

Міністерство освіти і науки України
Національний Технічний Університет
«Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:
Завідувач кафедри
електроприводу
Казачковський М.М.
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

« ____ » _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМс-15-1
(група)

Павелко О.А.
(п.і.б.)

Тема дипломного проекту: Електропривод шпинделя фрезерного
верстату

затверджена наказом ректора НТУ "ДП" від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний		2.05 23.05.18
Охорона праці		23.05 30.05.18
Економічний		30.05 05.06.18

Завдання видав _____ Казачковський М.М.
(підпис) (п.і.б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Павелко О.А.
(підпис) (п.і.б.)

Дата видачі завдання: 25.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 20.06.2018

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 79 с., 22 рис., 13 табл., 13 джерел, 5 аркушів креслень.

Об'єкт детальної розробки: електропривод головного руху фрезерного верстата.

Мета роботи: розробка точного глибокорегульованого автоматизованого електропривода з використанням двигуна постійного струму.

Вибрані елементи силового кола (електродвигун постійного струму 2ПФ160ЛГ та тиристорний випрямляч VSI7 5CX4A2N0). Розраховані механічні та електричні параметри електропривода.

Здійснений підбір системи числового управління для проектованої модернізації верстата.

Здійснений розрахунок перехідних процесів в електроприводі в режимах пуску та прикладення навантаження для різних частот обертання вала та напруг живлення з використанням пакету MATLAB.

ФРЕЗЕРНИЙ ВЕРСТАТ, ДВОЗОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ШПИНДЕЛЯ, ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, МОДЕЛЮВАННЯ.

					ЕП.ДП.18.08.Р.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory 79 note to., 22 Fig., 13 Tab., 13 Sources, 5 sheets of drawings.

The object of detailed design: electric main motion milling machine.

Objective: To develop an accurate glubokoreguliruemogo automated electric drive using a direct current motor.

Selected elements of the main circuit (direct current motor 2ПФ160ЛГ thyristor rectifier VSI7 5CX4A2N0). Designed mechanical and electrical parameters of the drive.

The selection of the numerical control for the proposed modernization of the machine.

The calculation of transients in the electric drive mode at start-up and application load for different frequencies of rotation and power supply voltages using the package MATLAB.

MILLING VERHSTAT, SPINDLE ELECTRIC DRIVER, DIVING DEVICE, MODELWAVE.

					ЕП.ДП.18.08.Р.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Характеристика верстата та його основні параметри	9
1.2. Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та кінематична схема	15
1.3. Креслення деталі для якої аналізується технологічний процес	16
1.4. Висновки	19
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	21
2.1. Попередній вибір двигуна та передатного числа	21
2.1.1. Двигун вибирають за потужністю свердління з урахуванням діапазону регулювання швидкості, в якому забезпечується незмінність потужності	21
2.1.2. Необхідна кількість ступенів передатного числа, тобто регулювання швидкості переходів	21
2.2. Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень привода головного руху фрезерувального верстату	23
2.2.1. Швидкості, зусилля та тривалості фрезерування	23
2.2.2. Складові зусилля свердління	27
2.2.3. Навантаження приводу шпинделя	28
2.3. Перевірка попередньо вибраного двигуна на нагрів	31
2.4. Вибір елементів силового кола	34
2.5. Розрахунок параметрів САР	37

					ЕП.ДП.18.08.3.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.1. Тиристорний привод постійного струму	37
2.5.2. Параметри САР двозонного електроприводу	39
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів	58
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	58
4.3 Заходи, спрямовані на захист навколишнього середовища	64
4.4 Протипожежна профілактика	67
4.5 Заходи з ергономіки	67
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	70
5.1 Розрахунок капітальних витрат	70
5.2 Витрати на придбання обладнання	70
5.3 Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи	70
5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	74
5.5 Розрахунок амортизаційних відрахувань	74
5.6 Річні витрати на поточний ремонт та обслуговування	75
5.7 Вартість споживаної електроенергії	76
5.8 Інші витрати	77
5.9 Висновки	77
ВИСНОВОК	78
ЛИТЕРАТУРА	79

					ЕП.ДП.18.08.3.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На виробництві для збільшення продуктивності, точності і чистоти обробки деталей застосовуються механізми з числовим програмним управлінням.

Обертання фрези в такому верстаті передається від електродвигуна за допомогою коробки швидкостей. Частоту обертання фрези змінюють шляхом регулювання частоти обертання електродвигуна і за допомогою коробки швидкостей. Напрямок обертання фрези змінюють реверсуванням електродвигуна.

Приводами переміщень фрези по осі Y, стійкі по осі Z, і столу по осі X служать високомоментні електродвигуни, з'єднані муфтами з кульковими гвинтами. Основним видом тягового пристрою фрезерувального станка з ЧПУ є передача гвинт-гайка кочення або кулько-гвинтова передача. Ця передача використовується в приводах подачі і позиціонування столів, супортів та інших рухомих вузлів фрезерувальних станків. Широке застосування передачі обумовлено високим ККД, пов'язаним з низькими втратами на тертя, незначним впливом частоти обертання гвинта на силу тертя, відсутністю осьового зазору і досить високою жорсткістю.

Завдання для руху приводу головного фрезерного верстата виконується за допомогою програми блоку ЧПУ. Для написання програми ЧПУ необхідно знати технічні характеристики подачі, такі як максимальне прискорення, максимальна швидкість подачі, максимальна сила подачі, відповідна її глибина і фрезерування, які залежать від налаштувань системи автоматичного керування (САК) і обраних електродвигуна, комплектного електропривода.

					ЕП.ДП.18.08.В.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика верстата та його основні параметри

Фрезерний станок вертикальний спеціалізований з ЧПУ і автоматичною зміною інструменту типу МА655А7, призначений для обробки деталей складної криволінійної форми типу дисків, плит, важелів, корпусних деталей та ін., виготовлених зі сталей, титанових і легких сплавів в умовах механічного цеху за відсутності поблизу зварювальних апаратів установок ТВЧ та інших джерел перешкод і теплової радіації, а також обладнання ударної дії, що викликає вібрацію.

Станок МА655А7 являє собою вертикальний фрезерний станок, оснащений системою програмного керування та магазином для інструментів типу «Корона».

На станку можна робити фрезерування площин.

Обробка проводиться за трьома координатами по програмі. Фрезерний станок здійснює переміщення столу, салазок і фрезерної головки, перемикає число обертів фрези, включення і виключення фрези.

Автоматичне управління станком за програмою здійснюється пристроєм числового програмного керування.

Пристосування з оброблюваною заготовкою кріпиться на робочій поверхні столу. Basis для установки пристосування служать середній паз столу і калібрований отвір, розташований в центрі столу.

Стіл в поздовжньому напрямі переміщується уздовж салазок по загартованим направляючим на елементах кочення типу «танкетки», салазки, у свою чергу, переміщуються в поперечному напрямку на «танкетках» за направляючими станини.

На задню частину станини встановлюється стійка, по вертикальних направляючих якої переміщується фрезерна головка.

Таким чином, всі три рухи утворюють в просторі систему координат, де:

- координата X - поздовжнє переміщення столу;
- координата Y - поперечне переміщення салазок;
- координата Z - вертикальне переміщення фрезерної головки.

					ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переміщення столу, салазок і фрезерної головки здійснюється від електродвигунів і кулькових гвинтових пар, встановлених відповідно на салазках, станині та стойці.

Всі три рухи під час обробки деталі автоматизовані. Обертання фрези здійснюється від постійного електродвигуна.

Перемикання зубчастих передач коробки швидкостей фрезерної головки дає можливість отримати 6 діапазонів чисел оборотів фрези.

Датчиками зворотного зв'язку положення механізмів за координатами X, Y і Z є оптико-електронні перетворювачі кутових переміщень ЛР158, пов'язані з ходовими гвинтами.

Фрезерна головка оснащена конічним чашоподібним магазином на 8 інструментів, змонтованим на повзуні. Вісь кожного гнізда для інструменту шляхом повороту магазину поєднується з віссю фрези.

Автоматична зміна інструменту в загальному циклі роботи фрезерного станка виділена в окремий періодично повторюваний цикл зміни інструменту.

Для зміни інструменту фрезерна головка повинна бути відведена у верхнє положення для уникнення удару інструменту об деталь при повороті магазину. Подвійний блок зубчастих коліс фрезерної головки займає середнє (нейтральне) положення, тобто відбувається розрив кінематичного ланцюга головного руху. Потім фреза орієнтується в кутовому положенні за допомогою механізму орієнтації фрези, змонтованого в корпусі фрезерної головки. Після заміни інструменту головка займає положення для виконання технологічної операції новим інструментом.

Поворот магазину здійснюється за допомогою гідромотору.

Вибір і зміна інструменту може здійснюватися як за програмою, так і в налагоджувальному режимі.

На фрезерному станку передбачений напівавтоматичний цикл роботи, коли заготовка оброблюваної деталі встановлюється і вивіряється оператором, а всі рухи різання виконуються автоматично. Управління фрезерним станком по цьому циклу здійснюється від керуючого пристрою ЧПУ.

					ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата MA655A7

№ п/п	Параметри	Од.вимір	Значення
1	Висота поверхні стола над підлогою	мм	900
2	Робоча поверхня столу довжина ширина	мм	1250 500
3	Відстань від поверхні столу до торця фрези найбільше найменше у вихідному положенні "0"	мм	790 160 740
4	Відстань від осі фрези до вертикальних направляючих стійки	мм	560
5	Найбільше переміщення в автоматичному режимі, поздовжнього стола X поперечних салазок Y вертикальної фрезерної головки	мм	1000 500 630
6	Діапазон робочих подач	мм/хв	5...2400
7	Швидкості прискорених переміщень по осям X Y по осі Z	мм/хв	4800 4800
8	Регулювання робочих подач	безступінчасте	
9	Діапазон чисел обертів шпинделя	об/хв	20...2500
10	Число діапазон обертів фрези		6
11	Зміна обертів фрези	ступінчасте по програмі	
12	Максимальний припустимий момент на фрези	Нм	750
13	Найбільше зусилля фрезерування в горизонтальній площині	Н	7500
14	Кількість інструментів в магазині		8
15	Точність позиціонування стола по координатах X, Y	мм	±0,02
16	Точність обробки деталі по контуру	мм	±0,05
17	Габаритні розміри верстата довжина ширина висота	мм	2360 2660 3680
18	Маса верстата	кг	10000

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ

Арк.

11

Загальний вигляд верстата наведений на рисунку 1.1

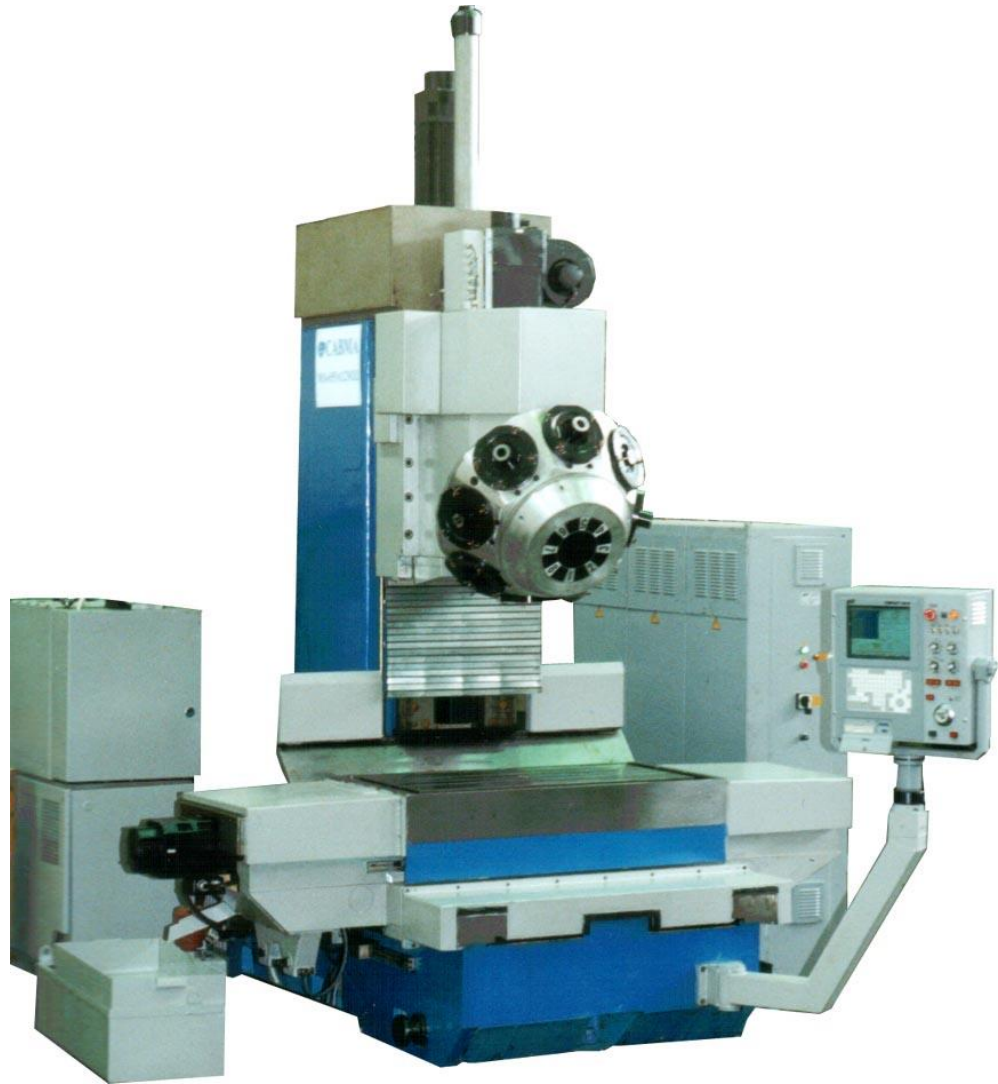


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд вертикального фрезерного верстата MA655A7

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ

Арк.

12

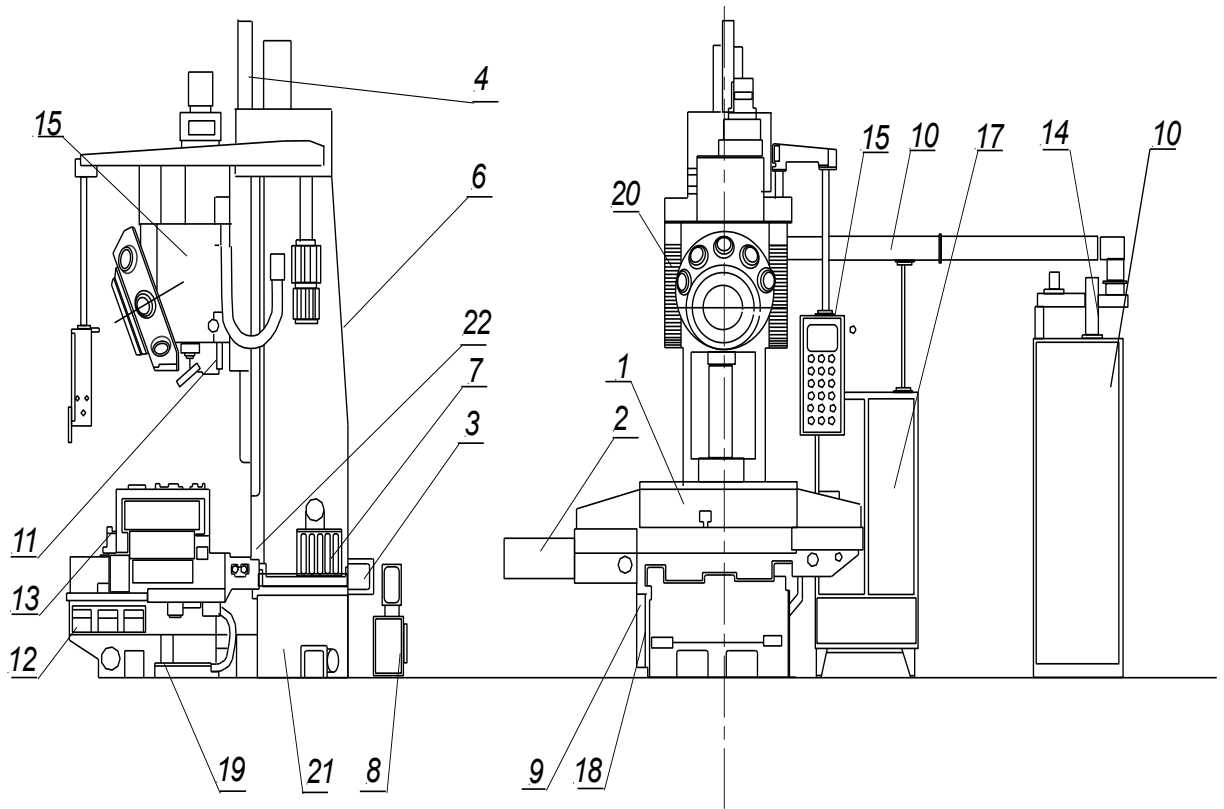


Рисунок 1.2 – Схема вертикального фрезерного верстата МА655А7

- | | | | |
|----|---|----|---------------------------------|
| 1 | Стіл та салазки | 12 | Оптичний ноніус |
| 2 | Привод поздовжніх подач | 13 | Оптичний ноніус |
| 3 | Привод поперечної подачі | 14 | Електрошафа |
| 4 | Привод вертикальної подачі | 15 | Підвісний пульт з пристроєм ЧПУ |
| 5 | Головка фрезерувальна | 16 | Електрообладнання |
| 6 | Стойка | 17 | Насосна станція |
| 7 | Блок гідросистеми | 18 | Привод живлення лівий |
| 8 | Насосна станція змащення та охолодження | 19 | Привод живлення правий |
| 9 | Датчик | 20 | Короб гнучкий |
| 10 | Електрошафа | 21 | Станина |
| 11 | Система охолодження інструменту | 22 | Кожух |

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ

Арк.

13

Загальна характеристика електрообладнання фрезерного станка, його режимів роботи та умов експлуатації.

Таблиця.1.2 – Агрегати електросистеми верстата МА655А7

№	Найменування системи	Од.вимір.	Тип
1	Електродвигун приводу шпинделя		2ПФ160ЛГ
	кількість		1
	потужність	кВт	11
	напруга живлення	В	380
	номінальне число обертів	об/хв	1500
2	Електродвигун приводів подач		ДВУ2М215LT2
	кількість		3
	потужність	кВт	2,4
	напруга живлення	В	520
	номінальне число обертів	об/хв	2000
3	Електродвигун привода насоса гідросистеми		А02-42-6
	потужність	кВт	4
	напруга живлення	В	380
	номінальне число обертів	об/хв	930
4	Електродвигун привода вентилятора гідросистеми		4А50В2У3
	потужність	кВт	0,12
	напруга живлення	В	220
	номінальне число обертів	об/хв	1500
5	Електродвигун привода насоса Х14-22Н системи охолодження інструменту		
	потужність	кВт	0,12
	напруга живлення	В	380
	номінальне число обертів	об/хв	2800
6	Електродвигун привода насоса змащування направляючих верстата		АОЛ-24-4
	потужність	кВт	0,18
	напруга живлення	В	380
	номінальне число обертів	об/хв	1450

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ

Арк.

14

Продовження таблиці 1.2 - Агрегати електросистеми верстата МА655А7

7	Електродвигун привода насоса циркуляційного змащування ВГ-11-11А		АОЛ-21-43Ф
	потужність	кВт	0,27
	напруга живлення	В	380
	номінальне число обертів	об/хв	1450

Складність фрезерного станка визначає і складність його електросистеми. Силкові приводи оснащені електродвигунами різного типу, окрему електросистему має гідравлічна система перемикання передач приводу фрези.

1.2 Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та кінематична схема

Для подальшого опрацювання з метою удосконалення фрезерного станка обирається привод головного руху фрезерного станка.

Обертання фрези з різальним інструментом здійснюється від електродвигуна через коробку передач, що забезпечує вісімнадцять фіксованих значень швидкості обертання в діапазоні 20...2500 об/хв.

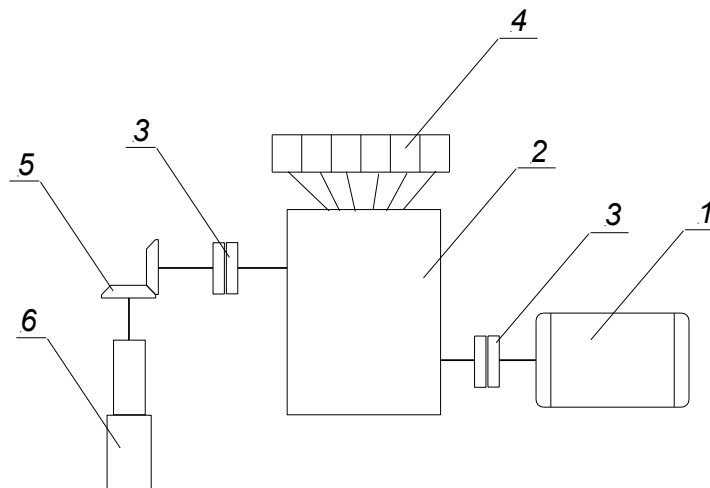


Рисунок 1.3 – Принципова схема привода головного руху фрезерувального верстата МА655А7

1 – електродвигун постійного струму; 2 – коробка передач; 3 – еластична муфта; 4 – блок електромагнітних гідро клапанів; 5 – конічна зубчаста передача; 6 – шпиндель.

Зміна швидкості обертання відбувається завдяки зміні конфігурації зубчастого зчеплення, через яке обертальний момент передається від електродвигуна до фрези. В свою чергу зміна конфігурації відбувається за допомогою рухливих передавальних шестерень, що пересуваються вздовж валів коробки передач за допомогою гідравлічних пристроїв. Спочатку вхідний вал відключається від електромотора, потім відбувається зміна діапазону і наприкінці зміна швидкості всередині діапазону.

1.3 Креслення деталі для якої аналізується технологічний процес

Заготовка деталі виготовлена штампуванням з конструкційної сталі 30ХГСА, Деталь входить до складу механічної системи управління сільськогосподарської техніки.

Порядок обробки деталі, параметри режимів різання; траєкторії переміщення інструменту при обробці деталі.

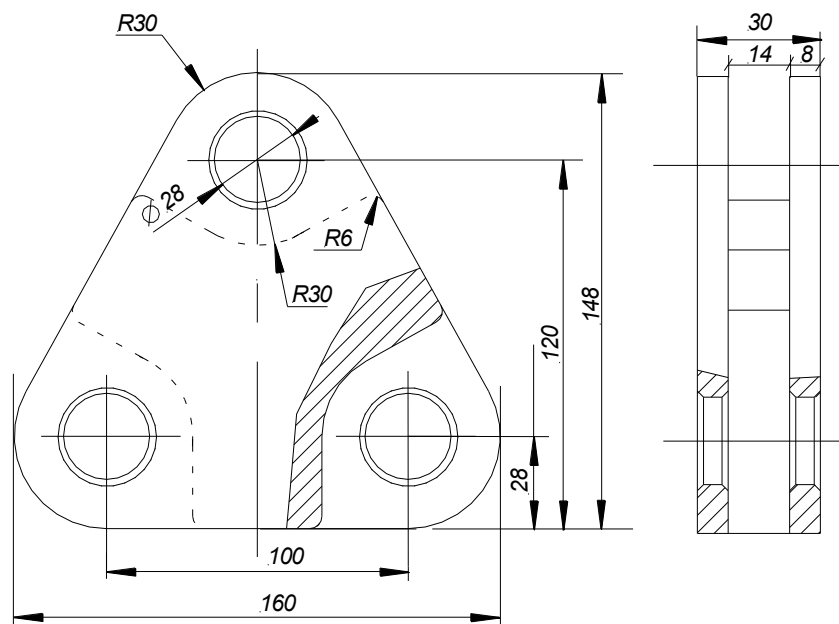


Рисунок 1.4 – Трикутний важіль

Деталь, для якої аналізується технологічний процес виготовляється практично без виключення операціями фрезерування. Процес виготовлення деталі проходить в так званому встановленому режимі, тобто зміна положень деталі проводиться вручну, а операції механічної обробки проходять в автоматичному режимі включаючи заміну інструменту.

					ЕП.ДП.18.08.01.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В технологічному процесі виготовлення деталі задіяні три різновиди фрез.

Для фіксації деталі на столі верстата використовуються спеціальні пристосування, одне з яких виготовлене спеціально для виробництва зазначеної деталі.

Структура процесу механічної обробки наведена на рисунку 1.5, і 1.6

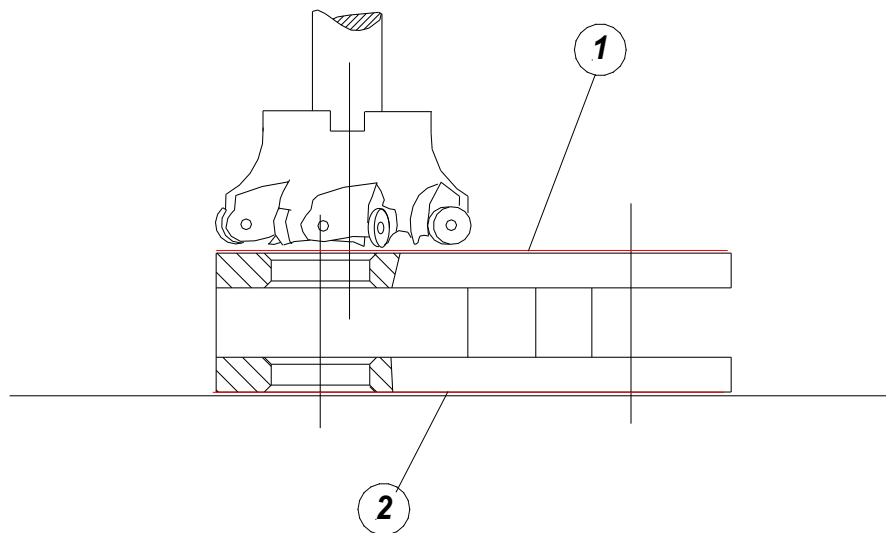


Рисунок 1.5 – Структура процесу механічної обробки

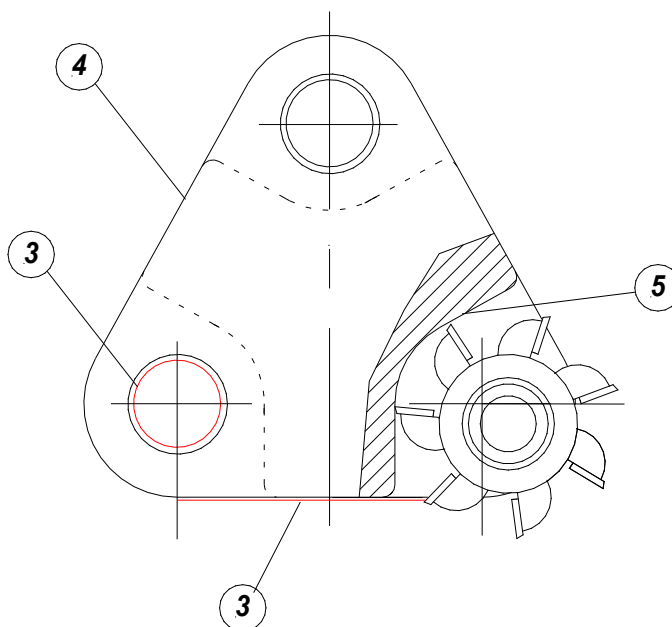


Рисунок 1.6 – Розташування оброблюваних площин деталі

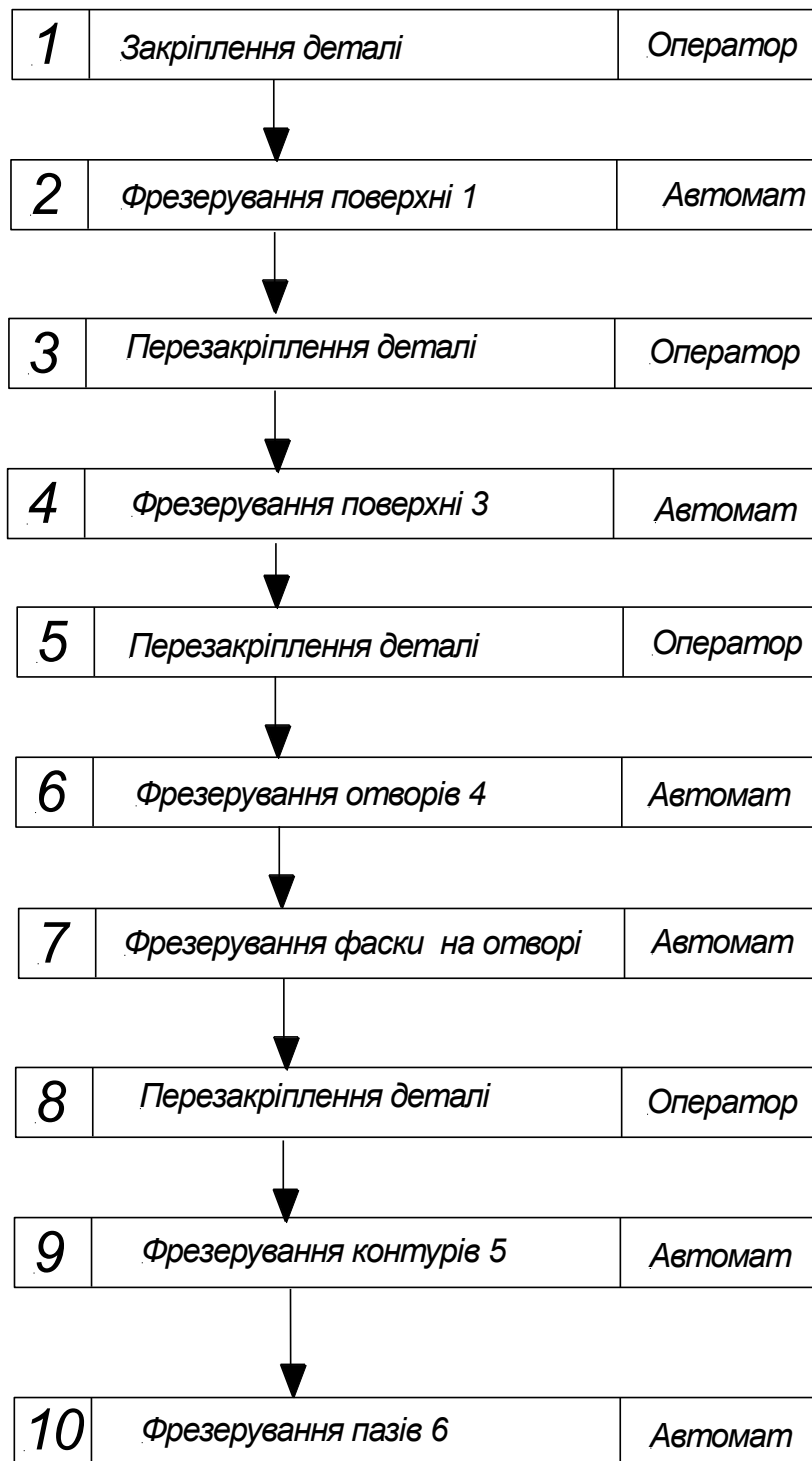


Рисунок 1.7 – Структура технологічного процесу механічної обробки

Випробування фрезерного станка при різних режимах різання дозволили встановити залежність між моментом на валу фрези та числом обертів, Ці залежності мають форму графіків для кожного діапазону числа обертів, що дозволяє технологу

2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						20
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. АВТОМАТИЗОВАНІЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

2.1. Попередній вибір двигуна та передатного числа

2.1.1. Двигун вибирають за потужністю свердління з урахуванням діапазону регулювання швидкості, в якому забезпечується незмінність потужності.

То для отримання потрібного діапазону регулювання необхідно застосувати коробку швидкостей, з передатним числом яке забезпечить незмінність потужності в усьому діапазоні $n_1..n_2$.

2.1.2 Необхідна кількість ступенів передатного числа, тобто регулювання швидкості переходів:

$$q = \frac{\lg(Db)}{\lg(D_\phi)}$$

$$n_{dmax} = 3750 \text{ об/хв.}$$

$$n_{dn} = 1500 \text{ об/хв}$$

$$D_\phi = N_{dmax} / n_{dn}$$

$$D_\phi = 2,5$$

З вимог до електроприводу маємо:

$$n_1 = 224 \text{ об/хв.}$$

$$n_2 = 2240 \text{ об/хв}$$

$$D_b = \frac{n_2}{n_1} = 10$$

$$q = \frac{\lg(Db)}{\lg(D_\phi)} = \frac{\lg(10)}{\lg(2,5)} = 2,513$$

приймаємо $q = 3$

Передатне число першого проходу:

$$i_1 = \frac{n_{dn}}{n_1} = \frac{1500}{224} = 6,696$$

Максимальна швидкість першого проходу:

$$n_{1max} = \sqrt[q]{n_2 n_1^{q-1}},$$

1 – й прохід:

$$n_{1max} = \sqrt[3]{n_2 n_1^{3-1}} = \sqrt[3]{2240 \cdot 224^{3-1}} = 482,593$$

$$n_{1min} = n_1 = 224 \text{ об/хв}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна швидкість k -ого проходу:

$$n_{k,\max} = \frac{n_{k-1,\max}^2}{n_{k-1,\min}} \quad (k=1, 2, \dots, q).$$

Мінімальна швидкість k -ого проходу:

$$n_{k,\min} = n_{k-1,\max}.$$

2-й прохід:

$$n_{2,\max} = \frac{n_{1\max}^2}{n_{1\min}} = \frac{482,593}{224} = 1040 \text{ об/хв}$$

$$n_{\min} = n_{1\max} = 482,593 \text{ об/хв}$$

3-й прохід:

$$n_{3,\max} = \frac{n_{2\max}^2}{n_{2\min}} = 2240 \text{ об/хв}$$

$$n_{3\min} = n_{2\max} = 1040 \text{ об/хв.}$$

Передатне число k -ого проходу:

$$i_k = \frac{n_{\text{дн}}}{n_{k,\min}}$$

Передатне число 2-го проходу:

$$i_2 = \frac{n_{\text{дн}}}{n_{2\min}} = 3,108$$

Передатне число 3-го проходу:

$$i_3 = \frac{n_{\text{дн}}}{n_{3\min}} = 1,443$$

На рис.2.1 зображені залежності потужності фрезерування P_Z та потужності двигуна від швидкості фрези (лінії 1, 2, 3) для трьох значень передатного числа (відповідно до кінематичної схеми рис. 2.3).

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

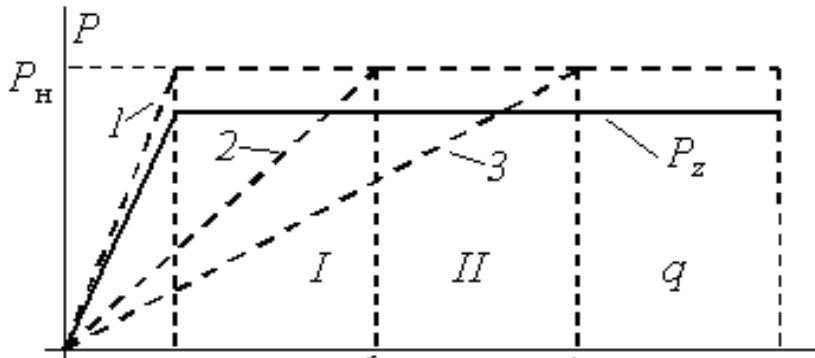


Рисунок 2.1. - Залежність потужностей двигуна і фрезерування від швидкості фрези

2.2 Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень привода головного руху фрезерувального верстату

2.2.1. Швидкості, зусилля та тривалості фрезерування

Швидкості та зусилля розраховують для фрезерування, як найбільш важкого режиму.

Фрезерування розраховують за емпіричною формулою:

$$v = \frac{C_v D^{qv}}{60 T^m t^{X_v} s^{Y_v} B^{uv} Z^p}, \text{ м/хв}, \quad (2.2.1)$$

де, t – глибина різання, мм;

s – подача на зуб фрези, мм/зуб;

$T = 60$ хв – стійкість фрези;

C_v, X_v, Y_v, m – емпіричні коефіцієнти, значення яких залежать від подачі.

$$C_v = 350 \quad m = 0,2 \quad X_v = 0,15 \quad Y_v = 0,35 \quad T = 60 \quad t = 4 \quad s = 0,5$$

$$v = \frac{C_v D^{qv}}{60 T^m t^{X_v} s^{Y_v} B^{uv} Z^p} = \frac{350}{60^{0,2} 4^{0,15} 2^{0,5}} = 159,768 \quad \text{м/хв}$$

Частоту обертання фрези для кожного з переходів під фрезерування визначають як:

$$\omega_{шi} = \frac{100v}{3D_i}, \text{ с}^{-1}$$

де, D_i – діаметр оброблюваної поверхні на i -ому переході, м.

									ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Тривалість переходу під час фрезерування:

$$t_i = \frac{2\pi L_i}{s\omega_\phi}, \text{ с,}$$

де, L_i – шлях, пройдений центром фрези на поточному переході, мм.

$$\begin{aligned} L_{11} = L_{12} = L_{13} = L_{14} = L_{15} = L_{16} = L_{17} = \\ = L_2 + (L - L_1) = 37,5 + (70 - 67,5) = 40 \text{ мм} \end{aligned}$$

Номер переходу на етапі (1 – му):

$i = 1, 2.$

Таблиця 2.2.3 - Тривалість переходу під час фрезерування

№	$t_{pli(k)}$
1	17,556
2	16,8
3	16,045
4	15,29
5	14,535
6	13,78
7	13,025
8	15,27

2-й етап:

Частота обертання фрези дорівнює:

Перший перехід:

$$w_\phi = \frac{100 \cdot v}{3D} = \frac{2 \cdot 159,768}{3 \cdot 106} = 50,241 \text{ 1/с}$$

Перехід 2-5 фреза виконує обробку торцевої поверхні, тому з метою стабілізації окружної швидкості фрезерування, частота обертання фрези безперервно змінюється системою ЧПК пропорційною радіусу оброблюваної поверхні, а швидкість подачі - пропорційною частоті обертання фрези для стабілізації обертової подачі.

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб розрахувати частоту обертання фрези за змінного радіусу обробки необхідно визначити початкову та кінцеву частоти відповідно:

$$D_{22p} = D_1 = 106 \text{ мм} \quad D_{22k} = D_2 = 130 \text{ мм}$$

$$w_{\phi} = \frac{100 \cdot v}{3D} = \frac{2 \cdot 159,768}{3 \cdot 106} = 50,241 \text{ 1/с}$$

$$w_{\phi} = \frac{100 \cdot v}{3D} = \frac{2 \cdot 159,768}{3 \cdot 130} = 50,241 \text{ 1/с}$$

Причому зміну частоти у часі вважаємо лінійною.

Швидкість робочої подачі для першого переходу дорівнює:

$$u_{p21} = \frac{s \cdot w_{h21}}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,5 \cdot 50,241}{2000 \cdot 3,14} = 3,998 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Для другого переходу визначаємо дві швидкості робочої подачі початкову та кінцеву, а зміну її у часі вважаємо лінійною.

$$u_{p22p} = \frac{s \cdot w_{h22p}}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,5 \cdot 50,241}{2000 \cdot 3,14} = 3,998 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

$$u_{p22k} = \frac{s \cdot w_{h22k}}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,5 \cdot 40,966}{2000 \cdot 3,14} = 3,26 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість робочої подачі на 1-у переході:

$$u_{p31} = \frac{s_p \cdot w_{h31}}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,25 \cdot 28,029}{2000 \cdot 3,14} = 1,115 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість робочої подачі на 2-у переході:

$$u_{p32} = \frac{s_p \cdot w_{h32}}{2000 \cdot \pi} = \frac{0,25 \cdot 34,482}{2000 \cdot 3,14} = 1,372 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Визначаємо тривалість переходу під час фрезерування, перехід 1.

$$L_{31} = L_3 - L_2 = 57,5 - 37,5 = 20 \text{ мм}$$

$$t_{p31} = \frac{2\pi L_{31}}{s\omega_{\phi}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 37,5}{0,5 \cdot 50,241} = 17,933 \text{ с}$$

Тривалість переходу під час фрезерування, перехід 2.

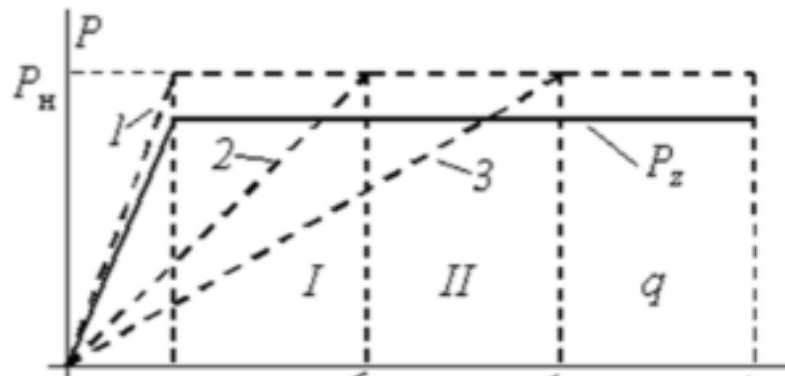
$$L_{32} = 57,5 - 37,5 = 20 \text{ мм}$$

$$t_{p32} = \frac{2\pi L_{32}}{s\omega_{\phi}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{0,5 \cdot 50,241} = 14,577 \text{ с}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вигляд діаграми швидкостей фрези під час обробки деталі, наведена на рис. 2 аркуша 1. У розрахункових формулах перша цифра відповідає номеру етапу обробки, а друга цифра відповідає номеру переходу на рисунках 1, 2, 3.

Рисунок 2.2.1 - Діаграма швидкостей і навантажень привода головного руху



2.2.2. Складові зусилля свердління:

Уздовж подачі:

$$F_x = \frac{10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s^{Y_{Fx}} v^{n_x}}{D^{qF} n_{\phi}^w}, \text{ Н.}$$

Перпендикулярно подачі:

$$F_y = \frac{10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s^{Y_{Fy}} v^{n_y}}{D^{qF} n_{\phi}^w}, \text{ Н;}$$

Емпіричні коефіцієнти зусилля фрезерування на I-у переході (Оскільки в цьому випадку фрезерування зустрічне, а подача здійснюється вздовж осі X):

$$F_x = \frac{10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s^{Y_{Fx}} v^{n_x}}{D^{qF} n_{\phi}^w} =$$

$$= \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 4^{0,95} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 159,768^{-0,15} \cdot 300}{3^{1,1} \cdot 448,593} = 3,333 \cdot 10^3 \text{ Н;}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Емпіричні коефіцієнти зусилля фрезерування на III-у переході (оскільки фрезерування попутне):

$$F_y = \frac{10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s^{Y_{Fy}} v^{n_y}}{D^{qF} n_{\phi}^w} =$$

$$= \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 4^{0,95} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 159,768^{-0,15} \cdot 243}{3^{1,1} \cdot 448,593} = 1.061 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

2.2.3. Навантаження приводу шпинделя:

Статичний момент на валу двигуна на кожному з переходів:

$$M_c = \frac{F_z D_i}{2000i\eta},$$

де, i – загальне передатне число передачі;

$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$ – сумарний коефіцієнт корисної дії передачі (визначається з ККД окремих пар за даними довідника).

Щоб визначити, яке з розрахованих у п. 2.2.2 передатних чисел використовувати тут і надалі, слід для кожного з переходів вибрати таке з них, за якого швидкість двигуна лежить у межах від номінальної до максимальної:

$$\omega_{дн} \leq \omega_{дi} = \omega_{ши} i_k \leq \omega_{дmax}$$

$$\omega_{дн} = \frac{\pi \cdot n_{дн}}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ 1/с}$$

$$\omega_{дmax} = \frac{\pi \cdot n_{дmax}}{30} = \frac{\pi \cdot 3750,08}{30} = 392,699 \text{ 1/с}$$

Аналізуючи швидкості фрези на трьох етапах обробки можна зробити висновки що передатне число i 1 забезпечує швидкість фрези у вказаному вище діапазоні.

Підтвердимо це розрахунками; для цього візьмемо найменшу та найбільшу швидкості обертання фрези ω_{h31} та ω_{h21} .

$$n_{h31} = \frac{30 \cdot \omega_{h31}}{\pi} = \frac{30 \cdot 28,029}{3,14} = 267,661 \text{ об/хв};$$

$$n_{h21} = \frac{30 \cdot \omega_{h21}}{\pi} = \frac{30 \cdot 50,241}{3,14} = 479,771 \text{ об/хв};$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{1\min} = 224 \text{ об/хв}$$

$$n_{1\max} = 482,593 \text{ об/хв}$$

З розрахунків видно що найменша швидкість на усіх етапах більша ніж мінімальна швидкість першого діапазону, а найбільша швидкість на усіх етапах менша ніж максимальна швидкість першого діапазону.

$$\eta_{rp} = 0,93 \quad \text{ККД ремінної передачі}$$

$$\eta_{zp1} = 0,982 \quad \text{ККД зубчатої передачі з } i = 1$$

$$\eta_{zp2} = 0,98 \quad \text{ККД зубчатої передачі з } i = 6,7$$

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{rp} \cdot \eta_{zp1} \cdot \eta_{zp2} = 0,893$$

Сумарне передаточне число, за кінематичною схемою верстата.

1 – й етап:

$$M_{s1i(k)} = \frac{F_z D_{1i(k)}}{2000 \cdot i1 \cdot \eta_{\Sigma}}$$

Номер переходу на етапі (1-у) - $i = 1, 2$;

Передатне число першого проходу - $i_1 = 6,696$;

Діаметр обробки на k – тому переході: $D_{1i(k)}$;

Коефіцієнт переходу: k

Таблиця 2.2.3.1 - Сумарне передаточне число верстата

№	$M_{s1i(k)}$
1	51,831
2	49,602
3	47,372
4	45,143
5	42,914
6	40,685
7	38,455
8	36,226

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ

Арк.

29

2 – й етап:

$$D_{21} = D_1 = 106 \text{ мм}$$

Діаметр обробки на 1-у переході 2-гого етапу.

$$M_{s21} = \frac{F_z \cdot \frac{D_{21}}{1000}}{2000 \cdot i_1 \cdot \eta \sum} = \frac{3333 \cdot \frac{106}{1000}}{2000 \cdot 6,696 \cdot 0,893} = 29,593 \text{ Нм}$$

Статичний момент на першому переході другого етапу.

$$D_{22p} = D_1 = 106 \text{ мм}$$

Початковий діаметр обробки на другому переході другого етапу .

$$D_{22k} = D_2 = 130 \text{ мм}$$

Кінцевий діаметр обробки на другому переході другого етапу.

$$M_{s22p} = \frac{F_z \cdot \frac{D_{22p}}{1000}}{2000 \cdot i_1 \cdot \eta \sum} = \frac{3333 \cdot \frac{106}{1000}}{2000 \cdot 6,696 \cdot 0,893} = 29,593 \text{ Нм}$$

Початковий статичний момент на другому переході другого етапу.

$$M_{s22p} = \frac{F_z \cdot \frac{D_{22p}}{1000}}{2000 \cdot i_1 \cdot \eta \sum} = \frac{3333 \cdot \frac{130}{1000}}{2000 \cdot 6,696 \cdot 0,893} = 36,226 \text{ Нм}$$

Кінцевий статичний момент на другому переході другого етапу.

На цьому переході зі змінним радіусом залежність статичного моменту від часу вважаємо лінійною.

Сумарний зведений до валу двигуна момент інерції привода:

$$J = J_{dv} + J_{hk} + \frac{J_{pv}}{i_r^2} + \frac{J_{hp} + J_{det}}{i_1^2} = 0,1 + 0,01 + \frac{0,08}{2^2} + \frac{0,06 + 2,017}{6,69^2} = 0,176 \text{ кгм}^2$$

де, J_{dv} , J_{hk} , J_{pv} , J_{hp} , J_{det} - момент інерції двигуна, шківів, проміжного валу, фрези та деталі;

i_r - передатне число ремінної передачі.

Динамічний момент на ділянках зі змінною швидкістю

$$M_j = J \cdot i_1 \cdot \frac{\omega_{h22p} - \omega_{h22k}}{t_{PT22}} = 0,093 \cdot 2 \cdot \frac{50,241 - 40,966}{6,682} = 0,86 \text{ Нм}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ω_{h22p} - початкова швидкість фрези на ділянці зі змінною швидкістю

ω_{h22k} - кінцева швидкість фрези на ділянці зі змінною швидкістю

t_{pt22} - тривалість цієї ділянки:

Повний момент двигуна:

$$M = M_c + M_j$$

2.3. Перевірка попередньо вибраного двигуна на нагрів

Двигун шпинделя:

Критеріями перевірки двигуна є нагрів та перевантажувальна здатність. Еквівалентний за нагріванням момент для розрахованої діаграми навантажень дорівнює:

$$M_e = \sqrt{\frac{\sum M_{ci}^2 t_i}{t_{ц}}},$$

де, M_{ci} та t_i – статичний момент на i -й ділянці навантажувальної діаграми та тривалість цієї ділянки:

$$M_{s11} = M_{s11}^2 \cdot t_{p11} = 51,831 \cdot 17,556 = 47160 \text{ Нм}$$

$$M_{s12} = M_{s12}^2 \cdot t_{p12} = 49,602 \cdot 16,8 = 41330 \text{ Нм}$$

$$M_{s13} = M_{s13}^3 \cdot t_{p13} = 47,372 \cdot 16,045 = 36010 \text{ Нм}$$

$$M_{s14} = M_{s13}^4 \cdot t_{p14} = 45,143 \cdot 15,29 = 31160 \text{ Нм}$$

$$M_{s15} = M_{s13}^5 \cdot t_{p15} = 42,914 \cdot 14,535 = 26770 \text{ Нм}$$

$$M_{s16} = M_{s16}^2 \cdot t_{p16} = 40,685 \cdot 13,78 = 22810 \text{ Нм}$$

$$M_{s17} = M_{s17}^2 \cdot t_{p17} = 38,455 \cdot 13,025 = 19260 \text{ Нм}$$

$$M_{s18} = M_{s18}^2 \cdot t_{p18} = 36226 \cdot 12,27 = 16100 \text{ Нм}$$

1 - й перехід

$$M_{s1\Sigma} = M_{s11} + M_{s12} + M_{s13} + M_{s14} + M_{s15} + M_{s16} + M_{s16} + M_{s17} + \\ + M_{s18} = 128800 \text{ Нм}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ділянок з лінійною зміною моменту замість M_{ci} підставляють середньоквадратичне значення:

$$M_{cki} = \sqrt{\frac{(M_{поч}^2 + M_{кін}^2 - M_{поч}M_{кін})}{3}},$$

де, $M_{поч}$ та $M_{кін}$ – моменти на початку та в кінці ділянки лінійної зміни моменту:

$$M_{S2\Sigma} = M_{S21}^2 \cdot t_{p21} \cdot \left(\sqrt{\frac{(M_{поч}^2 + M_{кін}^2 - M_{поч}M_{кін})}{3}} \right) \cdot t_{pt22}$$

$$M_{S2\Sigma} = 1,776 \cdot 10^4 \text{ Нм}$$

$$M_{S2\Sigma} = M_{S31}^2 \cdot t_{p31} + M_{S32}^2 \cdot t_{p32}$$

$$M_{S2\Sigma} = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Нм}$$

$$t_{p11} = 17,556$$

$$t_{p12} = 16,8$$

$$t_{p13} = 16,045$$

$$t_{p14} = 15,29$$

$$t_{p15} = 14,535$$

$$t_{p16} = 13,78$$

$$t_{p17} = 13,025$$

$$t_{p18} = 12,27$$

$$t_{p1\Sigma} = t_{p11} + t_{p12} + t_{p13} + t_{p14} + t_{p15} + t_{p16} + t_{p17} + t_{p18}$$

$$t_{p1\Sigma} = 119,302$$

$$t_{p1\Sigma} = t_{p21} + t_{p22}$$

$$t_{p2\Sigma} = 24,191$$

$$t_{p3\Sigma} = t_{p31} + t_{p32} = 17,933 + 14,577 = 32,51 \text{ с} \quad \Sigma \text{ час 3 – го переходу}$$

Тривалість паузи:

$$t_0 = 3 \text{ с}$$

$$t_u = t_{p1\Sigma} + t_{p2\Sigma} + t_{p3\Sigma} + 11 \cdot t_0 =$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$= 119,302 + 24,191 + 32,51 = 209,03 \text{ с} \quad \Sigma - \text{ час циклу}$$

$$M_e = \sqrt{\frac{M_{s1} \Sigma + M_{s2} \Sigma + M_{s3} \Sigma}{t_y}} = \sqrt{\frac{128800 + 17760 + 102000}{209,03}} = 34,49 \text{ Нм}$$

$$M_n = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_{dn}} = \frac{11 \cdot 1000}{157,08} = 70,028 \text{ Нм}$$

Двигун не перегрівається, якщо його номінальний момент:

$$M_H \geq (1,1 \dots 1,2) M_e.$$

$$M_H > 1,2 M_e \quad 70,028 > 41,388 \text{ Нм}$$

Тобто умова виконується і двигун не перегрівається:

Так як ні на одному з переходів швидкість фрези не перевищує номінальну швидкість двигуна то перевірку на переважувальну здатність здійснюємо тільки для ділянки з найбільшим статичним моментом, тобто 1-го переходу 3-го етапу за умовою $M_{ci} < M_{max}$.

$$M_{c31} = 60,6 \text{ Нм.}$$

$$M_{dvmax} = \lambda_{dv} \cdot M_n = 3 \cdot 70,028 = 210 \text{ Нм}$$

Умова виконується:

$$M_{c31} < M_{dvmax}$$

Максимальна швидкість двигуна відповідає максимальній швидкості шпинделя.

З двигунів з електромагнітним збудженням вибираємо двигун із потужністю

$$P_H \geq (1,2 \dots 1,3) P_z$$

Т.я. $P_z = 10 \text{ кВт}$, то $P_H = 11 \text{ кВт}$

Таблиця 2.3.1 - Дані обраного двигуна

Тип	P _H , кВт	Частота обертання, об/хв		ККД %	Опори обмоток, Ом (за 15° С)			Індуктивності обмоток		Момент інерції, кгм ²
		ном.	макс.		R _я	R _{дп}	R _з	L _я +L _{дп} , мГн	L _з , Гн	
2ПФ160ЛГ	11	1500	3750	84,5	0,385	0,364	49,4	12,5	19,4	0.1

| 2ПФ160ЛГ | 11 | 1500 | 3750 | 84,5 | 0,385 | 0,364 | 49,4 | 12,5 | 19,4 | 0.1 |

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ					Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2.4. Вибір елементів силового кола

Електропривод за системою “керований випрямляч –двигун”

Комплектний електропривод вибирають після вибору двигуна за номінальними струмом та напругою якоря:

$$I_{dn} \geq I_{ян}; U_{dn} \geq U_{ян}.$$

$U_{ан} = 440 \text{ В}$ Номінальна напруга обмотки якоря

$U_{zn} = 220 \text{ В}$ Номінальна напруга обмотки збудження

$$k_{Fn} = \frac{(U_{ан} - I_{ан} \cdot R_a)}{\omega_{dn}} = \frac{(440 - 25 \cdot 0,749)}{157,1} = 1.85 \text{ Вб}$$

Номінальна струм обмотки якоря:

$$I_{ан} = \frac{P_n}{(U_{ан} \cdot \mu)} = \frac{11000}{(440 \cdot 0,84)} = 29 \text{ А}$$

Номінальна струм обмотки збудження/

$$I_{zn} = \frac{U_{zn}}{R_z} = 4,453 \text{ А}$$

Для приводу головного руху було 2ПФ160ЛГ тиристорний випрямляч з наступними номінальними даними:

$U_{dn} = 460 \text{ В}$ $I_{dn} = 50 \text{ А}$

$U_{dzn} = 220 \text{ В}$ $I_{dzn} = 5 \text{ А}$

Схема силових кіл ТВ якоря привода головного руху приведена на рис. 2.4.1, схема силових кіл ТВ збудження на рис. 2.4.3, а схема підключення - на рис. 2.4.2

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

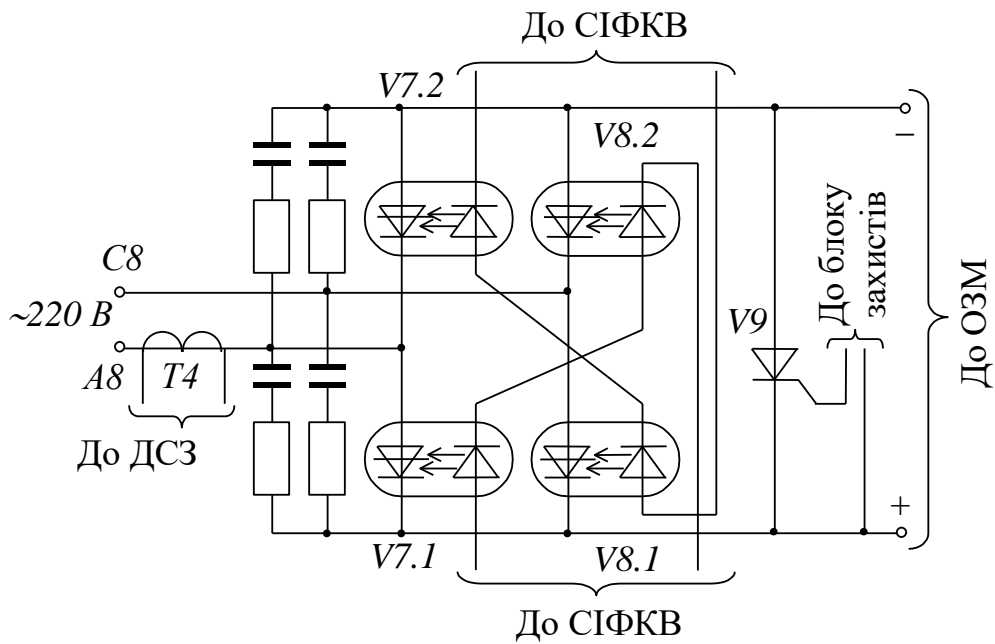


Рисунок 2.4.1 - Силова схема тиристорного збудника

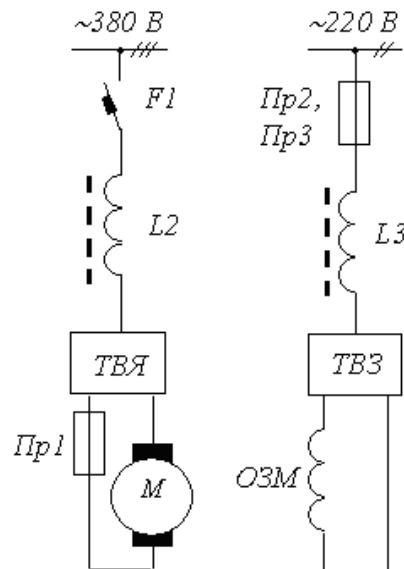


Рисунок 2.4.2 - Схема підключення тиристорного електроприводу постійного струму

Параметри мережних реакторів L_2 , L_3 які використовуються в схемі підключення параметри:

для L_2 :

$$I_{nL2} = 50 \text{ A}$$

$$L_{rL2} = 0,66 \text{ мГн}$$

$$R_{rL2} = 0,0064 \text{ Ом}$$

для L_3 : Не враховуємо.

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Розрахунок параметрів САР

2.5.1. Тиристорний привод постійного струму.

Опір, обумовлений перекриттям вентилів:

$$R_{\gamma} = \frac{p\omega L_{др}}{2\pi}, \text{ Ом,}$$

де, p – пульсність тиристорного випрямляча (для трифазної мостової схеми випрямлення $p = 6$).

$$\omega_s = 2 \cdot \pi \cdot f_s = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ 1/с}$$

Кругова частота живлячої трьохфазної мережі:

$$R_{\gamma} = \frac{p \cdot \omega_s \cdot \frac{L_{rL2}}{1000}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 314 \cdot 0,00017}{2 \cdot 3,14} = 0,051 \text{ Ом}$$

Зведені до температури обмоток 90:

$$\left. \begin{aligned} R_e &= (R_a + R_{др}) \cdot [1 + (90 - t_0^o) \alpha] + R_{\gamma}; \\ L_e &= L_a + L_{др}; \\ T &= \frac{L_e}{R_e} \end{aligned} \right\}$$

де, $\alpha = 0,004$ – температурний коефіцієнт опору для міді;

$T_{хол/об}$ – температура “холодної” обмотки.

$$\begin{aligned} R_e &= (R_a + R_{др}) \cdot [1 + (90 - T_{холоб}) \cdot \alpha] + R_{\gamma} = \\ &= (0,749 + 0,0061) \cdot [1 + (90 - 15) \cdot 0,004] + 0,051 = 1,033 \end{aligned}$$

де, $R_a = R_{я} + R_{дп} = 0,385 + 0,364 = 0,749 \text{ Ом.}$

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{12,67}{1,033} = 0,012 \text{ с}$$

де, $L_e = L_a + L_{др} = 12,5 + 0,17 = 12,67 \text{ мГн.}$

Коефіцієнт моменту для двигуна з електромагнітним збудженням:

$$k_{\Phi} = \frac{M_H}{I_H}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча з пилкоподібною опорною напругою в СІФК:

$$k_{\text{вя}} = \frac{U_{d0}\pi}{U_{\text{опт}}},$$

де, $U_{d0} = k_U U_{\text{ж}}$ – максимальне можлива середня випрямлена напруга випрямляча;

$U_{\text{ж}}$ – діюча лінійна напруга живлення випрямляча (для без трансформаторних – напруга мережі);

k_U – коефіцієнт схеми (для трифазної мостової 1,35);

$U_{\text{опт}}$ – амплітуда опорної напруги СІФК (звичайно 8...12 В).

$U_{\text{fs}} = 220$ В Фазна напруга мережі

Лінійна амплітудна напруга мережі:

$$U_{\text{жс}} = U_{\text{fs}} \cdot \sqrt{3} = 381,051 \text{ В}$$

$$U_{d0} = k_u \cdot U_{\text{жс}} = 1,35 \cdot 381,051 = 514,419 \text{ В}$$

$$k_{\text{вя}} = \frac{U_{d0}\pi}{U_{\text{опт}}} = \frac{514,419 \cdot 3,14}{10} = 161,61$$

Розрахуємо коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча для кола збудження:

Фазна напруга мережі:

$$U_{\text{жз}} = 220 \text{ В}$$

$$U_{d0z} = k_{uz} \cdot U_{\text{жс}} = 0,9 \cdot 220 = 198 \text{ В}$$

$K_{uz} = 0,9$ - коефіцієнт схеми для однофазного мостового випрямляча який використовується в колі збудження.

$$k_{\text{вз}} = \frac{U_{d0z}\pi}{U_{\text{опт}}} = \frac{198 \cdot 3,14}{10} = 62,204$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5.2. Параметри САР двозонного електроприводу

Вихідними даними для синтезу параметрів регуляторів є параметри об'єкту керування, потрібна резонансна частота замкненого контуру швидкості ω_p та коефіцієнти А, В та С, які характеризують форму перехідного процесу. Рекомендовані для різних ситуацій параметри форми наведені нижче.

Привод головного руху (якір):

$$A = 1,54 \quad B = 0,44 \quad C = 0,44 \quad \Omega_{pa} = 110 \text{ 1/c}$$

Привод головного руху (збудження):

$$\Omega_{pz} = 25 \text{ 1/c}$$

Під час синтезу регуляторів вважають, що тиристорні випрямляч без інерційний, однак верхня межа резонансної частоти, яка визначає швидкодію контуру, вибирають такою, що реальні інерційність та неповна керованість перетворювача не проявляються.

Функціональна схема САР двозонного електроприводу наведена на рис. 2.5.2.1, структурна – на рис. 2.5.2.2. Для електроприводів головного руху характерні наявність задавача інтенсивності на вході РШ, відсутність адаптації контуру швидкості до зміни потоку та контуру напруги якоря – до зміни швидкості. Регулятор ЕРС інтегральний. Компенсацію внутрішнього зворотного зв'язку за проти-ЕРС здійснено за допомогою сигналу датчика напруги який входить до складу давача ЕРС.

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

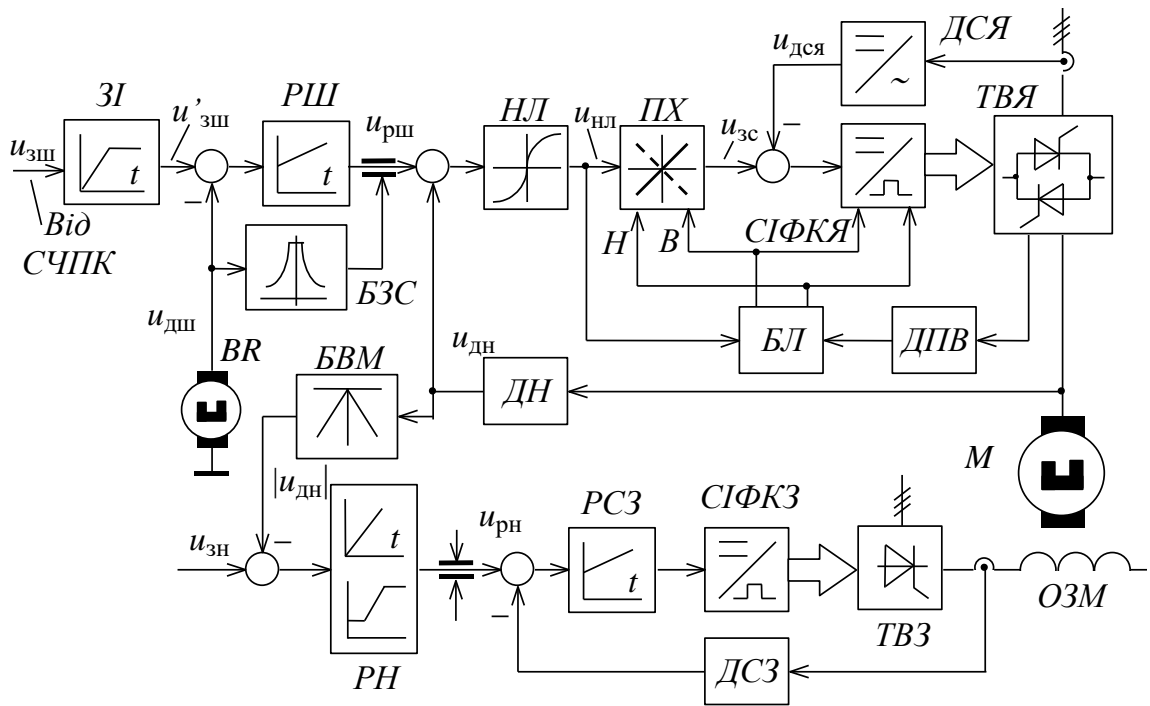


Рисунок 2.5.2.1 - Функціональна схема двозонного електроприводу постійного струму механізму головного руху

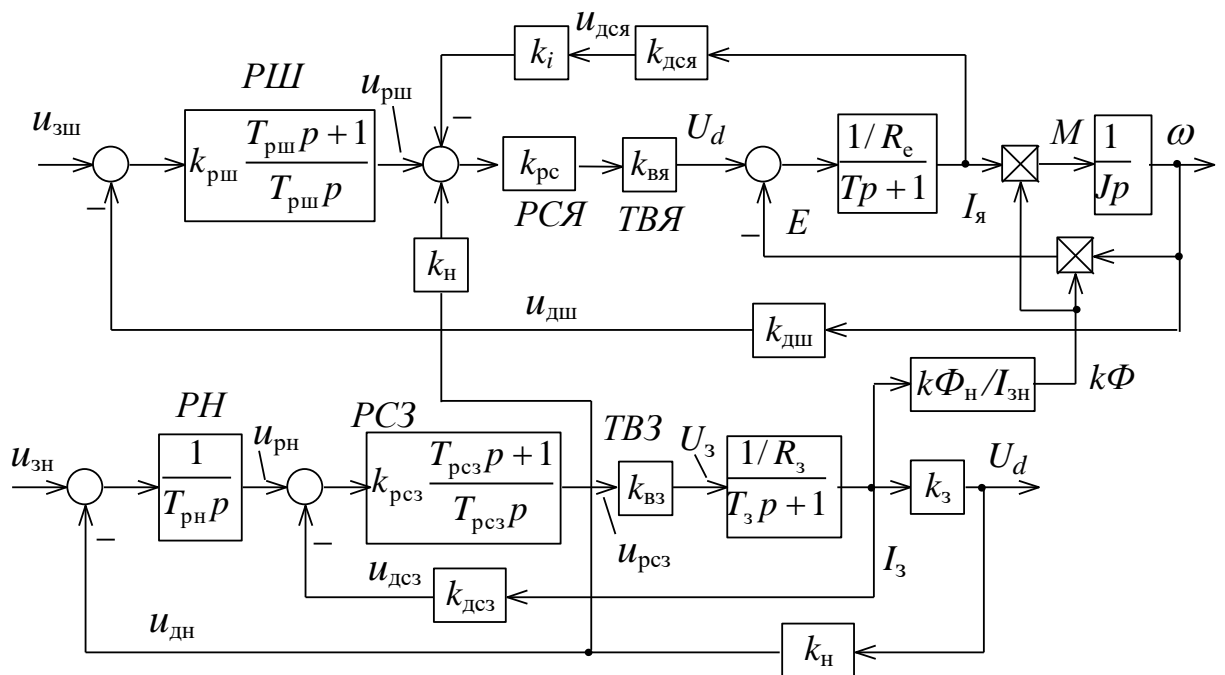


Рисунок 3.5.2.2 - Структурна схема двозонного електроприводу постійного струму механізму головного руху

де, $k_H = \frac{1}{k_{ВЯ} k_{ДН}}$ – коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку за напругою;

$k_{ДН} = \frac{10}{U_{ян}}$ – коефіцієнт передачі датчика напруги якоря.

$$k_n = \frac{1}{(k_{va} \cdot k_{dn})} = \frac{1}{(161,61 \cdot 61)} = 0,272$$

$$k_{dn} = \frac{10}{U_{ян}} = \frac{10}{440} = 0,023$$

Система регулювання швидкості – двоконтурна, із внутрішнім контуром струму та пропорційним регулятором струму. Вузол залежного струм обмеження ВЗС забезпечує зміну рівня обмеження струму залежно від швидкості згідно з перевантажувальною здатністю двигуна. Нелінійна ланка НЛ призначена для компенсації не лінійності регулювальної характеристики випрямляча та контуру струму в зоні переривистих струмів. Перемикач характеристик ПХ забезпечує незмінну полярність завдання на струм під час реверсу випрямляча (це необхідно внаслідок зміни полярності сигналу датчика струму ДСЯ). Блок логіки БЛ забезпечує роздільне керування групами реверсивного випрямляча. Датчик провідності вентилів ДПВ контролює провідний стан тиристорів та після їх закриття формує сигнал дозволу на реверс комплектів.

Бажана стала часу замкненого контуру струму якоря:

$$T_c = \frac{C}{\Omega_p} = \frac{1,1}{110} = 0,01, \text{ с.}$$

Інтенсивність зворотного зв'язку за струмом:

$$k_i = \frac{R_e}{k_{дся} k_{вя}} \left(\frac{T_e}{T_c} - 1 \right) = \frac{1,033}{0,015 \cdot 161,1} \cdot \left(\frac{0,012}{0,01} - 1 \right) = 0,097.$$

де,

Коефіцієнт передачі датчика струму якоря, В/А:

$$k_{dsa} = \frac{3}{I_{dn}} = \frac{3}{25} = 0,12$$

Коефіцієнт передачі замкненого контуру струму:

$$k_c = \frac{k_{вя}}{R_e + k_{вя} k_i k_{дся}} = \frac{161,61}{1,033 + 161,61 \cdot 0,097 \cdot 0,015} = 127,553$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передатна функція та параметри регулятора швидкості:

$$W_{\text{рш}}(p) = k_{\text{рш}} \frac{T_{\text{рш}}p + 1}{T_{\text{рш}}p};$$

$$k_{\text{рш}} = \frac{AJ}{k_c T_c k_{\text{дш}} k\Phi} = \frac{1,54 \cdot 0,072}{127,553 \cdot 0,01 \cdot 0,315 \cdot 2,801} = 0,099;$$

$$T_{\text{рш}} = A \cdot \frac{T_c}{B} = 1,54 \cdot \frac{0,01}{0,44} = 0,035, \text{ с,}$$

де, $k_{\text{дш}}$ – коефіцієнт передачі датчика швидкості.

Давачем швидкості по суті є тахогенератор, а він вибирається залежно від типу двигуна, тобто для двигуна типу 2ПФ тахогенератор має тип ТС1 з опором навантаження не менше 2 Ом та коефіцієнтом передачі 0.315 Вс.

Роль пропорційно-інтегрального регулятора на рис. 2.5.2.3 струму виконує суматор на підсилювачі А8 з одиничним коефіцієнтом передачі. Опорами його зворотного зв'язку та входним можна задатися, наприклад:

$$R_{30}=R_{31}=47 \text{ кОм, } C2 = 2 \text{ мкФ.}$$

Опори у колах зворотного зв'язку за струмом та позитивного зв'язку за швидкістю:

$$R_i = \frac{R_{31}}{k_i} = \frac{47}{0,097} = 486,132 \text{ кОм;}$$

$$R_{19} = \frac{R_{31}}{k_e}.$$

Опір R_{19} не розраховуємо у двозонному приводі позитивний зв'язок за швидкістю відсутній.

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

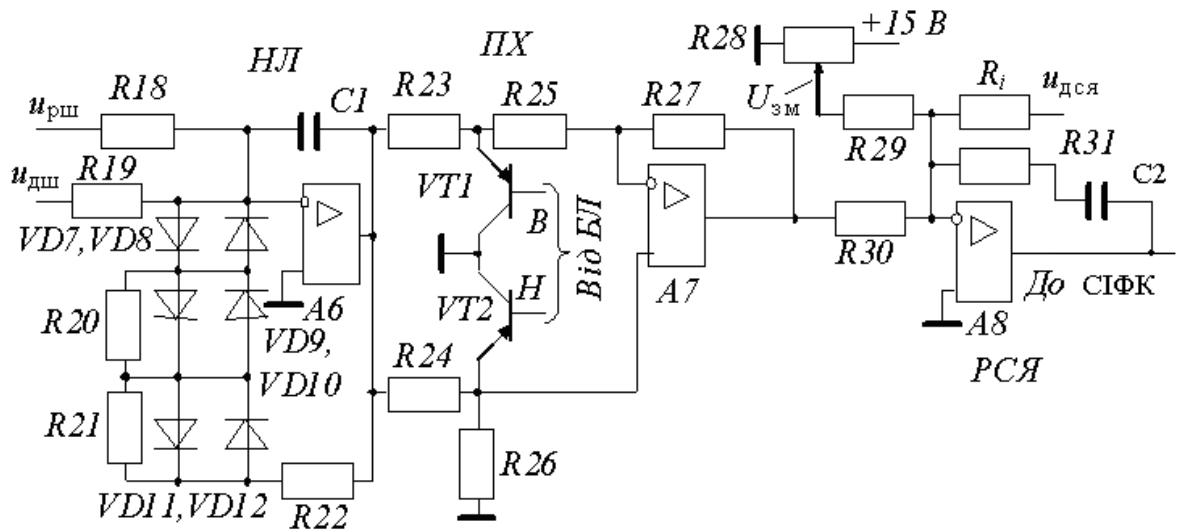


Рисунок 2.5.2.3- Нелінійна ланка, перемикач характеристик та регулятор струму якоря

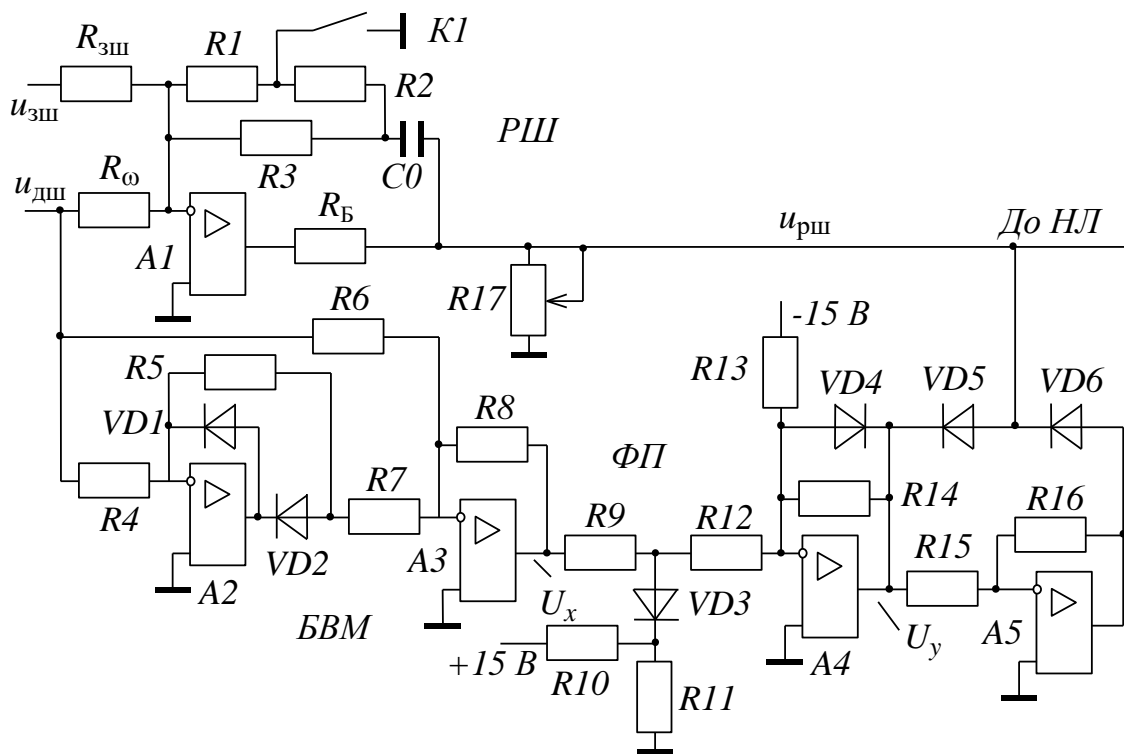


Рис. 2.5.2.4 - Регулятор швидкості та вузол залежного струм обмеження

Крім того, у принциповій схемі РШ (рис. 2.5.4) відсутнє перемикання інтенсивності зворотного зв'язку і резистори R_1 та R_2 , тому, задаємось:

$$R_{зш} = 30000 \text{ Ом,}$$

тоді:

$$C_0 = \frac{T_{рш}}{R_{зш}} = \frac{0,035}{30000} = 1,167 \cdot 10^{-6}, \text{ Ф.}$$

$U_{зшт} = 10 \text{ В}$, $U_{дшт} = k_{дш} \omega_{д\max}$ – максимальні напруги завдання на швидкість та датчика швидкості.

$$R_3 = 0,099 \cdot 30000 = 2961 \text{ Ом}$$

Оскільки форми кривих допустимого моменту перевантаження двигуна у другій зоні та ВМД подібні, методики розрахунку вузлів залежного струм обмеження для двозонного електроприводу та для однотонного аналогічні.

Для синтезу параметрів вузла залежного струм обмеження за методикою довідника. Комутаційну криву двигуна апроксимує статична характеристика функціонального перетворювача (ФП), який входить до складу вузла залежного струм обмеження (Рисунку 2.5.2.4). Як видно зі схеми, напруги зміщення у ФП дорівнюють $U_{зм} = \pm 15 \text{ В}$. Опором R_{14} задаємось. Вхідні та вихідні напруги ФП для опорних точок D, F розраховують за виразами:

Задаємось $R_{14} = 45000 \text{ Ом}$

$$U_x = \omega_d k_{дш} k_{БВМ};$$

$$U_y = \frac{k_{дся} M}{k\Phi}.$$

Тут $k_{БВМ}$ – коефіцієнт передачі блоку виділення модуля (БВМ на рис.3.5.4.). Він повинен бути таким, щоб вихідна напруга БВМ за максимального моменту не перевищувала напруги насичення ($U_{нас} = 8 \text{ В}$) підсилювача А1 регулятора швидкості, тобто:

$$k_{БВМ} \leq \frac{U_{нас} k\Phi}{k_{дся} M_{\max}}$$

Для двозонного приводу $K_{БВМ} = 1$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За швидкості, меншій номінальній (лінія AF рис.3.4.5.а), допустимий момент:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{max}} = 2M_{\text{н}}.$$

У другій зоні допустимий струм лишається незмінним, а момент перевантаження змінюється за законом гіперболи:

$$M_{\text{доп}} = \frac{2M_{\text{н}} \omega_{\text{дн}}}{\omega_{\text{д}}}.$$

$$\text{Тому } \omega_F = \omega_{\text{дн}} = 157,08 \text{ 1/с},$$

$$M_F = 2M_{\text{н}} = 2 \cdot 70,028 = 140,056 \text{ Нм},$$

$$\omega_D = \omega_{\text{дmax}} = 392,699 \text{ 1/с},$$

$$M_D = \frac{2M_{\text{н}} \omega_{\text{дн}}}{\omega_{\text{дmax}}} = \frac{2 \cdot 70,028}{392,699} = 56,023 = \text{Нм}$$

$$U_{xF} = \omega_F k_{\text{дш}} k_{\text{БВМ}} = 157,08 \cdot 0,315 \cdot 1 = 49,48 \text{ В};$$

$$U_{yF} = \frac{k_{\text{дся}} M_F}{k\Phi} = \frac{0,015 \cdot 140,056}{2,801} = 0,75 \text{ В}.$$

$$U_{xD} = \omega_D k_{\text{дш}} k_{\text{БВМ}} = 392,699 \cdot 0,315 \cdot 1 = 123,7 \text{ В};$$

$$U_{yD} = \frac{k_{\text{дся}} M_D}{k\Phi} = \frac{0,015 \cdot 56,023}{2,801} = 0,3 \text{ В}.$$

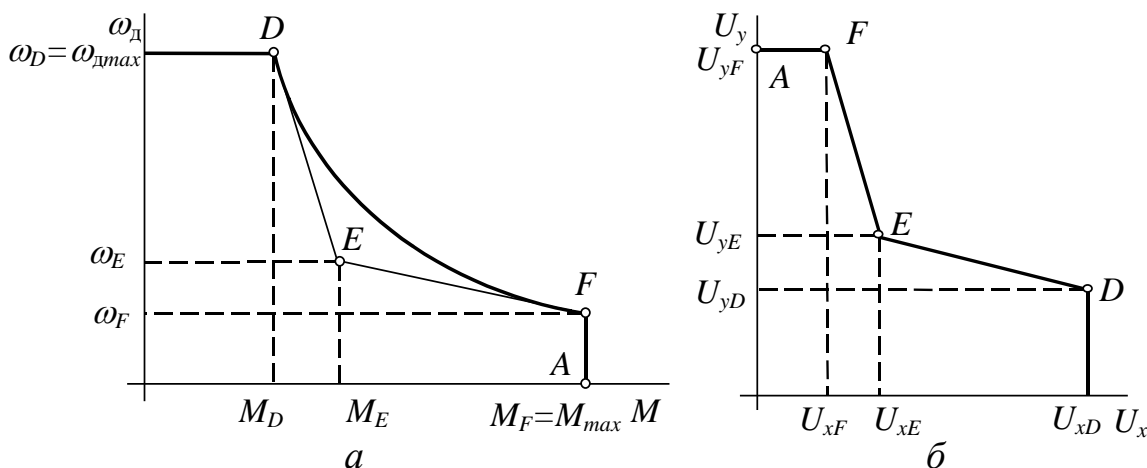


Рисунок 2.5.2.5 - До розрахунку вузла залежного струмообмеження:

Коефіцієнти передачі ФП на ділянках FD (з урахуванням знаку):

$$k_{FD} = \frac{U_{yF} - U_{yD}}{U_{xF} - U_{xD}} = \frac{0,75 - 0,3}{49,48 - 123,7} = -6063;$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Передатна функція регулятора струму збудження має вигляд:

$$W_{pcz}(p) = k_{pcz} \frac{T_{pcz}p + 1}{T_{pcz}p},$$

Параметри якої вибираються, як:

$$T_{pcz} = T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{19,4}{49,4} = 0,393 \text{ с};$$

$$k_{pcz} = \frac{T_3 R_3 \omega_p}{k_{вз} k_{дсз}} = \frac{0,393 \cdot 49,4 \cdot 25}{62,204 \cdot 0,674} = 11,574 ,$$

де, L_3 , R_3 – індуктивність (Гн) та активний опір (Ом) обмотки збудження;

$k_{вз}$ – коефіцієнт передачі тиристорного збудника з урахуванням рівня напруги живлення збудника та його схеми випрямлення;

ω_p – резонансна частота замкнутого контуру струму збудження, с^{-1} ;

$k_{дсз} = \frac{3}{I_{зн}}$ – коефіцієнт передачі датчика струму збудження, В/А;

$I_{зн}$ – номінальний струм збудження, А.

Тоді стала часу та коефіцієнт передачі замкнутого контуру струму збудження будуть:

$$T_{сз} = \frac{1}{\Omega_p} = \frac{1}{25} = 0,04 \text{ с};$$

$$k_{сз} = \frac{1}{k_{дсз}} = \frac{1}{0,674} = 1,484$$

Стала часу інтегрального регулятора напруги:

$$T_{рн} = \frac{a_n T_{сз} k_{дн} k_3}{k_{сз}} = \frac{0,016 \cdot 0,04 \cdot 0,023 \cdot 247}{1,484} = 2,493 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

де, a_n – коефіцієнт настроювання контуру напруги;

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт передачі каналу збудження за максимальної швидкості;

$$k_3 = \frac{\Delta E}{\Delta I_3} = \frac{k\Phi_H \omega_{д\max}}{I_{3H}} = \frac{2,801 \cdot 392,699}{4,453} = 247$$

$$k\Phi_H = \frac{M_H}{I_{яH}} = \frac{70,028}{196,158} = 2,801.$$

Величина коефіцієнту настроювання вибирають, виходячи з умови забезпечення заданого перегулювання за ЕРС під час розгону до другої зони з незмінним прискоренням.

$$a_n = \frac{\delta\tau_H}{D_\Phi} = \frac{0,1 \cdot 0,412}{2,5} = 0,016$$

$$a_n = \frac{\delta\tau_H}{D_\Phi} = \frac{0,1 \cdot 0,412}{2,5} = 0,016$$

де, δ – допустиме відносне перерегулювання за ЕРС (звичайно 0,1);

Відносна тривалість розгону до номінальної швидкості:

$$\tau_H = \frac{J\omega_H}{M_H T_3} = \frac{0,072 \cdot 157,08}{70,28 \cdot 0,393} = 0,412$$

Діапазон регулювання швидкості зміною потоку:

$$D_\Phi = \frac{\omega_{д\max}}{\omega_{дH}} = \frac{392,699}{157,08} = 2,5$$

Якщо задатися напругою $u_{3H} = k_{дH} U_{яH} = 10$ В та опорами у каналах завдання $R_{38} = R_{45} = 20000$ Ом, то номінали інших елементів регуляторів будуть:

$$R_{37} = R_{38} \frac{U_{дHm}}{u_{3H}} = R_{38} = 20000 \text{ Ом};$$

$$C1 = \frac{T_{pH}}{R_{38}} = \frac{2,493 \cdot 10^{-3}}{20000} = 1,246 \cdot 10^{-7} \text{ Ф};$$

$$R_{44} = R_{45} \frac{U_{дсз\max}}{U_{pH\max}} = R_{45} \frac{U_{дсз\max}}{U_{нас}} = R_{45} \frac{3}{8} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_{46} = K_{pcз} \cdot R_{45} = 11,574 \cdot 20000 = 2,315 \cdot 10^5 \text{ Ом};$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_2 = \frac{T_{\text{рсз}}}{R_{46}} = \frac{0,393}{2,315 \cdot 10^5} = 1,696 \cdot 10^{-6} \text{ Ф},$$

де $U_{\text{днmax}} = 10 \text{ В}$, $U_{\text{дсзmax}} = 3 \text{ В}$, $U_{\text{рнmax}} = U_{\text{нас}} = 8 \text{ В}$ – відповідно максимально можливі напруги датчика напруги, датчика струму збудження, регулятора напруги (дорівнює напрузі насичення підсилювача А11).

Блок обмеження струму збудження (БОСЗ) не дає можливості завданню на струм збудження бути меншим від мінімального та більшим від номінального. Номінальний і мінімальний струми збудження та вихідні напруги регулятора напруги, які їм відповідають:

$$I_{\text{зн}} = \frac{U_{\text{зн}}}{R_3};$$

$$I_{\text{зmin}} = \frac{I_{\text{зн}} n_{\text{дн}}}{n_{\text{дmax}}} = \frac{4,45 \cdot 1500}{3750} = 1,781 \text{ А}$$

$$U_{\text{рнmax}} = k_{\text{дсз}} I_{\text{зн}} = 0,674 \cdot 4,45 = 3 \text{ В}$$

$$U_{\text{рнmin}} = k_{\text{дсз}} I_{\text{зmin}} = 0,674 \cdot 1,781 = 1,2 \text{ В}$$

Задавшись вхідними опорами інверторів А13 та А14 (рис. 2.5.6.), визначають опори в каналах їх зворотних зв'язків.

Нехай $R_{40} = R_{43} = 100000 \text{ Ом}$

$$R_{41} = \frac{U_{\text{рнmin}} R_{40}}{15} = \frac{1,2 \cdot 100000}{15} = 8000 \text{ Ом}$$

$$R_{42} = \frac{U_{\text{рнmax}} R_{43}}{15} = \frac{3 \cdot 100000}{15} = 20000 \text{ Ом.}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Дослідження динаміки розрахованого електропривода будемо проводити методами математичного моделювання за допомогою математичного пакету MATLAB з середовищем візуально моделювання Simulink.

На основі структурної схеми досліджуваного електропривода будується модель у вікні пакету Simulink з блоків, що беруться з бібліотеки Simulink. У блоки моделей підставляються передатні функції блоків електропривода, що задають зміни вхідного сигналу при проходженні через блок. Розрахунки параметрів передатних функцій наведені нижче.

Розрахуємо коефіцієнти, необхідні для побудови та розрахунку моделі. При розрахунку вважаємо, що напруга керування складає $U_k = 5\text{В}$. Це цілком відповідає стану сучасного регульованого електропривода та напрямкам його розвитку.

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача якоря:

$$K_n = \frac{U_n}{U_k} = \frac{440}{5} = 88$$

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$k_{\omega} = \frac{U_k}{\omega_{\max}} = \frac{5}{392,69} = 0,0127 \text{ Вс/рад}$$

Передатна функція тиристорного перетворювача якоря має вигляд:

$$W_{na(p)} = \frac{K_n}{T_{\mu}p + 1} = \frac{88}{0,005p + 1}$$

Передатна функція якірного кола:

$$W_{\text{я}}(p) = \frac{1/R_a}{T_a p + 1} = \frac{1/1,033}{0,012p + 1}$$

Передатна функція регулятора струму якоря:

$$W_{pm}(p) = \frac{R_a(T_a p + 1)}{2T_{\mu}K_{na}k_m p} = \frac{1,033 \cdot (0,012p + 1)}{2 \cdot 0,005 \cdot 88 \cdot 0,1p} = \frac{11,74}{p} + 0,14.$$

Передатна функція механічної частини привода:

$$W_M(p) = \frac{1}{Jp} = \frac{1}{0,176p} = \frac{5,68}{p}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передатна функція датчика струму:

$$W_{dm}(p) = \frac{Uk}{\lambda_H} = \frac{5}{29 \cdot 1,7} = 0,1 \text{ Ом}$$

Передатна функція регулятора швидкості при змінному потоці:

$$W_{psh}(p) = \frac{(1 + 8T_\mu p) Jk_{dm}}{32T_\mu^2 k_{uu} p} \frac{1}{k\Phi} = \frac{(1 + 8 \cdot 0,005 p) \cdot 0,1 \cdot 0,176}{32 \cdot 0,005^2 \cdot 0,0125 p} \cdot \frac{1}{k\Phi} = \left(\frac{1760}{p} + 70,4 \right) \frac{1}{k\Phi}.$$

Передатна функція давача ЕРС:

$$W_{oe}(p) = \frac{k_H}{T_a p + 1} = \frac{0,0113}{0,012 p + 1}.$$

Канал регулювання збудження.

Постійна часу обмотки збудження:

$$T_B = \frac{L_B}{R_B} = \frac{19,4}{49,4} = 0,3927 \text{ с}$$

Постійна часу віхрових струмів:

$$T_{BT} = 0,07T_B = 0,07 \cdot 0,3927 = 0,02749 \text{ с}$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача обмотки збудження:

$$K_{nz} = \frac{U_{zn}}{Uk} = \frac{220}{5} = 44$$

Передатна функція тиристорного перетворювача збудження:

$$W_{nz}(p) = \frac{K_{nz}}{T_\mu p + 1} = \frac{44}{0,005 p + 1}.$$

Передатна функція обмотки збудження:

$$W_{oz}(p) = \frac{T_{em} p + 1}{R_g [(T_g + T_{em}) p + 1]} = \frac{0,0275 p + 1}{(0,3927 + 0,0275) p + 1}$$

Передатна функція регулятора струму збудження:

$$W_{p6}(p) = \frac{R_g [(T_g + T_{em}) p + 1]}{2T_\mu K_{nz} k_{dms} p} = \frac{49,4 \cdot (0,393 + 0,0275) p + 1}{2 \cdot 0,005 \cdot 44 \cdot 1,1235 p} = 50,12 + 20,54$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передатна функція співвідношення між потоком та струмом збудження:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{K_{\Phi}}{T_{BT}p + 1} = \frac{\kappa\Phi_H / I_{BH}}{T_{BT}p + 1} = \frac{2,65 / 4,45}{0,0275p + 1} = \frac{0,595}{0,0275p + 1}$$

Передатна функція регулятора ЕРС:

$$W_{pe}(p) = \frac{k_{dms}}{2(2T_{\mu} + T_{\sigma m})K_{\Phi}K_H p} \cdot \frac{1}{\omega} = \frac{1,1235}{2 \cdot (2 \cdot 0,005 + 0,0275) \cdot 0,595 \cdot 0,0113 p} \cdot \frac{1}{\omega} = \frac{2218,2}{p} \cdot \frac{1}{\omega}$$

Модель системі наведено на рис. 3.1. Електропривод, що досліджується, є приводом фрези фрезерного станка. Для фрези характерні режими обертання на різних швидкостях під навантаженням і без нього. При моделюванні досліджуються наступні режими: пуск без навантаження (момент часу 1 с) до максимальної швидкості і робота на швидкості холостого ходу (інтервал 1-3 с), гальмування до номінальної швидкості (3-3,5 с), накид навантаження (4,5 с), скидання навантаження (6,5 с), реверс і зупинка (7-10 с). На збудовану модель подаються необхідні керуючі сигнали для відтворення досліджуваних режимів електропривода. Програма MATLAB виконує розрахунки для відображення реакції моделі на керуючі сигнали. За допомогою блоку Scope можливо візуально спостерігати процеси, що відбуваються в електроприводі (рис. 3.2).

Відомо, що при двозонному приводі регулювання швидкості до номінальної здійснюється за рахунок зміни напруги на якорі при номінальному потоці збудження, а регулювання швидкості вище номінальної за рахунок впливу на потік при постійній напрузі на якорі.

З наведених графіків можна зробити висновки, що електропривод працює вірно у досліджуваних режимах. Нижче розберемо детально кожний з режимів.

Розгін до максимальної швидкості без навантаження від задавача інтенсивності;

Пуск здійснюється від задатчика інтенсивності з постійним темпом нарощування швидкості (прискоренням), величина якого визначається динамічним моментом $\dot{I}_{\text{як}} = \frac{2}{j_{\text{max}}} \hat{O} - M_c$ і параметрами електропривода, що у сумі складає коефіцієнт передачі задавача інтенсивності. Щоб прискорення було постійним, момент двигуна

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$(\dot{I}_{\text{я}} = \dot{I}_{\text{я}} + \dot{I}_{\text{н}})$ повинен бути const. До номінальної величини швидкість збільшується за рахунок зростання ЕРС двигуна (тобто збільшення напруги на якорі) при номінальному потоці. Подальше зростання швидкості здійснюється за рахунок роботи другої зони (каналу регулювання потоку), регулятор ЕРС підтримує ЕРС двигуна на постійному рівні, при цьому потік зменшується (динамічний момент залишається постійним за рахунок збільшення струму якоря до величини $I_{\text{я}} = \frac{M_c}{\Phi_{\text{min}}}$, при цьому темп розгону привода залишається теж постійним), пропорційно зменшенню Φ зростає швидкість, це видно з рисунків, а також з рівняння $\omega = \frac{\dot{\Phi}}{E_{\text{о}}}$.

При досягненні заданої швидкості розгін закінчується і струм якоря стає рівним

$$I_{\text{я}} = \frac{M_c}{\Phi_{\text{min}}}$$

Якщо на вході було ступінчате завдання, струм якоря дорівнював максимальному, а прискорення привода було постійним (так як постійний динамічний момент $\dot{I}_{\text{я}} = I_{\text{я max}} - M_c$) до досягнення номінальної швидкості. Вище номінальної швидкості динамічний момент падає за рахунок зменшення потоку і прискорення привода зменшується. При досягненні заданої швидкості розгін закінчується і струм

$$\text{стає рівним } I_{\text{я}} = \frac{M_c}{\Phi_{\text{min}}}$$

					ЕП.ДП.18.08.02.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

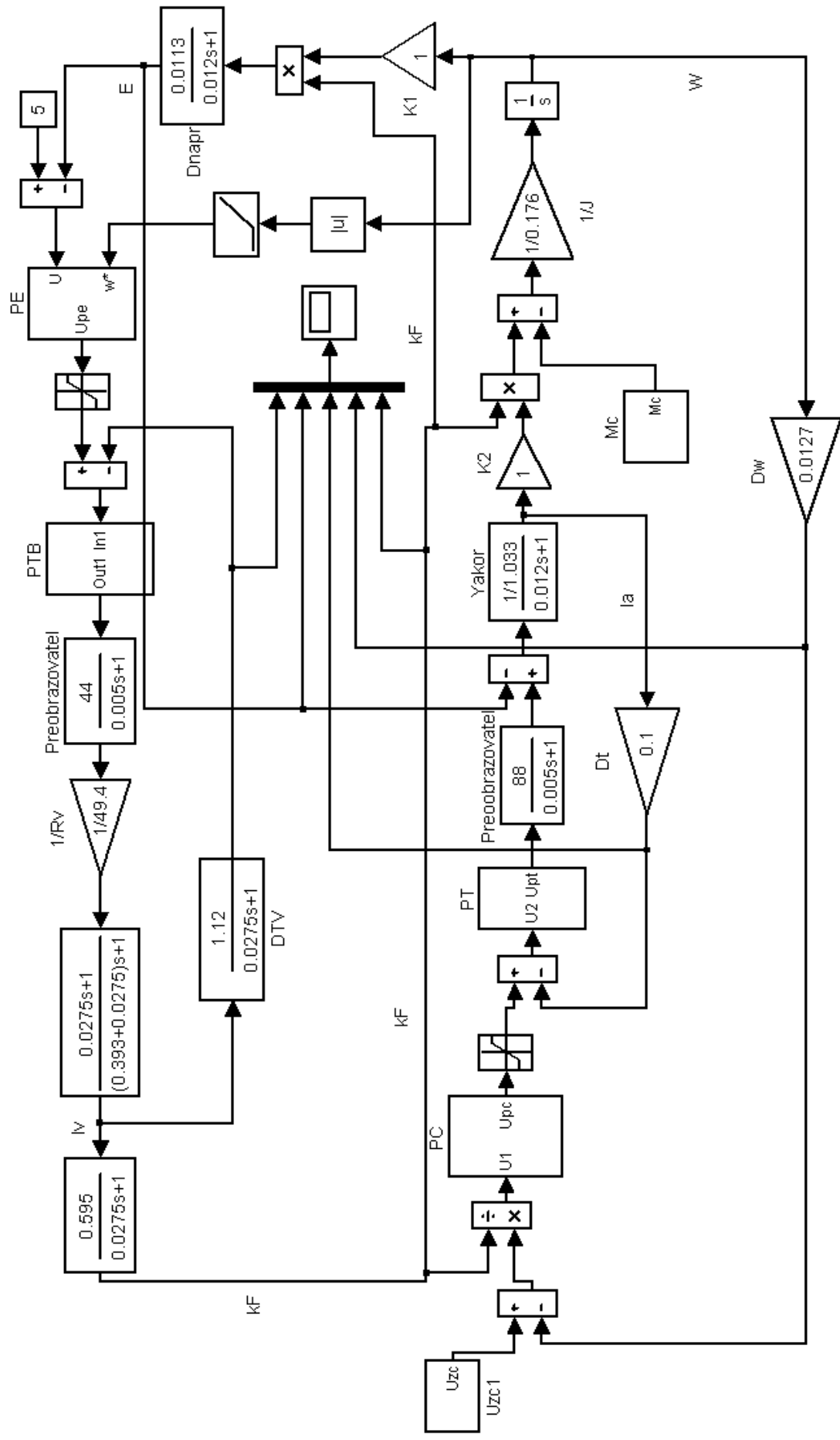


Рисунок 3.1 – Схема моделі в пакеті МАТЛАБ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						57
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Об'єктом роботи є фрезерний верстат, призначений для обробки сталевих заготовок.

Основними причинами шкідливих і небезпечних факторів при роботі на фрезерному верстаті є:

- 1) постійний шум та вібрація;
- 2) керування верстатом ненавченими робітниками;
- 3) несправність електроустаткування і травмування робітника, що працює з електричним струмом;
- 4) відсутність або несправність обгороджувань майданчиків біля верстату і частин, що обертаються;
- 5) недотримання заходів безпеки, вказаних у наряді-допуску, при виконанні робіт на фрезерному верстаті;
- 6) перевантаження фрезерного верстату;
- 7) перевищення допустимого рівня запиленості.

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

При роботі на металорізальному верстаті необхідно передбачити ряд вимог, які б дозволили працюючому виконувати поставлене перед ним завдання в умовах, які передбаченні конструкторськими документами.

Основними заходами, які зменшують або попереджають травматизм при роботі на дільниці є автоматизація або механізація технологічного процесу.

Крім цього на верстатах встановлюють захисні кожухи на вузлах, які передбачають обертові моменти. Всі захисні кожухи з внутрішньої сторони фарбуються в жовтий колір (сигнальний), а з зовнішньої сторони наноситься знак безпеки по ГОСТ 12.4.025-86 (рівносторонній трикутник жовтого кольору з вершиною доверху в чорній рамці і знаком оклику посередині). Під знаком встановлена таблиця з написом «При ввімкненому верстаті не відкривати».

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожне робоче місце обладнане інструментальною тумбочкою і дерев'яним підставником, а для видалення стружки з верстата застосовують спеціальні вмонтовані в верстат шнекові і магнітні транспортери, а на свердлильних верстатах – спеціальні гачки і щітки.

Перед початком роботи на проєктованій ділянці необхідно перевірити справність устаткування, пристосувань і інструмента, огорож, захисного заземлення, вентиляції. Перевірити правильність складування заготівель і напівфабрикатів. Під час роботи необхідно виконувати всі правила використання технологічного устаткування дотримуватися правила безпечної експлуатації транспортних засобів, тари та вантажопідіймальних механізмів, дотримуватися вказівки про безпечне утримання робочого місця. В аварійних ситуаціях необхідно неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу при виникненні аварій і ситуацій, які можуть призвести до аварій і нещасних випадків. По закінченні роботи повинно бути вимкнено все електроустаткування, проведена прибирання відходів виробництва та інші заходи, що забезпечують безпеку на ділянці. Ділянка має бути оснащена необхідними попереджувальними плакатами, обладнання повинно мати відповідне забарвлення, повинна бути виконана розмітка проїжджої частини, проїздів. Сама ділянка повинна бути спланованій згідно з вимогами техніки безпеки, а саме дотримання: ширини проходів, проїздів, мінімальна відстань між обладнанням. Всі ці відстані повинні бути не менше припустимих.

Щоб запобігти негативному впливу виявлених небезпечних та шкідливих виробничих факторів на здоров'я працівників, попередити виникнення виробничого травматизму при виконання технологічного процесу виготовлення деталі передбачаємо проведення наступних заходів загального характеру: раціональна організація робочих місць; регулярний контроль правильності всіх прийомів праці при виконанні операцій технологічного процесу; своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів виробничого обладнання та інструменту; підтримування проїздів та проходів в належному порядку; раціональні режими виконання всіх основних та допоміжних операцій технологічного процесу; ефективне використання засобів індивідуального захисту, своєчасний контроль їх стану, дотримання потрібної

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(встановленої нормами) періодичності їхньої заміни; використання сучасних запобіжних пристроїв і огороження робочих зон; проведення систематичного контролю стану обладнання та допоміжних пристроїв та інших.

Захист від нагрітих поверхонь, виробничого обладнання

Заходом щодо захисту від цього чинника буде наявність попереджувального знаку або плаката, що говорить про те, що при обробці різанням виділяється велика кількість теплоти, або про те, що необхідно працювати в рукавицях.

Захист від ураження електричним струмом

Основний спосіб захисту від статичної електрики – заземлення устаткування, судин і комунікацій, в яких накопичується статичний струм, використання спеціального взуття з електропровідною підошвою і інші засоби захисту.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

забезпечення недоступності струмоведучих частин;

електричний розподіл мережі;

використання подвійної ізоляції, вирівнювання потенціалу, використання захисного заземлення, захисного відключення;

застосування спеціальних електрозахисних засобів - портативних приладів і пристосувань (ЕС);

організація безпечної експлуатації електроустановок.

Електрозахисні засоби поділяють на:

1. Ізолюючі:

основні: гумові рукавички діелектричні, інструмент з ізолюючими рукоятками з показником напруги до 1000 В;

додаткові: калоші діелектричні, килими і ізолюючі підставки.

2. Огороджувальні: щити, огороження - клітки, ізолюючі накладки і ковпаки, попереджувальні плакати, пристрої тимчасового заземлення.

3. Запобіжні: респіратори, окуляри, рукавиці тощо.

Справність засобів захисту повинна перевірятися оглядом перед кожним їх застосуванням, а також періодично через 6...12 місяців.

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист від шуму і вібрації

Основні джерела шуму і вібрацій в металорізальних верстатах - динамічні навантаження в зубчастих передачах, що виникають внаслідок певних похибок їх виготовлення, змінність навантаження, сприйманої кульками або роликками в підшипниках кочення, динамічні удари кульок або роликів по нерівностям поверхні бігових доріжок зовнішнього і внутрішнього кілець підшипників і т.п.

Отже, основними шляхами зниження вібрації і шуму металорізальних верстатів є:

- застосування високоякісних підшипників;
- мал шумних зубчастих передач і електродвигунів;
- дотримання технологічної дисципліни при виготовленні і складанні вузлів верстата;
- застосування раціональних конструкцій ріжучого інструменту і пристосувань, жорсткість їх кріплення і т. д.

Методи боротьби з шумом прийнято поділяти на:

- методи зниження шуму в джерелі його виникнення;
- методи зниження шуму на шляху його розповсюдження, ЗІЗ від шуму.

Зниження шуму в джерелі його освіти досягається шляхом:

- конструктивного зміни джерела;
- підвищенням якості балансування;
- підвищення точності виготовлення деталей;
- поліпшенням мастила;
- поліпшенням класу чистоти тертьових поверхонь і т.д.

Методи зниження шуму на шляху його поширення включають:

- акустичну обробку приміщень (застосування звукопоглинаючих пристроїв);
- ізоляція джерел шуму або приміщень (звукоізолюючі огороження, кожухи, кабінки, екрани, кошти віброізоляції);
- застосування глушника шуму.

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До засобів індивідуального захисту від шуму відносять: протишумові вкладиші, навушники і шоломи.

Під час роботи металорізальних верстатів, які використовуються для основних операцій технологічного процесу механічної обробки деталі, виникають вібрації, які негативно впливають не тільки на здоров'я працівників цеху, але і на точність і довговічність обладнання. В якості колективних заходів та засобів захисту від вібрації вибираємо методи зменшення їх параметрів на шляху поширення вібрацій від джерел їх виникнення, а саме вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляцію. Використання вібропоглинання дозволяє нам забезпечити перетворення енергії механічних коливань вібрацій у теплову енергію і досягнути істотного ефекту при боротьбі з вібраціями. Збільшення витрат енергії в системі забезпечуємо за рахунок використання в якості конструктивних матеріалів з великим внутрішнім тертям: пластмас, метало гуми, сплавів марганцю, міді та інших, а також нанесенням на поверхні, що вібрують шару пружно-в'язких матеріалів, які збільшують внутрішнє тертя в коливній системі. Використовуючи віброгасіння, досягаємо зменшення реактивного опору коливної системи. Забезпечуємо його застосування ударних та динамічних віброгасників маятникового, пружинного та плаваючих типів. Вони забезпечують перехід кінетичної енергії відносного руху елементів, що контактують, в енергію деформації з поширенням напружень із зони контакту по елементах, що взаємодіють. Одночасно відбувається розсіювання енергії внаслідок дії сил внутрішнього та зовнішнього тертя. Крім того, динамічні віброгасники, являючи собою додаткову коливну систему, яка встановлюється на вібруючому верстаті, збуджують коливання, які знаходяться в протифазі з коливаннями металорізального верстата і забезпечують зведення виниклих коливань до мінімуму. Вібрацію використовуваних металорізальних верстатів забезпечуємо шляхом введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку, який перешкоджає передачі вібрації від вібруючого верстата до підлоги виробничого приміщення, суміжних верстатів, працівників цеху. Крім того, для захисту від вібрацій передбачаємо організаційно-технічні заходи, які полягають в експлуатації обладнання відповідно до встановлених норм та режимів, своєчасному його ремонті та якісному обслуговуванні. Шум, який виникає при роботі металорізальних верстатів,

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходиться у різних октавних смугах. Тому спектральний аналіз його на рівні дипломного проектування виконати неможливо. Згідно з нормативними вимогами, шум вважається допустимим, якщо вимірювальні рівні звукового тиску у всіх октавних смугах частот нормативного діапазону (63-8000 Гц) будуть нижчі, ніж значення, котрі визначаються граничним спектром.

Захист від пилу, газів, пари.

Заходи щодо боротьби з пилом на цьому виробництві та її шкідливим впливом на організм людини проводяться за наступними напрямками:

Раціоналізація технологічного процесу, що усуває утворення пилу;

Автоматизація процесів, при яких утворюється пил;

Застосування МОР, як змочування обробленої поверхні;

Застосування пило витягаючої вентиляції, вентиляції загального та місцевого призначення;

Негайне прибирання приміщень;

Забезпечення робочих проти пиловим спецодягом, респіраторами, окулярами та іншими засобами захисту;

Створення на підприємстві умов для забезпечення заходів особистої гігієни.

При впровадженні розробленого технологічного процесу механічної обробки деталі у виробництво існуватиме пилове забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я працівників та довговічність обладнання. Однак, використання місцевої та загально-обмінної (природної та механічної) систем вентиляції, які забезпечують високий ступінь очистки відпрацьованого повітря від шкідливих домішок за рахунок його багатоступеневого очищення у відповідних апаратах дозволяє досягнути істотного покращення складу повітряного середовища виробничого приміщення.

Вміст шкідливих речовин у повітрі регламентується ГОСТ12.1.005 - 88 ССБТ " Загальні санітарно – гігієнічні вимоги до повітря робочої зони".

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Заходи, спрямовані на захист навколишнього середовища

На проєктованій ділянці виготовлення механічних деталей мають місце наступні відходи виробництва:

- металева стружка;
- металевий пи́л;
- масло інструментальне відпрацьоване;
- ганчірки промаслені;
- абразивний пи́л;
- відпрацьовані МОР;
- промислова вода для технологічних процесів.

Для очистки промислових стоків на виробництві функціонують локальні очисні споруди:

- маслозбирачі;
- фарбозбирачі;
- станції нейтралізації хімічно забруднених вод;
- очисні споруди для очистки дощових стоків продуктивністю 254 л/сек.

Навколишнє середовище може забруднюватися робочими рідинами, які використовуються в коробках швидкостей та подач металообробного обладнання, що застосовується для виконання операцій механічної обробки деталі згідно з розробленим технологічним процесом, а також змащувально-охолоджувальними рідинами, які використовуються в процесі обробки для охолодження зони різання. Для запобігання цьому використані рідини не допускається зливати в загальну каналізацію. Їх потрібно доставляти з метою очищення на спеціальні очисні споруди. Після проведення очищення приймається рішення щодо подальшого використання для виробничих потреб. При цьому для очищення стоків передбачаємо використання механічних (відстоювання, фільтрація) та хімічних (нейтралізація, коагуляція) методів очищення. Щоб запобігти забрудненню ґрунтових вод використаними у металорізальних верстатах робочими рідинами внаслідок низької герметичності систем передбачаємо проведення профілактичних оглядів з періодичністю один раз на пів року. При механічній обробці деталі відбувається пилове забруднення повітряного

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

басейну не тільки виробничого басейну, але і зовнішнього повітря. Тому для запобігання цьому передбачаємо застосування загально обмінної вентиляції, а на кожному робочому місці – технічних засобів місцевої вентиляції. За рахунок багатоступеневого очищення забезпечуємо високу ефективність очищення відпрацьованого повітря, а також можливість його часткового подальшого використання в системах рециркуляції. Контроль за станом повітряного середовища у виробничому приміщенні проводиться санітарною лабораторією.

З метою запобігання забрудненню навколишнього середовища використовуються спеціальні системи, що відокремлюють частинки пилу та бруду від повітря, яке викидається вентиляційними системами з виробничих приміщень. Для цеху механічної обробки використаємо очищувач циклонного типу.

Циклон працює за наступною схемою: пил, спрямований в апарат, поступає в циліндричну частину циклона та здійснює рух по спіралі із зростаючою швидкістю від периферії до центру, спускаються по зовнішній спіралі та виходять через вихлопну трубу 2. Частки пилу, які не в змозі слідувати за лініями струму газу і під впливом відцентрової сили, виносяться з кривої руху спрямованої до стінки.

В циліндричній камері 3 циклона статичний тиск сильно падає в напрямку від периферії до центру осі вихру.

Підбираємо нормалізований конічний циклон типу СДК-УН-33, який відрізняється довжиною конічної частини, спіральним вхідним патрубком і малим відношенням діаметрів вихлопної труби до корпусу

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

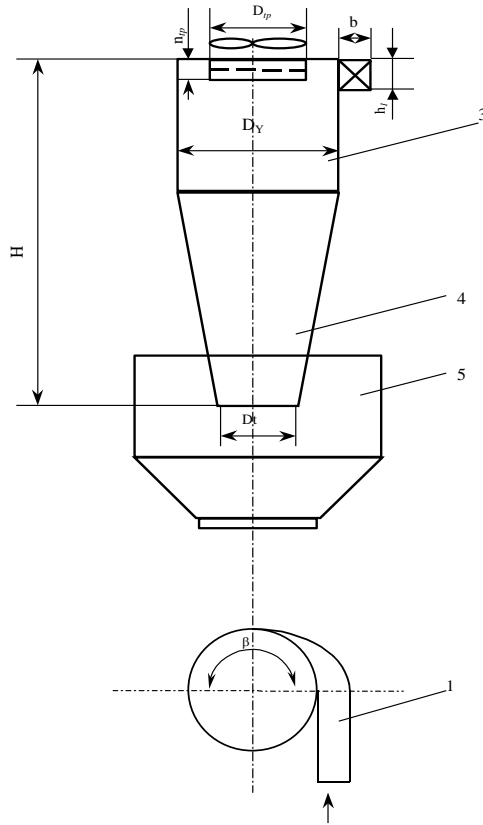


Рисунок 4.3.1 Схема роботи циклона

1 - вихідний патрубок; 2 - вихлопна труба; 3 - циліндрична камера;
4 - конічна камера; 5 - пилоосаджувальна камера.

Розрахунок параметрів циклона:

Обираємо діаметр циклона D_y .

В теперішній час використовують методику розроблену в ПІОТ відповідно якої експериментальні дані переносяться на логарифмічну сітку та уточнення медіанного розміру часток d_{50} відбувається шляхом графічного будівництва лінії $y_\phi=f(d_2)$.

За даними НДІОГ азу побудована номограма на якій наведена залежність витрат повітря V_r від гідравлічного опору Δp при температурі повітря 20°C .

Витрати повітря для даної ділянки цеху дорівнюють $4900\text{м}^3/\text{г}$. Гідравлічний опір циклону дорівнює $1250\text{-}1500\text{Па}$, приймаємо $\Delta p=1500\text{Па}$.

З номограми виходить, що по завданню V_r та Δp відповідає $D_y=1500\text{мм}$.

Основні розміри циклона визначають відповідно з вибраним D_y .

Ширина вхідного патрубка $0,21D_y = 0,21 \cdot 1500 = 315 \text{ мм}$.

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота вхідного патрубку $0,66 D_y = 0,66 \cdot 1500 = 990$ мм.

Діаметр зовнішній вихлопної труби $0,58 D_y = 0,58 \cdot 1500 = 870$ мм.

Висота циліндричної частини $1,6 D_y = 1,6 \cdot 1500 = 2400$ мм.

Висота конічної частини $2 D_y = 2 \cdot 1500 = 3000$ мм.

Коефіцієнт очищення пилу:

$$k_y = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \cdot 100\%$$

$g_1 = 1 \text{ мг/м}^3$ - концентрація пилу до очистки ;

$g_2 = 0,1 \text{ мг/м}^3$ - концентрація пилу після очистки.

$$k_y = \frac{1 - 0.1}{0.1} \cdot 100\% = 90\%$$

Тобто, обраний циклон зменшує концентрацію пилу до граничнодопустимої.

4.4 Протипожежна профілактика

Протипожежна профілактика розробляє заходи, направлені на попередження пожеж, перекриття шляхів розповсюдження вогню, забезпечення швидкої та безпечної евакуації людей і майна з приміщення, згідно затвердженого плану евакуації.

Для забезпечення пожежної профілактики проводимо інструктаж з пожежної безпеки для робітників фрезерного верстату двічі на рік.

Для попередження виникнення пожежі у робочому цеху встановлюємо ящики з піском, та вогнегасники ОУ-5 та ОП-6.

Рубильники пожежної сигналізації (позначені червоним кольором та відповідним маркуванням), розташовані на території цеху згідно проектування.

4.5 Заходи з ергономіки

Правильне визначення площі ділянки визначає правильну організацію робочого місця у відповідності з науковою організацією праці. Завдяки цьому зменшується втомленість працюючих і зменшується можливість травматизму.

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час проектування або реконструкції виробничих приміщень здійснюються заходи щодо встановлення окремих видів і систем освітлення (відповідно до ДБН В.2.5-28-2006) з метою створення оптимальних умов в кожній зоні.

В цеху застосовується комбіноване освітлення. Освітленість на підлозі при загальному освітленні повинна бути не менше 150 лк для ламп розжарювання не менше 150 лк для люмінесцентних ламп незалежно від місцевого освітлення.

					ЕП.ДП.18.08.04.ПЗ	Арк.
						68
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						69
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

В дипломному проекті розглядається система фрезерного верстату з двигуном постійного струму з використанням числовим програмним управлінням. Дане технічне рішення дозволить зменшити експлуатаційні витрати на технічне обслуговування установки та споживання електроенергії і збільшити надійність роботи системи в цілому. Основним завданням техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) є розрахунок капітальних витрат і експлуатаційних витрат проектного механізму.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції реалізації проекту включають в себе:

- витрати на придбання обладнання;
- витрати на монтаж і налагодження обладнання;

Підрахунок витрат здійснюється на основі цін, наведених у прайс-листах виробників обладнання та інших довідкових матеріалів.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тпс} + Z_m + Z_n + Z_{пр},$$

Де k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тпс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Витрати на придбання обладнання

Ціни на комплектуючі елементи було взято з офіційних сайтів виробників цього обладнання: Schneider – м.Київ, пр. Степана Бендери, 13-В, літера А, тел. (044) 538-14-70 <https://www.schneider-electric.ua/> . Ціни актуальні на 17.06.2018 року.

Таблиця 5.2.1 – Зведені витрати на придбання обладнання

№ п/п	Найменування комплектуючого виробу	Одиниця виміру	Кільк.	Ціна , грн./од	Вартість, грн.
1	Двигун постійного струму типу 2ПФ160ЛГ	шт.	1	12 535	12 535
2	Перетворювач частоти ATV71HU55N4	шт.	1	30 772	30 772
3	Електротехнічні вироби для модифікації системи живлення та керування верстата MA655A7	компл.	1	1 540	10 540
4	Система ЧПУ NC-210MA-11	компл.	1	92 645	92 645
5	Програмне забезпечення		1	15 780	15 780
6	Витрати на монтаж		1	800	800
7	Витрати на налагоджування		1	381	381
8	Транспортні витрати		1	1470	1470
Разом					164 923

5.3 Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи розраховуються за наступною формулою:

$$Z_m = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{pr}$$

Час для виконання робіт наладчиком визначено у корпоративній політиці підприємства: Дніпропетровська-Авто «Автосалон Мерседес». Всі документи, в яких зазначені норми часу, для виконання тих чи інших робіт, знаходяться у нормувальника.

Мінімальний оклад працівника першого розряду, на підприємстві, на посаді монтажника становить 3723 грн. Він зазначений у документації підприємства, яка знаходиться у бухгалтерії Дніпропетровськ-Авто «Автосалон Мерседес».

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Монтаж виконується працівником V розряду, його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнта розряду за єдиною тарифною сіткою (1,36) буде складати 5063,28 грн.

Звідси знайдемо годинну тарифну ставку:

$$5063,28 / 168 = 30,13 \text{ грн / год.}$$

Таблиця 5.3.1 – Витрати на монтаж

Найменування витрат	Позначення	Значення
Чисельність працівників V розряду, чол.	$Ч_i$	2
Годинна ставка працівників монтажника V розряду, грн.	a_i	30,13
Час, необхідний для виконання монтажних робіт, год	t_i	8
Коефіцієнт, що враховує розряд працівника	$K_{роз}$	1,36
Коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок	$K_{соц.вн.}$	1,22

Витрати на монтаж:

$$З_m = \sum(2 \cdot 30,13 \cdot 8) \cdot 1,36 \cdot 1,22 = 800 \text{ грн.}$$

Мінімальний оклад працівника першого розряду, на підприємстві, на посаді наладчика становить 5830 грн. Він зазначений у документації підприємства, яка знаходиться у бухгалтерії.

Монтаж виконується працівником VI розряду, його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнта розряду за єдиною тарифною сіткою (1,45) буде складати 8453,5 грн.

Звідси знайдемо годинну тарифну ставку: $8453,5 / 168 = 50,3 \text{ грн / год.}$

Таблиця 5.3.2 – Витрати на налагодження

Найменування витрат	Позначення	Значення
Чисельність працівників VI розряду, чол.	Ч_i	1
Годинна ставка працівників монтажника VI розряду, грн.	a_i	50,3
Час, необхідний для виконання монтажних робіт, год	t_i	4
Коефіцієнт, що враховує розряд працівника	$K_{\text{роз}}$	1,45
Коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок	$K_{\text{соц.вн.}}$	1,22
Коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних робіт	$K_{\text{ін}}$	1,07

Витрати на налагодження:

$$Z_n = \sum (1 \cdot 50.3 \cdot 4) \cdot 1.45 \cdot 1.22 \cdot 1.07 = 381 \text{ грн.}$$

Транспортні витрати розраховуємо згідно з цінами у курерській службі Нова Пошта (https://novaposhta.ua/tarifi_korporativnie_klienti/). Доставка із складу в Києві до складу в Дніпро складає:

Таблиця 5.3.3 – Зведені транспортні затрати

№	Назва транспортованого грузу	Ціна, грн.
1	Двигун постійного струму типу 2ПФ160ЛГ	100
2	Перетворювач частоти ATV71HU55N4	300 грн.
3	Електротехнічні вироби для модифікації системи живлення та керування верстата МА655А7	230 грн.
4	Система ЧПУ NC-210МА-11	800 грн.
5	Програмне забезпечення	40 грн.
Всього		1470 грн.

Загальна сума витрат становить:

$$K_{np} = 1370 + 856 + 381 + 163272 = 165975 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_T);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії (C_e);
- інші експлуатаційні витрати (C_{np}).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_3 + C_T + C_e + C_{np}, \text{ грн.}$$

5.5 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Мінімально допустимий термін корисного використання 4 групи основних засобів 10 років.

Визначимо норму амортизації:

$$O_a = O_{п} - Л = 165\,975 - 0 = 165\,975 \text{ грн.}$$

де $O_{п}$ - первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$ - розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів. Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійній методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Електрообладнання відноситься до IV групи основних засобів з мінімальним терміном корисного використання $T_k = 5$ років.

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом всього амортизаційного періоду і визначається за формулою:

$$H_a = \frac{O_{\text{п}} - Л}{O_{\text{п}} \cdot *} \cdot 100\% = \frac{163\,272 - 0}{163\,272 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\%$$

Таблиця 5.5.1 – Результати розрахунків амортизаційних витрат

Найменування	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Проектний варіант	165 975	20	33 195

5.6 Річні витрати на поточний ремонт та обслуговування

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали і запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^n \left(R \cdot t \cdot m \cdot R_{\Sigma} + \frac{S \cdot \Pi}{T} \cdot T_{\phi} \right)$$

де, R - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t - трудомісткість одного ремонту (для малого t=1,2 од / год.)

m - кількість ремонтів в рік;

R_Σ - сумарна категорія складності ремонту (R_Σ=10);

S - вартість однотипних замінних елементів, грн;

Π - кількість однотипних замінних елементів, грн;

T - середній термін служби деталей одного типу, час;

T_φ - число годин роботи обладнання в рік, годину.

Номинальний річний фонд робочого часу електрообладнання становить:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{р}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot t_{\text{зм}} = 245 \cdot 1 \cdot 8 = 1960 \text{ год.}$$

де K_{зм} - кількість робочих змін;

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(245 робочих днів, зміна 8 годин, робота в 1 зміну)

Час на проведення ремонтних попереджувальних робіт:

$$T_{\text{рем.}} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ год.}$$

Технічна зупинка на обслуговування становить 1 годину в зміні. Тривалість зупинки визначили шляхом дослідження та прописано у журналі технічного обслуговування Дніпропетровськ-Авто «Автосалон Мерседес», скільки часу в середньому витрачає працівник на обслуговування. Загальний час обслуговування:

$$T_{\text{обсл.}} = 48 + 245 = 293 \text{ год.}$$

Загальний час роботи обладнання складає:

$$T_p = 1960 - 293 = 1667 \text{ год.}$$

Загальні витрати на технічне обслуговування та ремонт складають:

$$Z_{\text{т.р.}} = 24,59 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 10 + \frac{250 \cdot 6}{600} \cdot 1667 = 5348 \text{ грн.}$$

5.7 Вартість споживаної електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_e = W_p \cdot C_e \text{ грн.}$$

Розрахунок спожитої електроенергії фрезерним станком:

$$D = D_0 \cdot Q_t \cdot N_y$$

де, Q_t - час роботи станка;

D_0 - потужність фрезерного станку;

N_y - вартість кВт/год.

За останніми документами які прийняті від 25.04.2017 року для нашого класу станку (усі споживачі, крім населення та комунально-побутових та релігійних організацій становить 228 коп/кВт час з НДС.

$$D = 88 \cdot 245 \cdot 228 = 49156,80 \text{ грн.}$$

					ЕП.ДП.18.08.05.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.8 Інші витрати

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. І складають:

$$C_{\text{ін}} = 35\,380 \cdot 0,04 = 1415,2 \text{ грн.}$$

Таким чином, всі розраховані витрати ведено в таблиці 5.6, котрі становлять:

$$C = 163272 + 39\,625 + 49156 + 5348 + 1415 = 258816 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.8.1 – Зведені експлантаційні витрати

Вид витрат	Значення
Амортизаційні відрахування	163272
Заробітна плата персоналу	39 625
Витрати на техобслуговування та поточний ремонт	5348
Вартість електричної енергії	49156
Інші витрати	1415
Всього	258816

5.9 Висновки

В даному розділі була визначена загальна вартість капітальних витрат на впровадження розробленого технологічного рішення, яка становить 163272 грн. Розраховано експлантаційні витрати, які становлять 258816.

Установка нового обладнання дозволить значно скоротити витрати на електроенергію за рахунок зменшення втрат і раціонального використання електроенергії. Досягнуто це за рахунок сучасних технологій управління електродвигуном, за числового програмного управління.

ВИСНОВОК

Протягом виконання даної роботи був проведений аналіз та розрахунок основних режимів роботи електроприводу головного руху фрезерного верстата. На основі розрахованих даних побудовано діаграму навантаження приводу обертання фрези фрезерного верстата. Був виконаний вибір двигуна, та елементів силової частини електропривода для модернізації приводу головного руху . Проведений аналіз систем регулювання, та вибір для даного електроприводу системи регулювання. Проведений аналіз енергетичних характеристик та досліджено динамічні режими роботи системи. Розроблена принципова схема даної системи електроприводу. За допомогою програмного пакету Matlab досліджені основні динамічні режими роботи системи.

В процесі модернізації верстата було реалізовано таке технічне рішення, яке забезпечує більш гнучку систему приводу стосовно обертів фрези.

					ЕП.ДП.18.08.В.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛИТЕРАТУРА

1. Колб А.А.: Теорія електроприводу, 2011р.
2. Васин В.М. Электрический привод: Учеб. Пособие для техникумов. - М.: Высшая школа, 1984г.
3. Ю.М. Лахтин, В.И.Андреев: Материаловедение, 1980г.
4. Липкин Б.Ю.: Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1981г.
5. Методичні вказівки до курсового проекту «Автоматизированный электропривод промышленных установок в машиностроении и металлургии» / Сост.: Н.Н. Козачковский, 1992г.
6. В.И. Андреев: Справочник конструктора – машиностроителя, 1974г.
7. Баграмов Л.Г., Колокатов А.М.: Методические указания, 2000г.
8. http://prepared-ing.ru/milling/formul/krut_moment.html - расчет усилий при фрезеровании.
9. <http://model.exponenta.ru/electro/0080.htm> - машины постоянного тока.
10. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И.: Электродвигатели: Справочник.
11. Методичні рекомендації до виконання розділу «Техніко-економічне обґрунтування» дипломного проекту бакалавра, напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / Укл.: Тимошенко Л.В., Дніпропетровськ: ДГІ, 1992р.
12. Податковий кодекс України станом на 01.01.2012
13. Програмний пакет Matlab.

					ЕП.ДП.18.08.Л.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		