільш небезпечних чинників роботи деревообробного верстату – пильних валів та дисків передбачено систему автоматичного тормозу пильних дисків циркулярної пили та валу фуганку.

Для захисту від деревного пилу передбачено систему відсмоктування стружки з зони різання верстату.

Також техніка безпеки зобов'язує оператора надягати засоби індивідуального захисту: респіратори, виробничий одяг (робу), навушники та захисні окуляри. [2]

6.3. Висновки

В рамках даного розділу розглянуто основні небезпеки використання оператором деревообробного верстату. Більшість з них пов'язана зі значною швидкістю обертання ріжучих поверхонь деревообробного обладнання (і, як наслідок, можливістю завдання механічної шкоди операторові у випадку доторкання до запущених валів), ризиком затискання кареткою подачі або іншими рухомими частинами верстату, ризиком враження електричним струмом, шумом та вібрацією або канцерогенністю деревного пилу, який виділяється в

					СУ-71 6.151.001 ПЗ	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

значних кількостях під час роботи верстату. Тому робота оператора такого верстату може бути названою складною.

У розробленому верстаті передбачено два засоби активного захисту: автоматичні гальма валу головного двигуна та система стружковідсосу з зони активного різання.

Всі інші небезпеки оператора планується звести на нівець за допомогою засобів індивідуального захисту та повного, своєчасного та активного інформування оператора щодо техніки безпеки роботи за деревообробним верстатом.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>77</i>

ВИСНОВКИ

В рамках даного дипломного проекту проведено опис конструктивно-технічних особливостей круглопильно-прирізного верстату ЦДК5. Описано основні агрегати та компоненти заводського виробу. Наведено відомості відносно способів розрахунку енергетичних режимів роботи електроприводів та систем верстату. Обрано основні режими різання деревини за онакою найбільшої енергоефективності. Викладено основні види задач автоматизації для деревообробних верстатів, зокрема, круглопильних, а також перелічено обрані нами в якості завдань автоматизації, пункти.

Також виконано аналітичний огляд існуючих автоматичних та напівавтоматичних систем прирізно-розпиловочних верстатів. На основі викладеного можемо зробити висновок, що найбільш «цікавим» за комбінацією параметрів є саме круглопильно-прирізний верстат ЦДК5. Тому його і обрано в якості основи для автоматизації в даному проекті. На підставі вищевикладеного поставлено задачі проектування, що належать вирішенню в рамках проекту.

В розділі 2 описано розроблену для виконання поставлених завдань автоматизації функціональну схему автоматизації. Описано контури регулювання технологічних параметрів та принципи (а також, канали) взаємодії між елементами системи, та принципи формування вхідних та вихідних параметрів.

Для виконання поставленого завдання вибору комплектного електроприводу головного руху валів верстату та подачі заготовки на циркулярну пилу виконане математичне моделювання механічних та інерційних характеристик роботи еектроприводів. На основі цього дослідження обрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором в якості головного електроприводу верстату. Пацювати цей двигун буде в режимі S7 – неперервний з періодичним навантаженням. В якості приводу подачі обрано кроковий двигун, який може бути керованим через відповідний драйвер. Режим його роботи S3 – повторно-короткочасний. Вказано конкретні моделі двигунів та наведено їх основні технічні характеристики.

Здійснено вибір необхідного набору давачів, ПЛК та панель оператора до нього, а також, складено таблицю вхідних-вихідних сигналів для ПЛК.

На основі викладеної інформації створено електричну принципову схему та (див додаток Г).

Наведено схему інформаційно-матеріальних потоків з вказанням контрольованих параметрів та їх величин та зроблено опис функцій елементного складу. Розроблено алгоритм роботи верстату з урахування різних режимів такої роботи. Виконано словесний опис розробленого алгоритмі функціонування деревопильного агрегату. Для подальшого проектування навіть обрано панель оператора Siemens KTP600, описано її та наведено схему її підключення до обраного раніше програмованого логічного контролеру.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78

В рамках даного розділу розглянуто основні небезпеки використання оператором деревообробного верстату. У розробленому верстаті передбачено два засоби активного захисту: автоматичні гальма валу головного двигуна та система стружковідсосу з зони активного різання. Всі інші небезпеки оператора планується звести на нівець за допомогою засобів індивідуального захисту та повного, своєчасного та активного інформування оператора щодо техніки безпеки роботи за деревообробним верстатом.

На цьому можемо вважати цілі та завдання даної роботи досягнутими та виконаними.

					<i>СУ-71 6.151.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белов М.П. Автоматизований 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. Белова. – К.: Вища школа, 2020
3. Ганнопольський 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. Автоматизований електропривод: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / С.В.Оськін – К.: Вид-во ТОВ «КРОНА», 2019, - 489 с.
7. Суханов В. Г. Круглопильні верстати для розпиловки деревини.— К.: Лісн. пром-сть, 2018.— 96 с
8. PRG: Drive Technologies. Helical Gear Units of PA/PF series catalogue for 2018. 298 p. Access mode – URL: 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 (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-71 6.151.001 ПЗ</i>	Лист
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80