

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
НТУ "Дніпровська політехніка"

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**дипломного проекту (роботи)**

бакалавр  
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханіка»  
(код і назва напряму підготовки)

освітній рівень бакалавр  
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки  
(код і назва кваліфікації)

на тему: Автоматизированный электропривод головного руху токарного станка с ЧПУ 2А628Ф4

**Виконавець:**

студент 4 курсу, групи ЕМ-14-1

\_\_\_\_\_ Петров Р.С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<u>Колб А.А.</u>		
розділів			
<u>Спеціальна частина</u>	<u>Колб А.А.</u>		
<u>Охорона праці</u>	<u>Голінько В.І.</u>		
<u>Економіка</u>	<u>Тимошенко Л.В.</u>		
Рецензент			
Нормоконтроль	<u>Казачковський М.М.</u>		

Дніпро  
2018

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
НТУ «Дніпровська політехніка»

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Завідувач кафедри

електроприводу

(повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 29 » \_\_\_\_\_ 01 \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМ-14-1 Петров Р.С.

(група)

(прізвище та ініціали)

Тема дипломного проекту Автоматизированный электропривод  
головного руху токарного станка с ЧПУ 2А628Ф4

затверджена наказом ректора ДВНЗ НТУ "Дніпровська політехніка" від  
\_\_07.05.2018\_\_ № \_\_568-л\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	<i>Розробка системи керування електроприводом головного руху токарного станка с ЧПУ.</i>	29.01 – 27.05
Охорона праці	<i>Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, заходи щодо їх усунення .</i>	28.05 – 3.06
Економічний	<i>Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту.</i>	4.06 – 10.06

Завдання видав

\_\_\_\_\_

(підпис)

Колб А.А.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_

(підпис)

Петров Р.С.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: \_\_29.01.2018\_\_

Термін подання дипломного проекту до ДЕК \_\_22.06.2018\_\_

## РЕФЕРАТ

Уданий час на підприємствах знаходиться велика кількість старого обладнання (токарні верстати, обробляючі центри), які майже не використовуються при виготовленні випускаємої продукції підприємством із-за їх частих виходів з строю . Даний дипломний проект передбачає модернізацію одного з таких верстатів, у якості прикладу вибран токарний верстат 2А628Ф4.

При модернізації верстата були вирішені такі завдання:

- Заміна старого двигуна приводу головного руху іншим ККД якого вище, що дало можливість економити кошти на споживанні електроенергії.

- Змінена система керування електроприводу, що підвищило надійність роботи верстата та значно знизило кількість годин простою пов'язаних з ремонтом.

- Зменшенні габарити системи керування завдяки використанню більш сучасної елементної бази. Використане однокомплектне СІФК. Тиристорні перетворювачі повністю керовані та побудовані на оптотиристорах.

- Модернізація блоку ПЗП на основі програмованої схеми, що підвищило надійність, зменшило розміри і збільшило простоту блоку.

- Використані більш сучасні давачі регулюємих величин токарного верстата.

З вище викладеного можна говорити про відповідність дипломного проекту поставленим вимогам у завданні на дипломне проектування. У розділі „Техніко – економічне обґрунтування” були підтверджена розрахунками економічна доцільність проекту, для підприємств на яких є старе обладнання (верстати, обробляючі центри і т.п.).

					ЕП.ПД. 18.07.Р.ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ЗМІСТ

1.	Вступ.....	6
2.	Технологічна частина.....	7
	2.1.Характеристика верстата та його основні параметри..	7
	2.2.Загальна характеристика електрообладнання верстата, його режимів роботи та умов експлуатації.....	8
	2.3.Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та кінематична схема.....	9
	2.4. Креслення типової деталі.....	10
	2.5.Порядок обробки деталі, параметри режимів різання, траєкторії переміщення інструменту при обробці деталі..	11
	2.6. Вимоги до електропривода та системи програмного керування.....	12
3.	Автоматизований електропривод.....	13
	3.1. Попередній вибір двигуна та передатного числа.....	13
	3.2 Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень привода головного руху токарного верстату.....	16
	3.3. Перевірка попередньо вибраного двигуна на нагрів....	27
	3.4. Вибір елементів силового кола.....	30
	3.5. Розрахунок параметрів САР.....	34
4.	Дослідження динаміки електропривода	
	4.1. Мета досліджень.....	47

					ЕП.ПД. 18.07.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		4

4.2.	Програмний засіб моделювання.....	47
4.3.	Режими роботи електропривода які досліджувались.....	51
4.4.	Результати досліджень.....	51
5.	Охорона праці.....	56
6.	Техніко – економічне обґрунтування.....	63
7.	Висновки.....	72
8.	Література.....	73

					ЕП.ПД. 18.07.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		5

## ВСТУП

Метою дипломного проекту є розробка електроприводу головного руху для токарного верстата 2А628Ф4.

Задачею дипломного проекту є отримання більш кращих параметрів електропривода головного руху для токарного верстата 2А628Ф4.

У зв'язку з зростанням вимог до якості будь – якої продукції з часом, виникає потреба її підвищення, тобто: покращення властивостей продукції, збільшення строку експлуатації, зниження собівартості. А все це досягається використанням у виробництві сучасних технологій, які більш точніші, більш швидкодіючі, більш продуктивніші. Тому є доцільним вивчення і покращення існуючого обладнання

					ЕП.ПД. 18.07.В.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Характеристика верстата та його основні параметри

Токарний верстат 2А628Ф4 для центрових та патронних робіт, призначений для токарної обробки в замкнутому полу автоматичному циклі деталей типу тіл обертання зі ступеневим та криволінійним профілем, включаючи нарізання крепіжних різьб. Верстат 2А628Ф4 оснащений ПЧПК „Електроніка НЦ – 31” з вводом програми обробки деталі з клавіатури, магнітної касети або з зовнішнього фотосчитуючого пристрою.

На ПЧПК „Електроніка НЦ – 31” програма візуалізується на лампах цифрової індикації.

Клас точності верстату	П
Найбільша довжина встановлююмого виробу, мм	1000
Найбільший діаметр оброблююмого виробу над супортом, мм	220
Частота обертання шпинделя, об/хв	22,4-2224
Границі програмованих подач:	
- повздовжніх	0,01- 20,47
- поперечних	0,005- 10,23
Максимальна швидкість робочої подачі, мм/об:	
- повздовжньої	2,8
- поперечної	1,4
Швидкість швидких переміщень, мм/хв:	
- повздовжніх	7500

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

- поперечних	5000
Дискретність переміщень, мм:	
- повздовжніх	0,01
- поперечних	0,005
Кількість позицій автоматичної поворотної головки	6
Найбільший крутячий момент на шпинделі, Нм	1000
Границі кроків нарізання різьб, мм	0,01- 40,95
Момент інерції шківів, кг*м <sup>2</sup>	0,01
Момент інерції проміжного валу, кг*м <sup>2</sup>	0,08
Момент інерції двигуна, кг*м <sup>2</sup>	0,1

2.2. Загальна характеристика електрообладнання верстата, його режимів роботи та умов експлуатації

Технічні дані електрообладнання:

- Вид струму живлячої мережі	змінний, трьохфазний
- Частота струму, Гц	50
- Напруга живлення, В	380
- Напруга ланцюгів керування, В	24
- Тип двигуна приводу головного руху	2ПФ160ЛГ
- Потужність, кВт	11
- Номінальна частота обертання, об/хв.	1500
- Регулювання частоти обертання двигуна з постійною потужністю, об/хв.	1500- 3750

Режими роботи та умови експлуатації:

- Температура навколишнього повітря для перетворювача +5..45 °С

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



- Температура навколишнього повітря для двигуна +5..40 °С
- Відносна вологість навколишнього повітря при 30°С не більше 80%
- Висота над рівнем моря до 1000 м
- Навколишнє середовище не вибухонебезпечне, яке не містить агресивних газів і випаровувань в концентраціях при яких руйнуються метали та ізоляція.

2.3. Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та кінематична схема.

Обраним механізмом є електропривод головного руху токарного верстата 2А628Ф4.

Він складається з:

- Тиристорних перетворювачів для живлення якоря та обмотки збудження двигуна;
- Електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням;
- Комутаційного трьохфазного дроселя для ланцюга якоря;
- Комутаційного однофазного дроселя для ланцюга збудження.

Технічні данні:

- Тип двигуна 2ПФ160ЛГ
- Номінальна напруга живлення, В 3\*380
- Припустиме відхилення живлячої напруги, % -15 +10
- Номінальна напруга якоря двигуна, В 440
- Номінальна напруга перетворювача ланцюга збудження, 220В
- Кліматичне виконання нормальне
- Ступінь захисту ІР44
- Режим роботи тривалий

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Типова кінематична схема механізму зображена на рис. 2.3. У схемі рис. 2.3 завдяки можливості пересування зубчастих коліс  $z_8, z_9$  вздовж валу V можна реалізувати три рівня передатного числа (один – для положення коліс  $z_8, z_9$ , зображеного на рис. 2.3, другий – коли колесо  $z_9$  зчеплене з  $z_{10}$ , третє – коли з'єднані  $z_8$  та  $z_{11}$ ).

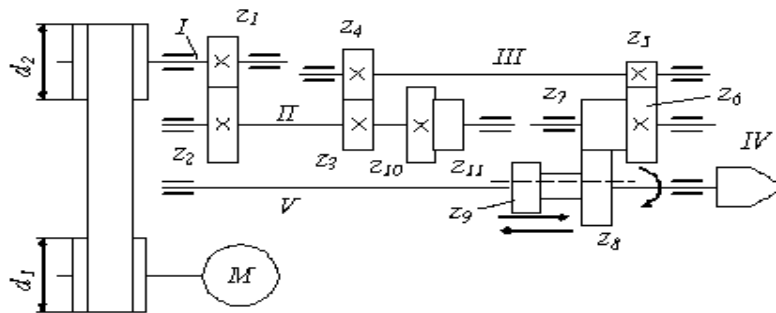


Рис. 2.3. Кінематична схема приводу головного руху.

#### 2.4. Креслення типової деталі.

Креслення типової деталі яка обробляється на токарному верстаті наведена на аркуші 1 рис. 2. Деталь являє собою лабіринтне кільце. Нижче наведені його основні розміри:

$D = 194$ мм	$L = 70$ мм	$D5 = 180$ мм
$D1 = 106$ мм	$L1 = 67,5$ мм	$D0 = 100$ мм
$D2 = 130$ мм	$L2 = 37,5$ мм	$D4 = 162$ мм
$D3 = 148$ мм	$L3 = 57,5$ мм	

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

Параметри режиму різання:

- Потужність різання, кВт	10
- Глибина різання, мм	4
- Подача на оберт, мм/об	0,5
- Тривалість паузи, с	3

Порядок обробки деталі:

На аркуші1 рисунках 2, 3, 4 відповідно зображені креслення заготовки та послідовність її обробки.на різних етапах. Преривістою лінією зображен профіль заготовки, суцільною лінією профіль деталі. Стрілками показано траєкторію руху різця, а точками характерні точки положення різця.

Обробка заготовки виконується у три етапи. На кожному етапі обробки використовується свій різець. Кожний рисунок відображає окремий етап обробки, а також містить креслення різця, який використовується на данному етапі.

1 - ший етап (аркуш 1, рис. 2)

Різець починає рух з точки 1 і проходить послідовно усі точки до 32. Відрізки 2-3, 6-7, 14-15, 22-23, 30-31, інструмент проходить із швидкістю робочої подачі, інщі зі швидкістю швидкого ходу. Після повернення інструменту до вихідної точки відбувається автоматична зміна різця та починається наступний етап. Тип обробки на цьому етапі - петля.

2 - ий етап (аркуш 1, рис. 3)

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Різець починає рух з точки 1 і проходить послідовно усі точки 1-6. Відрізки 2-3, 4-5 інструмент проходить із швидкістю робочої подачі, інщі 1-2, 5-6 зі швидкістю швидкого ходу. Після повернення інструменту до вихідної точки відбувається автоматична зміна різця та починається наступний етап.

3 - ій етап (аркуш 1, рис. 4)

Різець починає рух з точки 1 і проходить послідовно усі точки 1-8. Відрізки 2-3, 5-6 інструмент проходить із швидкістю робочої подачі, інщі 1-2, 4-5, 7-8 зі швидкістю швидкого ходу. Після повернення інструменту до вихідної точки відбувається автоматична зміна різця та зміна деталі на заготовку і починається новий цикл.

Траєкторії переміщення інструменту при обробці деталі наведені на тих же рисунках 2, 3, 4, аркуша 1.

## 2.6. Вимоги до електропривода та системи програмного керування

До вимог електропривода відносять:

- Максимальна потужність різання, кВт 10
- Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв. 22.4-2240
- Діапазон частот обертання шпинделя при  
P = const, об/хв 224- 2240
- Загальний діапазон регулювання 100
- Загальний діапазон регулювання при  
постійній потужності 10

Примітка: Регулювання швидкості від 224 до 22.4 об/хв здійснюється за рахунок зменшення напруги на якорі при постійному моменті ( $I_a = \text{const}$ ), тобто при зменшенні потужності двигуна.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вимогами до системи ЧПК є:

- Максимальне та мінімальне переміщення
- Діапазон зміни швидкостей пересування вздовж траєкторій
- Обмеження прискорень траєкторних переміщень
- Необхідність сумісного керування координатами (інтерполяція).

### 3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

#### 3.1. Попередній вибір двигуна та передатного числа

3.1.1. Двигун вибирають за потужністю різання з урахуванням діапазону регулювання швидкості, в якому забезпечується незмінність потужності. Максимальна швидкість двигуна відповідає максимальній швидкості шпинделя.

З двигунів з електромагнітним збудженням виберемо двигун із потужністю

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

Т.я.  $P_z = 10$  кВт, то  $P_n = 11$  кВт

Дані вибраного двигуна

Таблиця

3.1.

Тип	P <sub>n</sub> , кВт	Частота обертання, об/хв		ККД %	Опори обмоток, Ом (за 15° С)			Індуктивності обмоток		Момент інерції, кгм <sup>2</sup>
		ном.	макс.		R <sub>я</sub>	R <sub>дп</sub>	R <sub>з</sub>	L <sub>я</sub> +L <sub>дп</sub> , мГн	L <sub>з</sub> , Гн	

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

Так - як діапазон регулювання швидкості обраного двигуна за допомогою послаблення його поля не задовольняє бажаний діапазон, тобто умова (3.1) не виконується:

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ					Арк.
										13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

$$D_{\phi} = \frac{n_{\text{дmax}}}{n_{\text{дн}}} \geq Db = \frac{n_2}{n_1}, \quad (3.1)$$

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

3.1.2 Необхідна кількість ступнів передатного числа, тобто піддіапазонів регулювання швидкості:

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

З таблиці довідкових даних 3.1.

$$n_{\text{дmax}} = 3750 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\text{дн}} = 1500 \text{ об/хв}$$

$$D_{\phi} = n_{\text{дmax}} / n_{\text{дн}}$$

$$D_{\phi} = 2,5$$

З вимог до електроприводу маємо:

$$n_1 = 224 \text{ об/хв.}$$

$$n_2 = 2240 \text{ об/хв}$$

$$Db = n_2/n_1 = 10$$

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

приймаємо  $q = 3$

Передатне число першого піддіапазону

$$i_1 = n_{\text{дн}}/n_1 = 1500/224 = 6,696$$

Максимальна швидкість першого піддіапазона

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

1 – й піддіапазон

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

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

Максимальна швидкість к – ого піддіапазону

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

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

Мінімальна швидкість  $k$ -ого піддіапазону

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

2 – й піддіапазон

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

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

3 – й піддіапазон

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

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

Передатне число  $k$ -ого піддіапазону

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

Передатне число 2 -го піддіапазону

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

Передатне число 3 -го піддіапазону

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

На рис. 3.1 зображені залежності потужності різання  $P_z$  та потужності двигуна від швидкості шпинделя (лінії 1, 2, 3) для трьох значень передатного числа (відповідно до кінематичної схеми рис. 2.3).

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

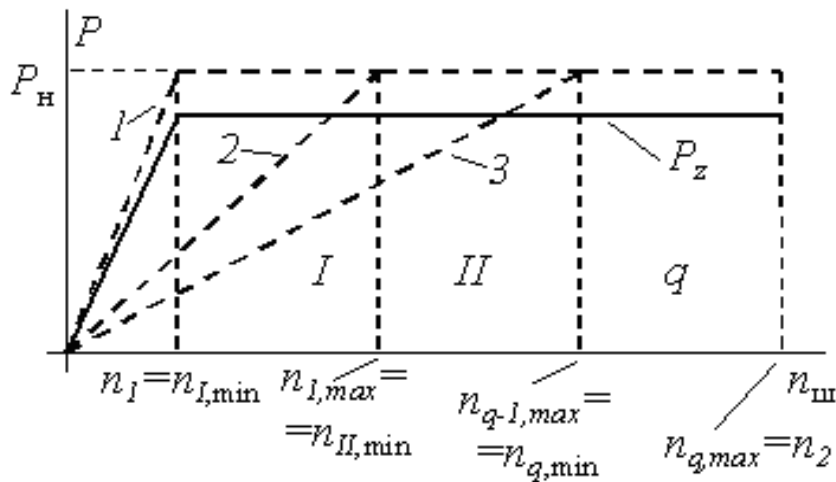


рис.3.1. Залежність потужностей двигуна і різання від швидкості шпинделя

### 3.2 Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень привода головного руху токарного верстату

#### 3.2.1. Швидкості, зусилля та тривалості різання

Швидкості та зусилля розраховують для чорнового точіння, як найбільш важкого режиму.

Для зовнішнього поздовжнього та поперечного точіння окружну швидкість різання розраховують за емпіричною формулою

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{X_v} s^{Y_v}}, \text{ м/хв}, \quad (3.2.1)$$

де  $t$  – глибина різання, мм;

$s$  – подача на оберт (або просто подача), мм/об;

$T = 60$  хв – стійкість різця;

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

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

									Арк.
									16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					



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

Частоту обертання шпинделя для кожного з переходів під час поздовжнього точіння визначають як

$$\omega_{\text{ши}i} = \frac{2v}{60D_i}, \text{ с}^{-1}, \quad (3.2.2.)$$

де  $D_i$  – діаметр оброблюваної поверхні на  $i$ -ому переході, м (визначається виходячи з положення вершини різця на рисунках 2, 3, 4 аркуша1).

1 - ший етап (аркуш1 рисунок 2)

$$v = 159,768 \text{ м/хв};$$

$$D = 194 \text{ мм};$$

$$t = 4 \quad \text{Глибина різання}$$

$$D_{11} = D/1000 - 2*t/1000 \quad \text{Діаметр обробки на першому переході}$$

$$i = 1, 2 \quad \text{Номер переходу на етапі}$$

$$k = 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 \quad \text{Коефіцієнти на кожному з переходів відповідно}$$

$$D_{1i}(k) = D_{11} - k*t/1000 \quad \text{Діаметр обробки на } k - \text{тому переході}$$

$$\omega_{1i}(k) = 2*v/(60*D_{1i}(k)), \text{ 1/с} \quad \text{Частота обертання шпинделя на } k - \text{тому переході.}$$

$$\omega_{1i}(k) =$$

28.632
29.919
31.327
32.874
34.582
36.477
38.591
40.966

$$nh_{1i}(k) =$$

273.418
285.706
299.151
313.924
330.232
348.327
368.519
391.197

$$D_{1i}(k) =$$

0.186
0.178
0.17
0.162
0.154
0.146
0.138
0.13

Швидкість робочої подачі для кожного з переходів під час поздовжнього та торцевого точіння

$$v_{\text{ши}i} = \frac{sn_{\text{ши}i}}{60000} = \frac{s\omega_{\text{ши}i}}{2000\pi}, \text{ м/с}$$

де  $s = 0,5$     Подача на оберт, мм/об

$i = 1, 2$     Номер переходу на етапі

$v_{pi}(k) =$

$2.278 \cdot 10^{-3}$
$2.381 \cdot 10^{-3}$
$2.493 \cdot 10^{-3}$
$2.616 \cdot 10^{-3}$
$2.752 \cdot 10^{-3}$
$2.903 \cdot 10^{-3}$
$3.071 \cdot 10^{-3}$
$3.26 \cdot 10^{-3}$

Тривалість переходу під час поздовжнього точіння

$$t_{pi} = L_i / v_{pi}, \text{ с,}$$

де  $L_i$  – довжина твірної оброблюваної поверхні, м (інакше – шлях, пройдений зі швидкістю подачі  $v_{pi}$ ).

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

$i = 1, 2$  Номер переходу на етапі ( 1 – му)

$tp1(k) =$

17.556
16.8
16.045
15.29
14.535
13.78
13.025
12.27

2 - ий етап (аркуш 1 рисунок 3)

Частота обертання шпинделя дорівнює:

### Перший перехід

$$\omega_{h21} = 2 \cdot v / ( 60 \cdot (D_{21}/1000) ) = 2 \cdot 159,768 / ( 60 \cdot (106/1000) ) = 50,241 \text{ 1/c}$$

### Другий перехід

Перехід 4-5 різець виконує обробку торцевої поверхні, тому з метою стабілізації окружної швидкості різання, частота обертання шпинделя безперервно змінюється системою ЧПК пропорційно радіусу оброблюваної поверхні, а швидкість подачі - пропорційно частоті обертання шпинделя для стабілізації обертової подачі.

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

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

$$\omega_{h22p} = 2 \cdot v / ( 60 \cdot (D_{22p}/1000) ) = 2 \cdot 159,768 / ( 60 \cdot (106/1000) ) = 50,241 \text{ 1/c}$$

$$\omega_{h22k} = 2 \cdot v / ( 60 \cdot (D_{22k}/1000) ) = 2 \cdot 159,768 / ( 60 \cdot (130/1000) ) = 40,966 \text{ 1/c}$$

Причому зміну частоти у часі вважаємо лінійною.

Швидкість робочої подачі для першого переходу дорівнює:

$$v_{p21} = s \cdot \omega_{h21} / ( 2000 \cdot \pi ) = 0,5 \cdot 50,241 / ( 2000 \cdot 3,14 ) = 3,998 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

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

$$v_{p22p} = s \cdot \omega_{h22p} / ( 2000 \cdot \pi ) = 0,5 \cdot 50,241 / ( 2000 \cdot 3,14 ) = 3,998 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

$$v_{p22k} = s \cdot \omega_{h22k} / ( 2000 \cdot \pi ) = 0,5 \cdot 40,966 / ( 2000 \cdot 3,14 ) = 3,26 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Визначаємо тривалість переходу під час повздовжнього точіння, перехід 1.

$$L_{21} = L = 70 \text{ мм}$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$tr_{21} = L_{21}/1000 / v_{p21} = 70/1000 / ,998*10^{-3} = 17,508 \text{ с}$$

Тривалість переходу під час торцевого точіння, перехід 2.

$$t_{пт} = \frac{30000\pi}{sv} (D_{п}^2 - D_{к}^2), \text{ с,}$$

де  $D_{п}^2$  та  $D_{к}^2$  – початковий та кінцевий діаметри на траєкторії торцевого точіння, м.

$$D_{22p} = D_1/1000 = 106/1000 = 0,106 \text{ мм}$$

$$D_{22k} = D_2/1000 = 130/1000 = 0,130 \text{ мм}$$

$$t_{пт} = \frac{30000\pi}{sv} (D_{п}^2 - D_{к}^2) = \frac{30000 * 3,14}{0,5 * 159,768} (0,106^2 - 0,13^2) = 6,682 \text{ с}$$

3 - ій етап (аркуш1 рисунок 4)

На даному етапі здійснюється прорізка канавок під гумові прокладки, для окружної швидкості різання  $v$  вводиться поправочний коефіцієнт  $kr$ . А для подачі на оберт  $s$  при діаметрі обробки від 100 мм і більше рекомендується приймати її величину близько 0.25 мм/об, в данному випадку в половину менша ніж задана подача 0.5 мм/об.

Частота обертання шпінделя

1 - ий перехід

Приймаємо  $v_p = v * 0,9 = 159,768 * 0,9 = 141,791 \text{ м/с}$  Окружна швидкість різання для режиму прорізання пазів.

$tr = 8 \text{ мм}$  Довжина леза прорізного різця

Приймаємо  $sr = s/2 = 5/2 = 0,25 \text{ мм}$  Подача на оберт для режиму прорізання пазів.

$$D_{31} = D_4 + (D_5 - D_4)/2 = 162 + (180 - 162)/2 = 171 \text{ мм}$$

$$\omega_{h31} = 2 * v_p / (60 * (D_{31}/1000)) = 2 * 143,791 / (60 * (171/1000)) = 28,029 \text{ 1/с}$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2 - ий перехід

$$D_{32} = D_2 + (D_3 - D_2) / 2 = 130 + (148 - 130) / 2 = 139 \text{ мм}$$

$$\omega_{h32} = 2 \cdot v_p / (60 \cdot (D_{32} / 1000)) = 2 \cdot 143,791 / (60 \cdot (139 / 1000)) = 34,482 \text{ 1/с}$$

Швидкість робочої подачі на 1- ому переході

$$v_{p31} = s_p \cdot \omega_{h31} / (2000 \cdot \pi) = 0,25 \cdot 28,029 / (2000 \cdot 3,14) = 1,115 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Швидкість робочої подачі на 2- ому переході

$$v_{p32} = s_p \cdot \omega_{h32} / (2000 \cdot \pi) = 0,25 \cdot 34,482 / (2000 \cdot 3,14) = 1,372 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Визначаємо тривалість переходу під час повздовжнього точіння, перехід 1.

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

$$t_{p31} = L_{31} / 1000 / v_{p31} = 20 / 1000 / 1,115 \cdot 10^{-3} = 17,933 \text{ с}$$

Тривалість переходу під час повздовжнього точіння, перехід 2.

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

$$t_{p32} = L_{32} / 1000 / v_{p32} = 20 / 1000 / 1,372 \cdot 10^{-3} = 14,577 \text{ с}$$

Вигляд діаграми швидкостей шпинделя під час обробки деталі за рисунками 1, 2, 3 наведена на рис. 5 аркуша1. У розрахункових формулах перша цифра відповідає номеру етапу обробки, а друга цифра відповідає номеру переходу на рисунках 1, 2, 3.

3.2.2. Складові зусилля різання:

тангенціальна

$$F_z = 10 C_{Fz} t^{X_{Fz}} s^{Y_{Fz}} v^{n_z}, \text{ Н};$$

радіальна

$$F_y = 10 C_{Fy} t^{X_{Fy}} s^{Y_{Fy}} v^{n_y}, \text{ Н};$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поздовжня (осьова)

$$F_x = 10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s^{Y_{Fx}} v^{n_x}, \text{ Н.}$$

Емпіричні коефіцієнти формул для зовнішнього точіння твердосплавним різцем наведені в таблицях довідника [7].

$$F_z = 10C_{Fz} t^{X_{Fz}} s^{Y_{Fz}} v^{n_z} = 10 * 300 * 4^1 * 0,5^{0,75} * 159,768^{-0,15} = 3,333 * 10^3 \text{ Н;}$$

$$F_y = 10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s^{Y_{Fy}} v^{n_y} = 10 * 243 * 4^{0,9} * 0,5^{0,8} * 159,768^{-0,3} = 1,061 * 10^3 \text{ Н;}$$

$$F_x = 10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s^{Y_{Fx}} v^{n_x} = 10 * 330 * 4^1 * 0,5^{0,5} * 159,768^{-0,4} = 1,226 * 10^3 \text{ Н;}$$

### 3.2.3. Навантаження приводу шпинделя:

Статичний момент на валу двигуна на кожному з переходів

$$M_c = \frac{F_z D_i}{2i\eta},$$

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 [7]).

Щоб визначити, яке з розрахованих у п. 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:

$$\omega_{дн} \leq \omega_{ді} = \omega_{ш} i_k \leq \omega_{дmax}$$

$$\omega_{дн} = \pi * n_{дн} / 30 = 3,14 * 1500 / 30 = 157,08 \text{ 1/с}$$

$$\omega_{дmax} = \pi * n_{дmax} / 30 = 3,14 * 3750 / 30 = 392,699 \text{ 1/с}$$

Аналізуючи швидкості шпинделя на трьох етапах обробки можна зробити висновки що передатне число  $i_1$  забезпечує швидкість шпинделя у вказанному вижче діапазоні.

Підтвердимо це розрахунками; для цього візьмемо найменшу та найбільшу швидкості обертання шпинделя  $\omega_{h31}$  та  $\omega_{h21}$ .

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

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

$$n_{1\min} = 224 \text{ об/хв} \qquad n_{1\max} = 482,593 \text{ об/хв}$$

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.

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

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

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

$\eta_{\Sigma} = \eta_{rp} * \eta_{zp1} * \eta_{zp2} = 0,893$  Сумарне передаточне число, за кінематич -ною схемою верстата.

1 – й етап

$$M_{s1i(k)} = \frac{F_z D_{1i(k)}}{2 * i1 * \eta_{\Sigma}}$$

$i = 1, 2$       Номер переходу на етапі ( 1 – му)

$i1 = 6,696$       Передатне число першого піддіапазону

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

$k$       Коефіцієнт переходу

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Msl i(k) =

51.831
49.602
47.372
45.143
42.914
40.685
38.455
36.226

2 – й етап

$D_{21} = D_1 = 106$  мм      Діаметр обробки на 1-ому переході 2-го етапу.

$$M_{s21} = \frac{F_z * \frac{D_{21}}{1000}}{2 * i_1 * \eta \sum} = \frac{3333 * \frac{106}{1000}}{2 * 6,696 * 0,893} = 29,593 \text{ Нм} \quad \text{Статичний}$$

момент на першому переході другого етапу.

$D_{22p} = D_1 = 106$  мм      Початковий діаметр обробки на другому переході другого етапу .

$D_{22k} = D_2 = 130$  мм      Кінцевий діаметр обробки на другому переході другого етапу.

$$M_{s22p} = \frac{F_z * \frac{D_{22p}}{1000}}{2 * i_1 * \eta \sum} = \frac{3333 * \frac{106}{1000}}{2 * 6,696 * 0,893} = 29,593 \text{ Нм} \quad \text{Початковий}$$

статичний момент на другому переході другого етапу.

$$M_{s22p} = \frac{F_z * \frac{D_{22p}}{1000}}{2 * i_1 * \eta \sum} = \frac{3333 * \frac{130}{1000}}{2 * 6,696 * 0,893} = 36,226 \text{ Нм} \quad \text{Кінцевий}$$

статичний момент на другому переході другого етапу.

На цьому переході зі змінним радіусом залежність статичного

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



моменту від часу вважаємо лінійною

3 – й етап

На даному етапі здійснюється прорізка канавок під гумові прокладки, а для режиму прорізки складові зусиль різання розраховуються з тимиж коефіцієнтами, але  $t$  у цих формулах не глибина різання, а довжина леза різця. Причому для окружної швидкості різання  $v$  вводиться поправочний коефіцієнт  $k_r$ , а для подачі на оберт  $s$  при діаметрі обробки від 100 мм і більше рекомендується приймати її величину близько 0.25 мм/об.

$t_r = 8$  мм Довжина леза прорізного різця

Приймаємо, дивись пункт 3, опис третього етапу.

$s_p = 0,25$  мм                      Подача на оберт для режиму прорізання пазів

$v_p = 143,791$  мм    Окружна швидкість різання для режиму прорізання пазів,

тангенціальна

$$F_{zp} = 10C_{Fz} t^{X_{Fz}} s_p^{Y_{Fz}} v_p^{n_z}, \text{ Н};$$

радіальна

$$F_{yp} = 10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s_p^{Y_{Fy}} v_p^{n_y}, \text{ Н};$$

поздовжня (осьова)

$$F_{xp} = 10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s_p^{Y_{Fx}} v_p^{n_x}, \text{ Н}.$$

Емпіричні коефіцієнти формул для зовнішнього точіння твердосплавним різцем наведені в таблицях довідника [7].

$$F_{zp} = 10C_{Fz} t^{X_{Fz}} s_p^{Y_{Fz}} v_p^{n_z} = 10 * 300 * 4^1 * 0,25^{0,75} * 159,768^{-0,15} = 3,333 * 10^3 \text{ Н};$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$F_{yp} = 10C_{Fy} t^{X_{Fy}} s_p^{Y_{Fy}} v_p^{n_y} = 10 * 243 * 4^{0,9} * 0,25^{0,8} * 159,768^{-0,3} = 1,173 * 10^3 \text{ Н};$$

$$F_{xp} = 10C_{Fx} t^{X_{Fx}} s_p^{Y_{Fx}} v_p^{n_x} = 10 * 330 * 4^1 * 0,25^{0,5} * 159,768^{-0,4} = 1,809 * 10^3 \text{ Н};$$

$$D_{31} = D_5 = 180 \text{ мм}$$

$$D_{32} = D_3 = 148 \text{ мм}$$

$$M_{s31} = \frac{F_z * \frac{D_{31}}{1000}}{2 * i_1 * \eta \sum} = \frac{3333 * \frac{180}{1000}}{2 * 6,696 * 0,893} = 60,6 \text{ Нм Статичний}$$

момент на першому переході третього етапу.

$$M_{s32} = \frac{F_z * \frac{D_{32}}{1000}}{2 * i_1 * \eta \sum} = \frac{3333 * \frac{148}{1000}}{2 * 6,696 * 0,893} = 49,826 \text{ Нм Статичний}$$

момент на першому переході третього етапу

Вигляд діаграм статичного моменту наведено на рис. 4 аркуша 1. Протягом пауз коли не здійснюється обробка відбувається пересування інструменту без контакту з деталлю. Статичний момент при цьому дорівнює моменту холостого ходу.

$$M_0 = 0,6 * (1 - \eta \sum) * M_{smax} = 0,6 * (1 - 0,893) * 60,6 = 3,884 \text{ Нм}$$

Де  $M_{smax}$  максимальний статичний момент діаграми рис. 4 аркуша 1. і відповідає статичному моменту першого переходу першого етапу.

Момент інерції деталі визначається як сума моментів інерції елементарних суцільних циліндрів

$$D_c = D/1000 = 194/1000 = 0,194 \text{ м}$$

$$L_c = L/1000 = 70/1000 = 0,07 \text{ м}$$

$$J_c = \pi * D_c^2 * L_c * \gamma / 32 = 2,017 \text{ кг/м}$$

де  $D_c, L_c$  діаметр та довжина циліндру, м;

									Арк.
									26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ

$\gamma = 7.8 \cdot 10^3$  кг/м - питома вага оброблюваного матеріалу (сталі).

Сумарний зведений до валу двигуна момент інерції привода

$$J = J_{dv} + J_{hk} + \frac{J_{pv}}{i_r^2} + \frac{J_{hp} + J_{det}}{i_l^2} = 0.1 + 0.01 + \frac{0.08}{2^2} + \frac{0.06 + 2.017}{6.69^2} = 0.176 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де  $J_{dv}$ ,  $J_{hk}$ ,  $J_{pv}$ ,  $J_{hp}$ ,  $J_{det}$  - момент інерції двигуна, шківа, проміжного валу, шпинделя та деталі;

$i_r$  - передатне число ремінної передачі.

Динамічний момент на ділянках зі змінною швидкістю

$$M_j = J \cdot i_l \cdot \frac{\omega_{h22p} - \omega_{h22k}}{t_{PT22}} = 0.093 \cdot 2 \cdot \frac{50,241 - 40,966}{6,682} = 0,86 \text{ Нм}$$

$\omega_{h22p}$  Початкова швидкість шпинделя на ділянці зі змінною швидкістю

$\omega_{h22k}$  Кінцева швидкість шпинделя на ділянці зі змінною швидкістю

$t_{PT22}$  Тривалість цієї ділянки

Повний момент двигуна

$$M = M_c + M_j$$

Зразок діаграм динамічного та повного моментів наведений на рис.5 аркуша 1.

### 3.3. Перевірка попередньо вибраного двигуна на нагрів

#### Двигун шпинделя

Критеріями перевірки двигуна є нагрів та перевантажувальна здатність. Еквівалентний за нагріванням момент для розрахованої в п.п. 3.2. діаграми навантажень дорівнює

$$M_e = \sqrt{\sum M_{ci}^2 t_i / t_{ц}}, \quad (3.3)$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

$$Ms_{11} = Ms_{11}^2 \cdot tp_{11} = 51,831 \cdot 17,556 = 47160 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{12} = Ms_{12}^2 \cdot tp_{12} = 49,602 \cdot 16,8 = 41330 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{13} = Ms_{13}^3 \cdot tp_{13} = 47,372 \cdot 16,045 = 36010 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{14} = Ms_{13}^4 \cdot tp_{14} = 45,143 \cdot 15,29 = 31160 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{15} = Ms_{13}^5 \cdot tp_{15} = 42,914 \cdot 14,535 = 26770 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{16} = Ms_{16}^2 \cdot tp_{16} = 40,685 \cdot 13,78 = 22810 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{17} = Ms_{17}^2 \cdot tp_{17} = 38,455 \cdot 13,025 = 19260 \quad \text{Нм}$$

$$Ms_{18} = Ms_{18}^2 \cdot tp_{18} = 36226 \cdot 12,27 = 16100 \quad \text{Нм}$$

1 - й перехід

$$Ms_{1\Sigma} = Ms_{11} + Ms_{12} + Ms_{13} + Ms_{14} + Ms_{15} + Ms_{16} + Ms_{16} + Ms_{17} + Ms_{18} = 128800 \quad \text{Нм}$$

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

$$M_{cki} = \sqrt{\left( M_{поч}^2 + M_{кін}^2 - M_{поч} \cdot M_{кін} \right) / 3},$$

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

$$Ms_{2\Sigma} := Ms_{21}^2 \cdot tp_{21} + \left[ \sqrt{\frac{(Ms_{22p}^2 + Ms_{22k}^2 - Ms_{22p} \cdot Ms_{22k})}{3}} \right]^2 \cdot tp_{22}$$

$$Ms_{2\Sigma} = 1.776 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Ms_{3\Sigma} := Ms_{31}^2 \cdot tp_{31} + Ms_{32}^2 \cdot tp_{32}$$

$$Ms_{3\Sigma} = 1.02 \times 10^5 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

$$\begin{array}{llll}
 tp_{11} = 17.556 & tp_{12} = 16.8 & tp_{13} = 16.045 & tp_{14} = 15.29 \\
 tp_{15} = 14.535 & tp_{16} = 13.78 & tp_{17} = 13.025 & tp_{18} = 12.27
 \end{array}$$

$$tp_{1\Sigma} := tp_{11} + tp_{12} + tp_{13} + tp_{14} + tp_{15} + tp_{16} + tp_{17} + tp_{18}$$

$$tp_{1\Sigma} = 119.302 \quad \text{с} \quad \Sigma \text{ час 1 - го переходу}$$

$$tp_{2\Sigma} := tp_{21} + tp_{22}$$

$$tp_{2\Sigma} = 24.191 \quad \text{с} \quad \Sigma \text{ час 2 - го переходу}$$

$$tp_{3\Sigma} = tp_{31} + tp_{32} = 17,933 + 14,577 = 32,51 \text{ с} \quad \Sigma \text{ час 3 - го переходу}$$

$$t_0 = 3 \text{ с} \text{ Тривалість паузи}$$

$$t_{\Sigma} = tp_{1\Sigma} + tp_{2\Sigma} + tp_{3\Sigma} + 11 * t_0 =$$

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

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

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

Двигун не перегрівається, якщо його номінальний момент

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

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

Тобто умова виконується і двигун не перегрівається

Так - як ні на одному з переходів швидкість шпінделя не перевищує номінальну швидкість двигуна то перевірку на перевантажувальну здатність здійснюємо тільки для ділянки з найбільшим статичним моментом, тобто 1 - ого переходу 3 - ого етапу за умовою  $M_{s1} < M_{\max}$

$$M_{s31} = 60,6 \text{ Нм}$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

$M_{c31} < M_{dvmax}$  Умова виконується

### 3.4. Вибір елементів силового кола

#### *Електропривод за системою “керований випрямляч –двигун”*

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

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

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

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

$$k_{Fn} = (U_{ан} - I_{ан} \cdot R_a) / \omega_{дн} = (440 - 25 \cdot 0.749) / 157.1 = 1.85 \text{ Вб}$$

$I_{ан} = P_n / (U_{ан} \cdot \mu) = 11000 / (440 \cdot 0.84) = 29 \text{ А}$  Номінальна струм обмотки якоря

$I_{зн} = U_{зн} / R_z = 4,453 \text{ А}$  Номінальна струм обмотки збудження

$R_z$  - з таблиці 3.1.

Для приводу головного руху номінальні дані тиристорного випрямляча (ТВ) наступні:

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

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

Схема силових кіл ТВ якоря привода головного руху приведена на рис.3.4.3, схема силових кіл ТВ збудження на рис.3.4.1, а схема підключення - на рис.3.4.2

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

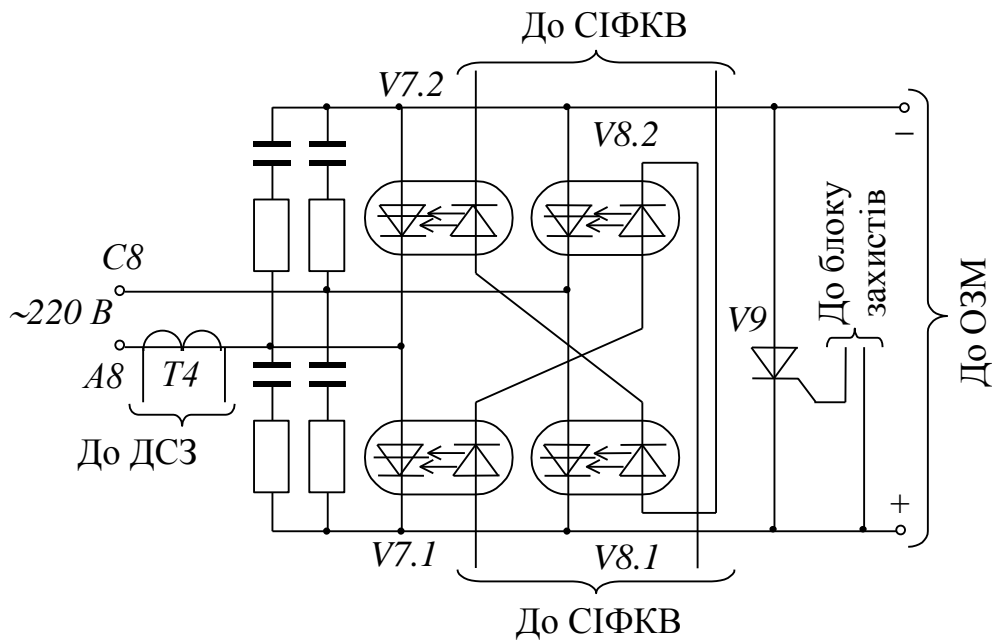


Рис. 3.4.1. Силова схема тиристорного збудника

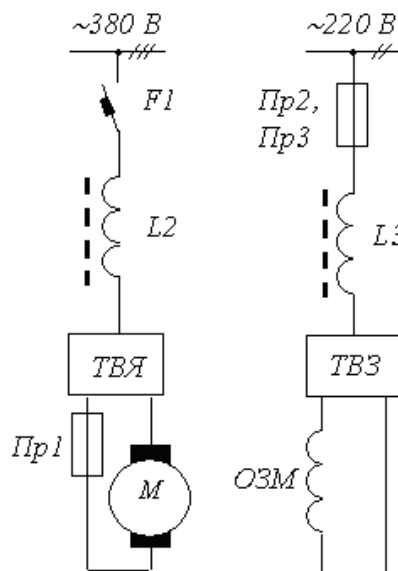


Рис.3.4.2. Схема підключення тиристорного електроприводу постійного струму.

Параметри мережних реакторів L2, L3 які використовуються в схемі підключення параметри:

для L2:

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

$$L_{rL2} = 0,66 \text{ мГн}$$

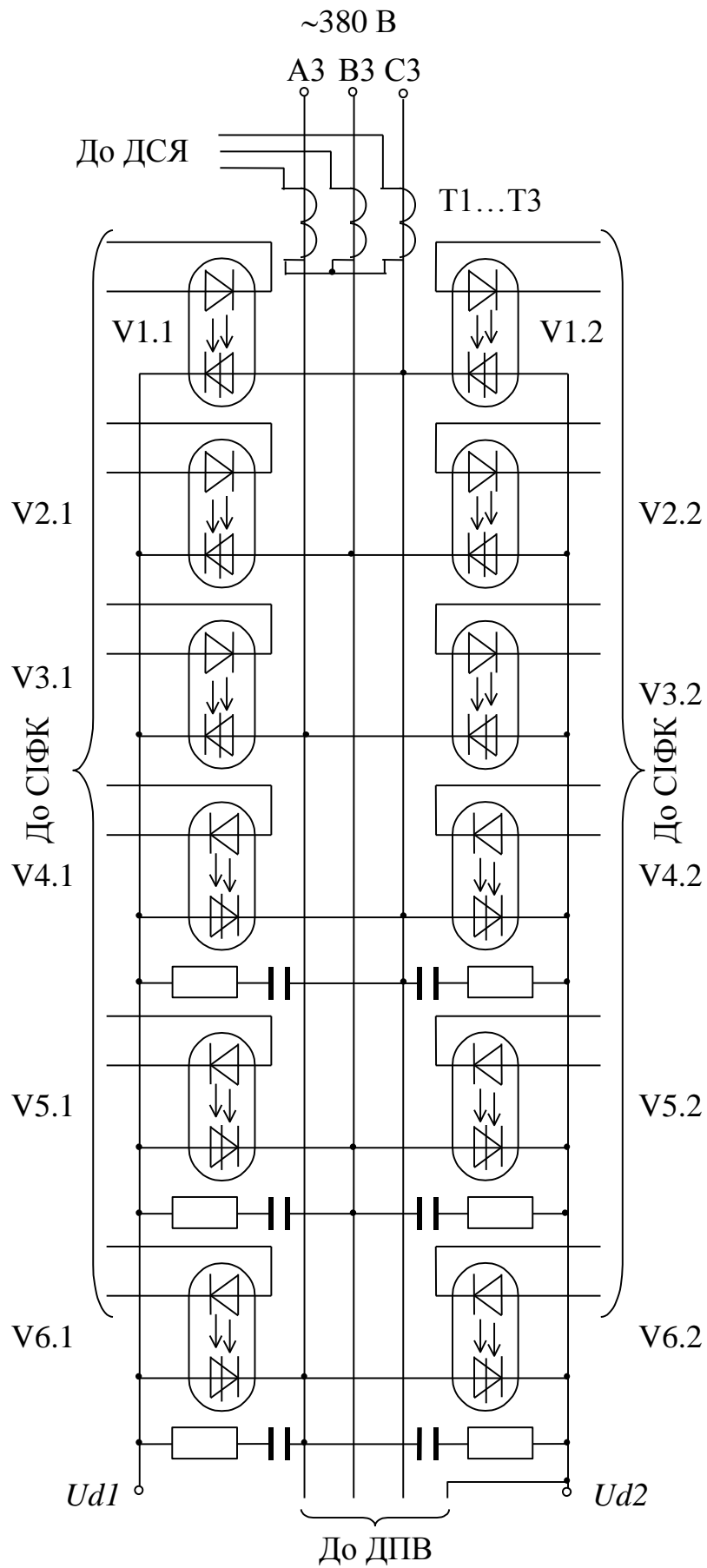
										ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат							31

$R_{rL2} = 0,0064 \text{ Ом}$

для L3: Не враховуємо

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		





Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ

Арк.

33

Рис. 3.4.3. Силова схема реверсивного тиристорного випрямляча для кола якоря

### 3.5. Розрахунок параметрів САР

#### 3.5.1. 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  $p = 6$ ).

$\omega_s = 2 * \pi * f_s = 2 * 3,14 * 50 = 314 \text{ 1/с}$                       кругова частота живлячої трьохфазної мережі.

$$R_{\gamma} = \frac{p * \omega_s * \frac{L_{L2}}{1000}}{2 * \pi} = \frac{6 * 314 * 0,00017}{2 * 3,14} = 0,051 \text{ Ом}$$

зведені до температури обмоток  $90^{\circ}$

$$\left. \begin{aligned} R_e &= (R_{я} + R_{др}) [1 + (90 - t_0^{\circ}) \alpha] + R_{\gamma}; \\ L_e &= L_{я} + L_{др}; \\ T &= L_e / R_e, \end{aligned} \right\}$$

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

$T_{хол\_об}$  – температура “холодної” обмотки.

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

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

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Коефіцієнт моменту для двигуна з електромагнітним збудженням

$$k\Phi = M_n / I_n .$$

Коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча з пилкоподібною опорною напругою в СІФК

$$k_{\text{вн}} = U_{d0}\pi / U_{\text{опт}} \quad (3.5.1),$$

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

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

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

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

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

$U_{\text{ж}} = U_{\text{ф}} \cdot \sqrt{3} = 381,051$  В Лінійна амплітудна напруга мережі

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

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

Розрахуємо коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча для кола збудження

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

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

$k_{\text{уз}} = 0,9$  Коефіцієнт схеми для однофазного мостового випрямляча який використовується в колі збудження.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

$$k_{\text{вз}} = U_{d0z} \pi / U_{\text{отт}} = \frac{198 * 3,14}{10} = 62,204$$

### 3.5.2. Параметри САР двозонного електроприводу

Вихідними даними для синтезу параметрів регуляторів є параметри об'єкту керування, потрібна резонансна частота замкненого контуру швидкості  $\omega_p$  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 безінерційний, 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.3.5.1, структурна – на рис.3.5.2. 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.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

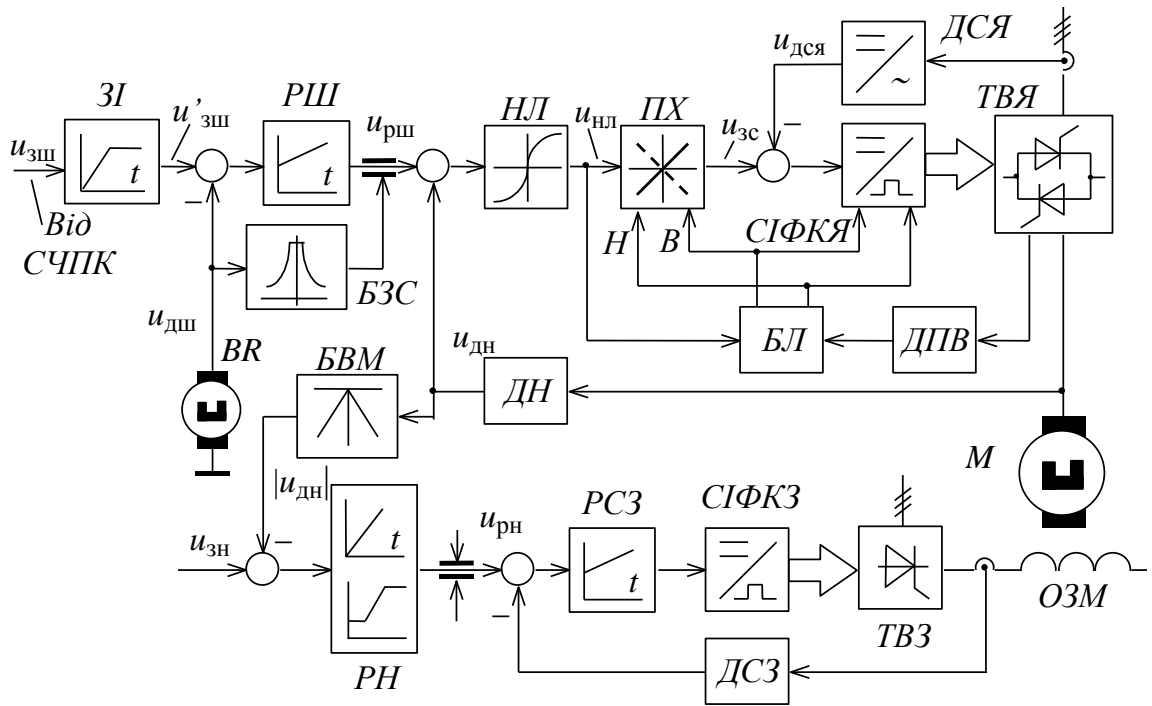


Рис. 3.5.1 Функціональна схема двозонного електроприводу постійного струму механізму головного руху

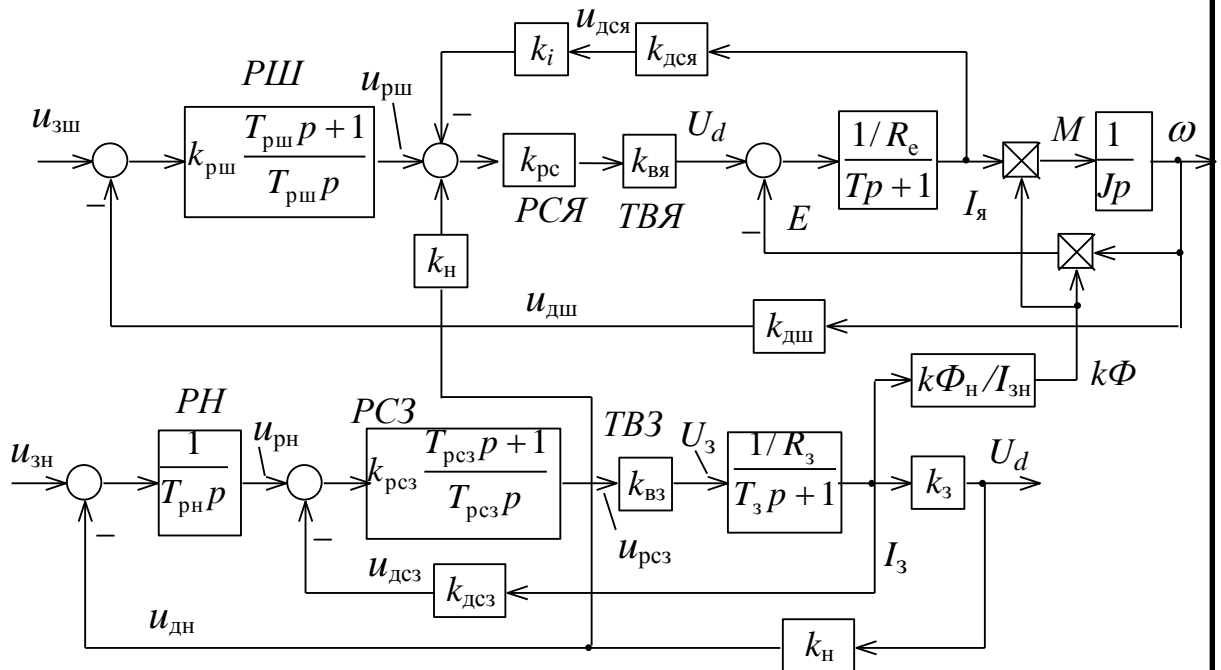


Рис.3.5.2. Структурна схема двозонного електроприводу постійного струму механізму головного руху

де  $k_н = \frac{1}{k_вья k_дн}$  – коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку за

напрягою;

$k_{дн} = 10/U_{ян}$  – коефіцієнт передачі датчика напруги якоря.

$$k_n = 1 / (k_{ва} * k_{дн}) = 1 / (161,61 * 61) = 0,272$$

$$k_{дн} = 10 / U_{ян} = 10 / 440 = 0,023$$

Система регулювання швидкості – двоконтурна, із внутрішнім контуром струму та пропорційним регулятором струму. Вузол залежного струмообмеження ВЗС забезпечує зміну рівня обмеження струму залежно від швидкості згідно з перевантажувальною здатністю двигуна. Нелінійна ланка НЛ призначена для компенсації нелінійності 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

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

Інтенсивність зворотного зв'язку за струмом

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

де  $k_{дсЯ} = 3 / I_{дн} = 3 / 25 = 0,12$  коефіцієнт передачі датчика струму якоря, В/А

Коефіцієнт передачі замкненого контуру струму

$$k_c = \frac{k_{вЯ}}{R_e + k_{вЯ} k_i k_{дсЯ}} = \frac{161,61}{1,033 + 161,61 * 0,097 * 0,015} = 127,553$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Передатна функція та параметри регулятора швидкості

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

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

$$T_{\text{рш}} = AT_c / B = 1,54 * 0,01 / 0,44 = 0,035, \text{ с,}$$

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 В\*с.

Роль пропорційно інтегрального регулятора на рис. 3.5.3 струму виконує суматор на підсилювачі А8 з одиничним коефіцієнтом передачі. Опорами його зворотного зв'язку та вхідним можна задатися, наприклад:

$$R_{30} = R_{31} = 47 \text{ кОм, } C_2 = 2 \text{ мкФ.}$$

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

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

$$R_{19} = R_{31} / k_e .$$

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

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

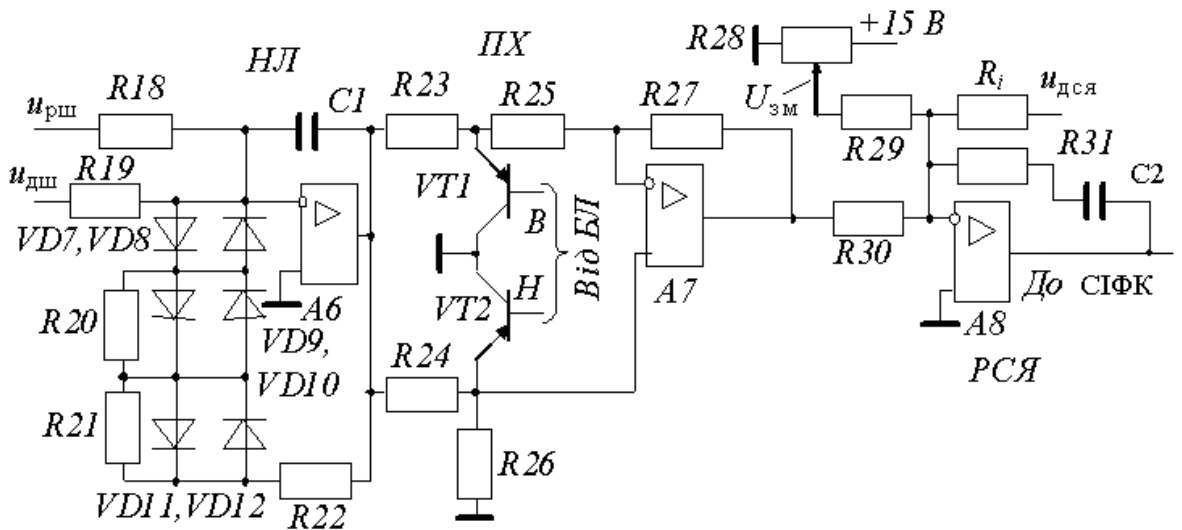


Рис. 3.5.3. Нелінійна ланка, перемикач характеристик та регулятор струму якоря

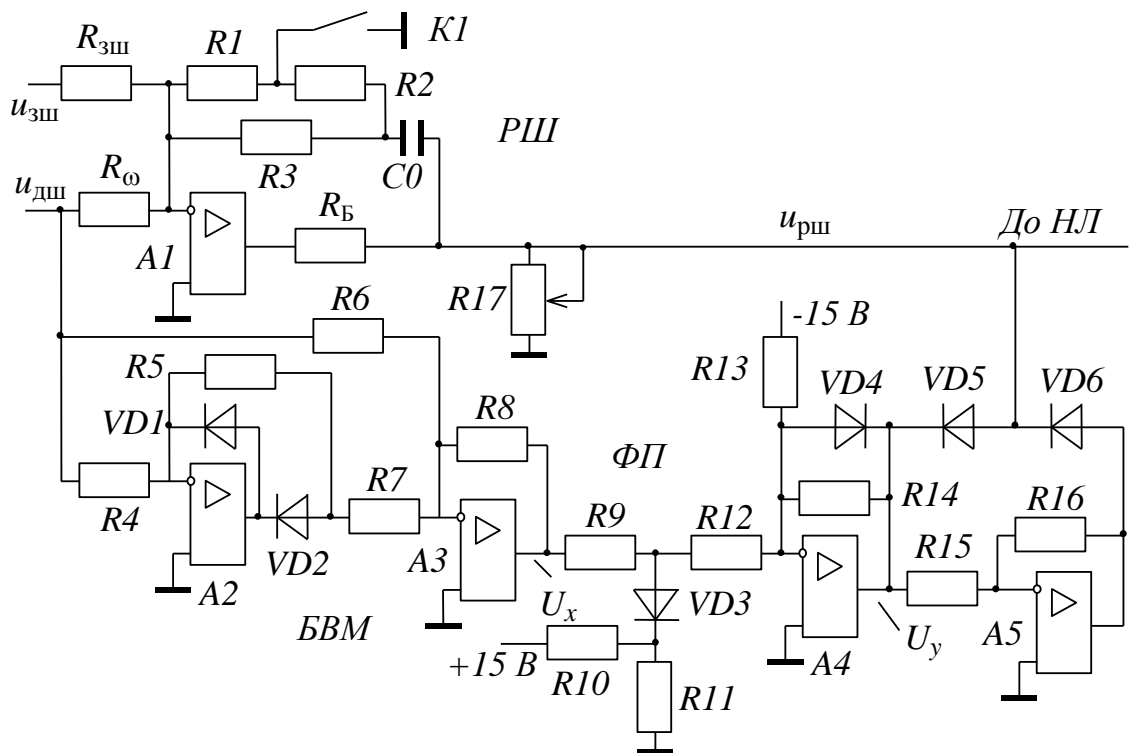


Рис. 3.5.4. Регулятор швидкості та вузол залежного струмообмеження

Крім того, у принциповій схемі РШ (рис. 3.5.4) відсутнє перемикання інтенсивності зворотного зв'язку і резистори R1 та R2, ТОМУ



Задаємо  $R_{зш} = 30000 \text{ Ом}$ , тоді

$$C_0 = T_{рш} / R_{зш} = 0,035 / 30000 = 1,167 * 10^{-6}, \text{ ф.}$$

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

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

Оскільки форми кривих допустимого моменту перевантаження двигуна у другій зоні та ВМД подібні, методика розрахунку вузлів залежного струмообмеження для двозонного електроприводу та для однозонного аналогічні.

Для синтезу параметрів вузла залежного струмообмеження за методикою довідника [7]. Комутаційну криву двигуна апроксимує статична характеристика функціонального перетворювача (ФП), який входить до складу вузла залежного струмообмеження (рис. 3.5.4). Як видно зі схеми, напруги зміщення у ФП дорівнюють  $U_{зм} = \pm 15 \text{ В}$ . Опором  $R_{14}$  задаємо. Вхідні та вихідні напруги ФП для опорних точок  $D$ ,  $F$  розраховують за виразами:

$$\text{Задаємо } R_{14} = 45000 \text{ Ом}$$

$$U_x = \omega_d k_{дш} k_{БВМ};$$

$$U_y = \frac{k_{дся} M}{k\Phi}.$$

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

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

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для двозонного приводу КБВМ = 1

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

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

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

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

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

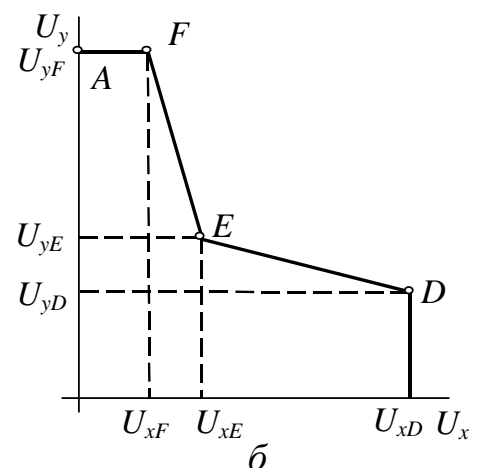
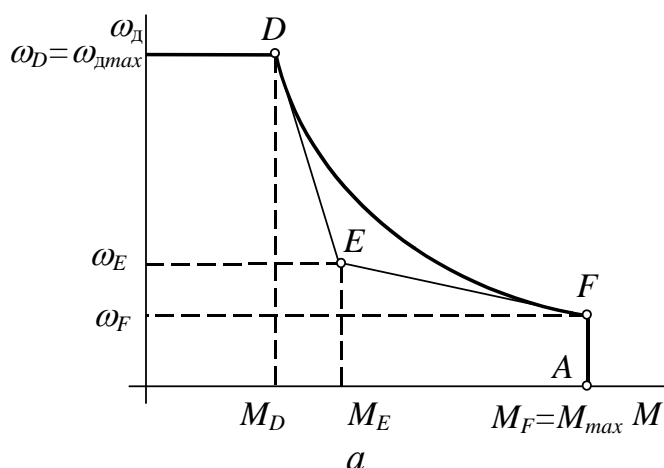
$$M_D = 2M_{\text{н}} \omega_{\text{дн}} / \omega_{\text{дmax}} = 2 \cdot 70,028 / 392,699 = 56,023 \text{ Нм}$$

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

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

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

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



										Арк.
										42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ					

Рис.3.4.5. До розрахунку вузла залежного струмообмеження

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

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

Т.я. для двозонного приводу комутаційна крива обмежуюча момент двигуна в пускогальмувальних режимах лежить біля перетину ліній:

1 - обмежуючої  $M$  по умовам розмагнічування полюсів полем реакції якоря

2 - обмежуючої швидкості двигуна за умовами механічної міцності якоря і електричної міцності ізоляції.

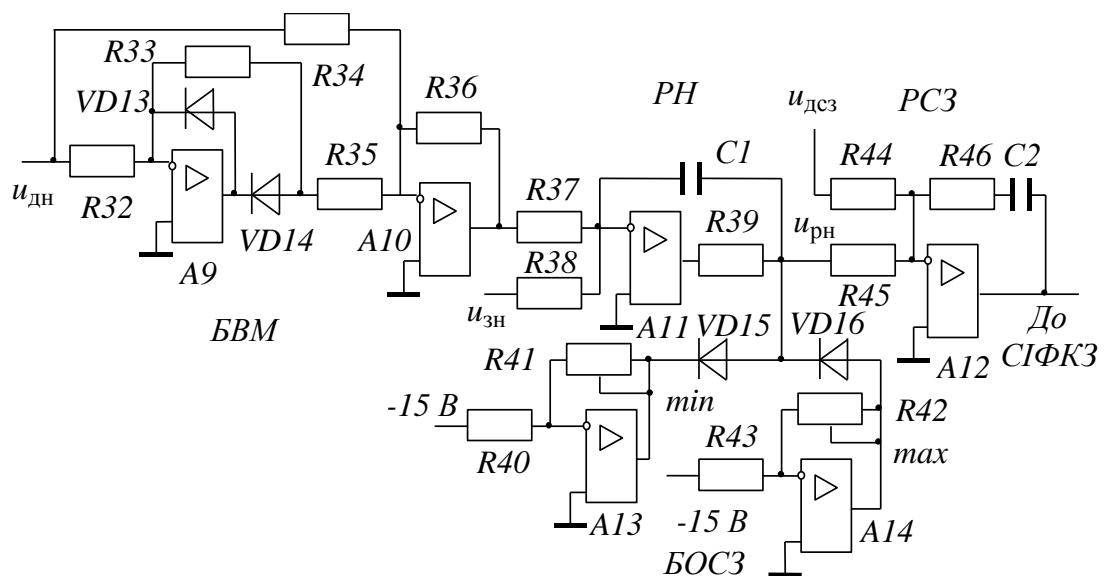


Рис. 3.5.6. Принципова схема регуляторів напруги та струму збудження

то можна обмежитися і вважати комутаційну криву прямою між точками F та D, а не гіперболічною кривою якою вона є насправді.

Тому опори R9, R12 об'єднуються в один R912 = R14, а опори R11, R10, R13 та напруга зміщення  $U_{зм}$  будуть відсутні.

Обмеження струму за малих швидкостей здійснюється шляхом насичення підсилювача РШ А1 за допомогою подільника R17. Вихідний сигнал РШ при цьому

$$u_{рш} = U_{yF} = \frac{U_{нас} R17}{R_B + R17}.$$

Прийнявши опір баластного резистора  $R_B = 2,7$  кОм, знайдемо опір змінного резистора

$$R17 \geq \frac{U_{yF} R_B}{U_{нас} - U_{yF}} = \frac{0,75 * 2700}{8 - 0,75} = 279,31 \text{ Ом.}$$

Передатна функція регулятора струму збудження має вигляд

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

параметри якої вибираються, як

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

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

де  $L_3$ ,  $R_3$  – індуктивність (Гн) та активний опір (Ом) обмотки збудження, береться з таблиці 3.1;

$k_{вз}$  – коефіцієнт передачі тиристорного збудника (розраховується за формулою (3.5.1.) з урахуванням рівня напруги живлення збудника та його схеми випрямлення);

$\omega_p$  – резонансна частота замкненого контуру струму збудження, с<sup>-1</sup>.

1.  
;

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

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

Тоді стала часу та коефіцієнт передачі замкненого контуру струму збудження будуть

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

$$k_{сз} = 1/k_{дсз} = 1/0,674 = 1,484 .$$

Стала часу інтегрального регулятора напруги

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

де  $a_n$  – коефіцієнт настроювання контуру напруги;

$$k_3 = \Delta E / \Delta I_3 = k \Phi_n \omega_{дmax} / I_{зн} = 2,801 * 392,699 / 4,453 = 247 -$$

коефіцієнт передачі каналу збудження за максимальної швидкості ;

$$k \Phi_n = M_n / I_{ян} = 70,028 / 196,158 = 2,801 .$$

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

$$a_n = \delta \tau_n / D_\Phi = 0,1 * 0,412 / 2,5 = 0,016$$

де  $\delta$  – допустиме відносне перерегулювання за ЕРС (звичайно 0,1);

$$\tau_n = \frac{J \omega_n}{M_n T_3} = \frac{0,072 * 157,08}{70,28 * 0,393} = 0,412 - \text{відносна тривалість розгону до}$$

номінальної швидкості;

$$D_\Phi = \omega_{дmax} / \omega_{дн} = 392,699 / 157,08 = 2,5 - \text{діапазон регулювання}$$

швидкості зміною потоку.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Якщо задатися напругою  $u_{зн} = k_{дн} U_{ян} = 10$  В та опорами у каналах завдання  $R38 = R45 = 20000$  Ом, то номінали інших елементів регуляторів будуть

$$R37 = R38 \frac{U_{днм}}{u_{зн}} = R38 = 20000 \text{ Ом};$$

$$C1 = T_{рн} / R38 = 2,493 \cdot 10^{-3} / 20000 = 1,246 \cdot 10^{-7} \text{ Ф};$$

$$R44 = R45 \frac{U_{дсз\max}}{U_{рн\max}} = R45 \frac{U_{дсз\max}}{U_{нас}} = R45 \frac{3}{8} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R46 = K_{рсз} * R45 = 11,574 * 20000 = 2,315 \cdot 10^5 \text{ Ом};$$

$$C2 = T_{рсз} / R46 = 0,393 / 2,315 \cdot 10^5 = 1,696 \cdot 10^{-6} \text{ Ф},$$

де  $U_{дн\max} = 10$  В,  $U_{дсз\max} = 3$  В,  $U_{рн\max} = U_{нас} = 8$  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

$$I_{зн} = U_{зн} / R_з;$$

$$I_{з\min} = I_{зн} n_{дн} / n_{дн\max} = 4,45 * 1500 / 3750 = 1,781 \text{ А}$$

$$U_{рн\max} = k_{дсз} I_{зн} = 0,674 * 4,45 = 3 \text{ В}$$

$$U_{рн\min} = k_{дсз} I_{з\min} = 0,674 * 1,781 = 1,2 \text{ В}$$

Задавшись вхідними опорами інверторів А13 та А14 (рис. 3.5.6.), визначають опори в каналах їх зворотних зв'язків.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

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

$$R_{41} = U_{\text{pнmin}} R_{40} / 15 = 1,2 * 100000 / 15 = 8000 \text{ Ом}$$

$$R_{42} = U_{\text{pнmax}} R_{43} / 15 = 3 * 100000 / 15 = 20000 \text{ Ом.}$$

#### 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДІНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

##### 4.1 Мета досліджень

Змоделювати двохзоний електропривод головного руху токарного верстата 2А628Ф4 для впевнення про вірну роботу привода у динамічних режимах.

##### 4.2 Програмний засіб моделювання

Система моделювалась у програмі MATLAB 6 пакеті Simulink. На основі структурної схеми досліджуємого електропривода будується модель у вікні пакета Simulink з блоків які беруться з бібліотеки Simulink. У блоки моделі підставляються передатні функції блоків електропривода які задають як повинен змінитись вхідний сигнал при проходженні через блок. Розрахунки параметрів передатніх функцій наведені нижче.

Для зручності аналізу результатів моделювання виконаємо нормування досліджуємої структурної схеми. Приймаємо за базові наступні величини:

$$I_b = I_{an}$$

$$U_b = E_{b\_pa} = E_{b\_pz} = E_{b\_dv} = U_{an}$$

$$\omega_b = \omega_0 = U_{an} / k * F_n$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47

$$U_{b\_dsa} = U_{b\_rsh} = I_{an} * k_s$$

$$U_{b\_rsa} = U_{b\_E} = U_{an} / K_{pa}$$

$$U_{b\_dsh} = k_{sh} * \omega_0 = k_{sh} * U_{an} / (k * F_n)$$

$$F_b = F_n$$

$$M_b = M_n = I_{an} * F_n * k = I_b * F_b * k$$

$$U_{b\_zE} = k_n * U_b$$

$$U_{b\_zsh} = U_{b\_dsh} = U_{b\_rsh} = k_{sh} * \omega_0$$

$$U_{b\_pz} = U_{b\_zoz} = U_{zn}$$

$$U_{b\_rE} = U_{b\_dsz} = U_{b\_zrsz} = k_{sz} * I_{zn}$$

$$U_{b\_rsz} = U_{zn} / K_{pz}$$

$$I_{b\_z} = U_{b\_oz} = I_{zn}$$

Передатня функція тиристорного перетворювача у відносних одиницях

$$W_{v\_pa}(p) = K_{pa} / (T_{\mu} * p + 1) = K_{pa} / (T_{\mu} * p + 1) * U_{an} / (U_{an} * K_{pa}) = \frac{1}{T_{\mu} * p + 1}$$

Передатня функція якірного кола

$$W_{v\_a}(p) = \frac{1/R_a}{T_a * p + 1} * \frac{U_{an}}{I_{an}} = \frac{R_n}{T_a * p + 1} * \frac{1}{R_a} = \frac{1/\rho_e}{T_a * p + 1}$$

Передатня функція регулятора струму якоря

$$W_{v\_rsa}(p) = \frac{R_a * (T_a * p + 1)}{2 * T_{\mu} * K_{pa} * k_{sh} * p} * \frac{I_{an} * k_{sh} * K_{pa}}{U_{an}} = \frac{\rho_e * (T_a * p + 1)}{2 * T_{\mu} * p}$$

Передатня функція механічної частини приводу

$$W_{v\_m}(p) = \frac{1}{J} * \frac{M_b}{\omega_b} = \frac{1}{J} * \frac{k * F_n * I_{an} * k * F_n}{U_{an}} * \frac{R_a}{R_a} = \frac{\rho_e}{T_m * p}$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



### Передатня функція конструктивного коефіцієнта

$$Wv\_k = k * \frac{Ian}{Man} * F = \frac{k * Ian * F}{k * Fn * Ian} = 1.$$

### Передатня функція задатчика інтенсивності

$$Wv\_zi(p) = Wzi(p) * \frac{Uzsh\_b}{Uzi\_b} = \frac{Kzi}{p} * \frac{Uzsh\_b}{Uzi\_b} = \frac{Idv * kFn * ksh}{J * \omega * p}.$$

### Передатня функція давача швидкості

$$Wv\_sh = ksh * \omega b / Ub\_sh = ksh * \omega 0 / ksh * \omega 0 = 1.$$

### Передатня функція давача струму

$$Wv\_s = ks * Ib / Ub\_s = ks * Ian / ks * Ian = 1.$$

### Передатня функція регулятора швидкості

$$Wv\_rsh(p) = Wv\_rsh(p) * \frac{Ub\_zsh}{Ub\_rsh} = \frac{(1 + 8 * T\mu * p) * J * ks}{32 * T\mu^2 * ksh * k * F * p} * \frac{ksh * Uan}{Ian * ks * k * Fn * p} * \frac{Ra * Fn}{Ra * Fn} = \frac{(1 + 8 * T\mu * p) * Tm}{32 * T\mu^2 * Fv * \rho e * p}$$

### Напруга перемикання у блоці лінеаризації регулятора ЕРС

$$Ul\_vx = Ul\_vux = Ushn / Ub\_sh = \frac{\omega n * ksh}{\omega b * ksh} = \omega v\_n.$$

### Передатня функція давача ЕРС

$$Wv\_de(p) = \frac{kn}{Tя * p + 1} * \frac{Uan}{kn * Uan} = \frac{1}{Tя * p + 1}.$$

### Канал збудження

### Передатня функція тиристорного перетворювача у відносних одиницях

$$Wv\_pz(p) = \frac{Kpz}{T\mu * p + 1} * \frac{Uz}{Uz * Kpz} = \frac{1}{T\mu * p + 1}.$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### Передатня функція обмотки збудження

$$Wv_{-oz}(p) = \frac{Tvs * p + 1}{Rz[(Tz + Tvs) * p + 1]} * \frac{Uz}{Izn} = \frac{Tvs * p + 1}{(Tz + Tvs) * p + 1}$$

$$Wv_{-f}(p) = \frac{K\varphi}{Tvs * p + 1} * \frac{Izn}{Fn} = \frac{1}{Tvs * p + 1}$$

### Передатня функція регулятора струму збудження

$$Wv_{-rsz}(p) = \frac{Rz * ((Tz + Tvs) * p + 1)}{2 * T\mu * Kpz * ksz * p} * \frac{Kpz}{Uz} * Ksz * Izn = \frac{(Tz + Tvs) * p + 1}{2 * T\mu * p}$$

### Передатня функція регулятора ЕРС

$$\begin{aligned} Wv_{-re}(p) &= \frac{ksz}{2 * (2 * T\mu + Ta) * k * K\varphi * Kn * \omega n * p} * \frac{Ub_{-ze}}{Ub_{-re}} = \\ &= \frac{ksz}{2 * (2 * T\mu + Ta) * k * K\varphi * Kn * \omega n * p} * \frac{Kn * Uan}{Izn * ksz} = \\ &= \frac{ksz}{2 * (2 * T\mu + Ta) * k * K\varphi * Kn * \omega n * p} * \frac{K\varphi * k * Fn * \omega}{K\varphi * Fn} = \frac{1}{2 * T\mu * \omega n * p} \end{aligned}$$

Підставимо чисельні значення параметрів передатніх функцій і занесемо їх до моделі;

Пуск здійснюється без навантаження (після розгону до потрібної швидкості прикладується навантаження)

Канал регулювання швидкості:

$$\omega n = \frac{\pi * n}{30} = \frac{\pi * 1500}{30} = 157,079 \text{ 1/c}$$

$$\omega_{\max} = \frac{\pi * n}{30} = \frac{\pi * 3750}{30} = 392,69 \text{ 1/c}$$

$$Ta = \frac{La}{Ra} = \frac{0,0125}{0,749} = 0,167 \text{ c}$$

$$Kpa = \frac{Uan}{Uk} = \frac{440}{10} = 44$$

$$ks = \frac{Uk}{\lambda * Ian} = \frac{10}{3 * 29} = 0,12$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$k_{sh} = \frac{U_k}{\omega_{\max}} = \frac{10}{392,69} = 0,025$$

$K_{zi} = 2,7$  для динамічного струму рівного номінальному.

Канал регулювання збудження:

$$T_z = \frac{L_z}{R_z} = \frac{19,4}{49,4} = 0,3927 \text{ с}$$

$$T_{vs} = 0,07 * T_z = 0,07 * 0,3927 = 0,02749 \text{ с}$$

$$K_{pz} = \frac{U_{zn}}{U_k} = \frac{220}{10} = 22$$

На збудовану модель подаються необхідні керуючі сигнали для відтворення досліджуємих режимів електропривода. Програма MATLAB 6 виконує розрахунки для відображення реакції моделі на керуючі сигнали. За допомогою блоку Scope можливо візуально спостерігати процеси які відбуваються у електроприводі.

#### 4.3 Режими роботи електропривода які досліджувались

Досліджуємий електропривод є приводом шпинделя токарного верстата.

Для шпинделя характерні режими обертання на різних швидкостях під навантаженням і без нього. На рисунках наведені: розгін до максимальної швидкості без навантаження, накид навантаження на максимальній швидкості, гальмування з максимальної до номінальної швидкості під навантаженням, зупинка шпинделя без навантаження.

#### 4.4 Результати досліджень

Відомо, що при двозонному приводі регулювання швидкості до номінальної здійснюється за рахунок зміни напруги на якорі при

						ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
							51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

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 досліджуємих режимах. Нижче розберемо детально кожний з режимів.

- Розгін до максимальної швидкості без навантаження від задатчика інтенсивності;

Пуск здійснюється від задатчика інтенсивності з постійним темпом нарощування швидкості(прискоренням) величина якого визначається динамічним моментом  $M_{дин} = I_{я\_макс} * \Phi - M_c$  і параметрами електропривода, що у суммі складає коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності. Щоб прискорення було постійним момент двигуна ( $M_{дв} = M_{дин} + M_c$ ) 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  $I_{я} = M_{дин} / \Phi_{мін}$ , при цьому темп розгона привода залишається теж постійним ), порпорційно зменшенню  $\Phi$  зростає швидкість це видно з рисунків, а також з рівняння  $\omega = E / k * \Phi$ . При досягненні заданої швидкості розгін закінчується і струм якоря стає рівним  $I_{я} = M_c / \Phi_{мін}$ .

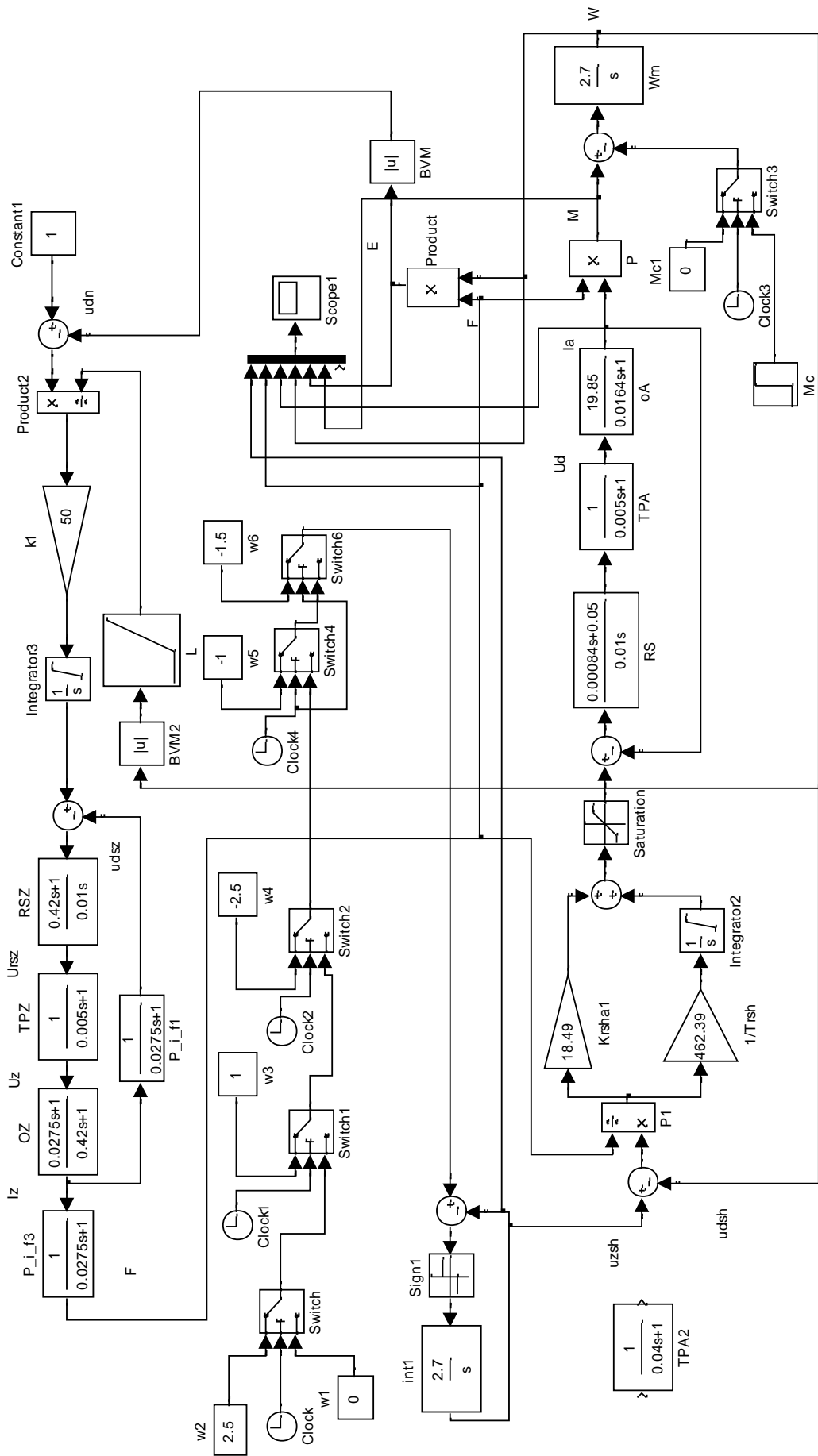
Якщо на вході було ступінчате завдання, струм якоря дорівнював максимальному, а прискорення привода було постійним (т.я. постійний динамічний момент  $M_{дин} = I_{я\_макс} * \Phi - M_c$ ) до досягнення номінальної швидкості. Вище номінальної швидкості динамічний момент падає за рахунок зменшення потоку і прискорення привода зменшується. При

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

досягненні заданої швидкості розгін закінчується і струм якоря стає рівним  $I_a = M_s / \Phi_{\text{мін}}$ .

Процеси у інших режимах підкоряються правилам описаним вище тому розглядати детально їх немає смислу.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

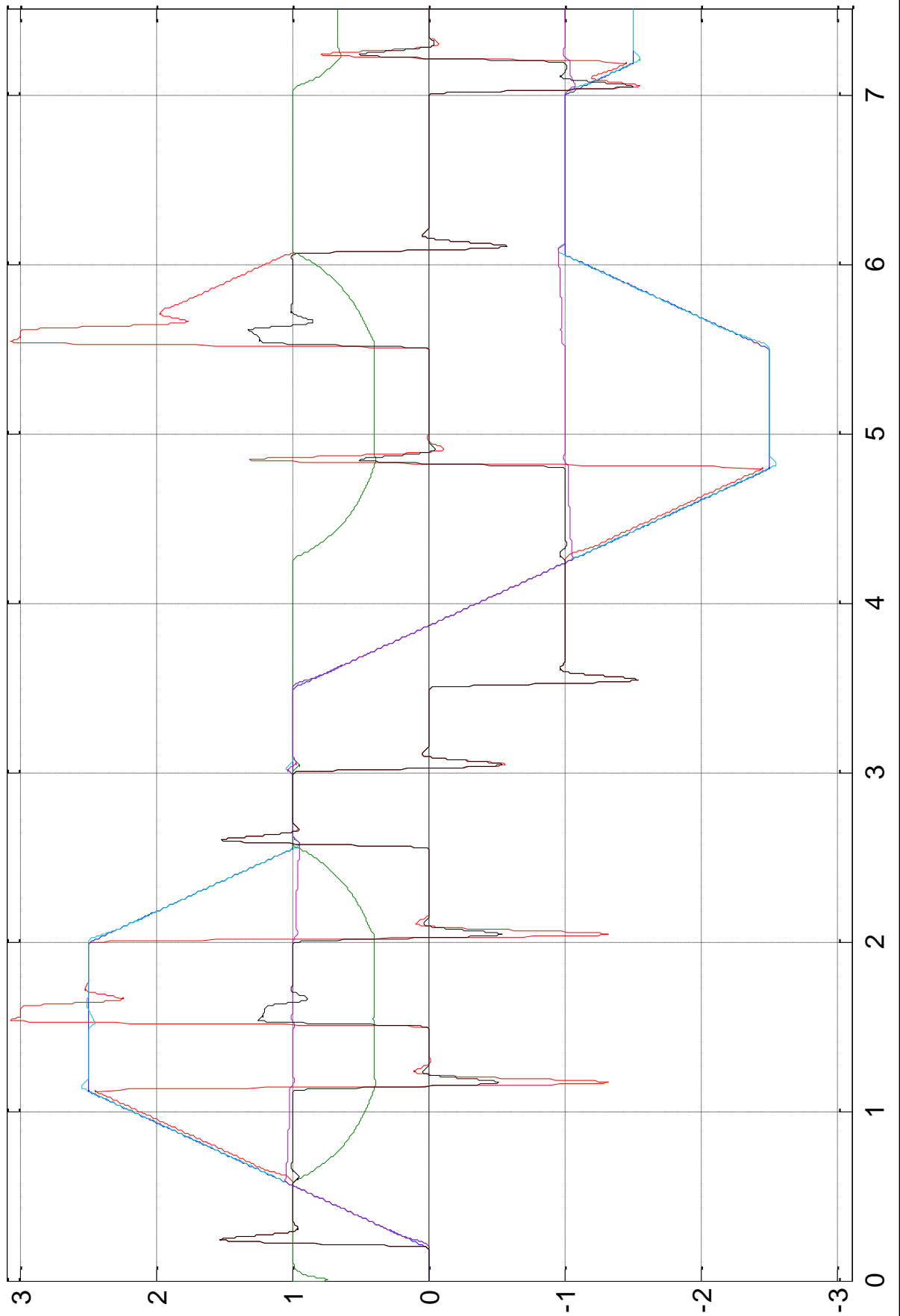


Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ

Арк.

54



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ

Арк.

55

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів у робочій зоні верстата з ЧПУ

Оператори верстатів, електромонтери, слюсарі, які обслуговують дане обладнання та інші працівники в робочій зоні верстата з ЧПУ стикаються з впливом таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих факторів як:

- підвищений рівень шуму
- підвищена температура зовнішнього середовища
- відсутність або нестача природного світла
- недостатня освітленість робочої зони
- статична електрика

Основні джерела теплоти в приміщеннях ділянки верстатів з ЧПУ :

- мікропроцесорна техніка;
- електродвигуни привода і додадкове обладнання;
- прилади освітлення.

Для робочої зони верстата з ЧПУ характерна наявність всіх видів шумів. Фактичне звуковий тиск 70 дБ

Вібрація, що діє на персонал, відноситься до категорії III. Вібрація надає на організм людини такі дії: порушення центральної нервової системи, захворювання судин і суглобів, головного болю, запаморочення. Вібрація в приміщенні станка ЧПУ не повинна перевищувати по частоті 25 Гц, і по амплітуді 0.1 мм.

Приміщення верстата з ЧПУ відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» відноситься до приміщення з

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56



особливою небезпекою, так як є пил, вологість і можливість одночасного дотику людини до яких з'єднання з землею металевих конструкцій технологічного обладнання з одного боку і до проводів електроустановок або струмоведучих частин, з іншого. Виходячи з вимог ПУЕ наявність пилу в приміщеннях ділянки верстатів з ЧПУ не повинно перевищувати - 2 мг / м<sup>3</sup>.

Норма освітленості робочої поверхні IV розряду середньої точності

### **Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

На токарному верстаті існують інженерно технічні пристрої які забезпечують безпечну роботу:

- Ремена передача приводу головного руху закрита кожухами, охороняючих від травмування при роботі головного привода.
- У жовтий колір окрашена зовнішні торці протектора каретки і супорта, наружні торцеві поверхні шківів передач та внутрішня поверхня кришки шпindelної бабки.
- Зона обробки має рухоме огородження з листової сталі, маюче смотрове вікно з прозорого матеріалу з решіткою. Верстат оснащено блокуванням, дозволяю чого вмикання обертання шпindelя тільки при зачиненому положенні рухомого огородження
- Час гальмування шпindelя після його вимикання при усіх частотах обертання не перевищує 5 с.
- Ручка перемикання діапазонів шпindelної бабки і інші органи керування верстата оснащені фіксаторами, не допускаючи самостійних переміщень органів керування.
- На електрошафі встановлений знак напруги.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- На верстаті є кнопка „Стоп” встановлена на панелі каретки верстата.

- Шафи електрообладнання мають виконання по ступені захисту 1P54 по ГОСТ 14254 – 80.

- На верстаті міститься перемикач „Стоп подачі” і „Стоп шпинделя” даючий можливість оператору при необхідності послідовно зупинити подачу і обертання шпинделя без вимикання верстата.

- Двері електрошафи верстата замикаються спеціальними замками.

Цех де знаходиться верстат відноситься к приміщенням без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Електрообладнання верстата живиться від трьох фазної мережи змінного струму з напругою 380В і частотою струму 50 Гц.

На підприємстві застосована трьох проводна мережа з ізольованою нейтраллю, тому у якості захисту від ураження персоналу електричнимм струмом при замиканні фази на корпус використовують заземлення.

### 5.1. Розрахунок штучного освітлення.

Мета розрахунку: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розмістити їх на плані приміщення.

Вихідні данні:

- розмір приміщення  $a=60$  м,  $b=36$  м,  $h=10$  м
- характеристика зорової роботи – середня точність
- розмір об'єкта 0,5 - 1 мм
- контраст об'єкта з фоном середній

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- фон середній

Розрахунок штучного освітлення виконується методом коефіцієнта використання.

При розрахунках освітлення цим методом допускається відхилення розрахункової освітленості від нормованої не більше за  $-10...+20\%$ .

Розрахунок освітленості виконується за формулою:

$$\Phi = \frac{E * S * k * z}{N * \eta},$$

де  $\Phi$ - потрібний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;

$E$ - нормована мінімальна освітленість, лк; ( $E=400$  лк, вибирається в залежності від характеру зорової роботи);

$k$ - коефіцієнт запасу;  $k=1,5$ ;

$S$ - освітлюємо площа,  $m^2$ ;

$z$ - коефіцієнт мінімальної освітленості;  $z=1,15$  для ламп ДРИ.

$N$ - число світильників у приміщенні;

$\eta$ - коефіцієнт використання світлового потоку.

Вибираємо тип світильників РСПО 08/Г03.

Визначаємо розрахункову висоту підвісу, м:

$$h = H - h_{cv} - h_{rp}, \text{ где}$$

$H$ - висота приміщення, м;

$h_{cv}$ - висота свісу світильника (від перекриття), м;  $h_{cv}=1$  м;

$h_{rp}$ - висота робочої поверхні над підлогою, м;  $h_{rp}=0,8$  м.

$$h = 10 - 1 - 0,8 = 8,2 \text{ м}$$

Відстань між крайніми світильниками і стіною;

$$l = 0,3 * L = 0,3 * 8,2 = 2,46 \text{ м}$$

Відстань між рядами світильників, м

$$L = \lambda * h, \quad \lambda = 1$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$L = 1 * 8,2 = 8,2 \text{ м}$$

Кількість світильників у приміщенні

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{a * b}{L^2} = \frac{60 * 36}{8,2^2} = \frac{2160}{67,24} = 32,1;$$

Приймаємо  $N = 32$

$S=2160 \text{ м}^2$  - площа приміщення

Кількість рядів світильників:

$$n = \frac{b - 2 * l}{L} = \frac{36 - 4,92}{8,2} \approx 4$$

Кількість світильників у ряді:

$$np = \frac{N}{n} = \frac{32}{4} = 8$$

Відстань між світильниками у ряді:

$$lp = \frac{a}{np} = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ м}$$

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знаходимо індекс приміщення:

$$i = \frac{a * b}{h * (a + b)}$$

$$i = \frac{60 * 36}{8,2 * (60 + 36)} = 2,74$$

Коефіцієнти віддзеркалення поверхнь приміщення:

- стелі -  $\rho_{\text{п}}=70\%$ ,
- стін -  $\rho_{\text{с}}=50\%$ ,
- робочої поверхні -  $\rho_{\text{р}}=10\%$ .

По отриманим значенням  $i$  і  $\rho$  визначаємо величину коефіцієнта використання:  $\eta=77\%$ .

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\Phi = \frac{400 * 2160 * 1,5 * 1,15}{32 * 0,77} = 60487 \text{ лм}$$

Вибираємо лампи типу ДРИ700, потужністю 700 Вт, напругою на лампі 220В, світловий потік після 100 годин горіння 59500 лм, строк слугування 3000 годин.

Відхилення розрахункової освітленості від нормованої визначається як:

$$\Delta = \frac{(60487 - 59500)}{60487} * 100 = 1,6\%$$

Це відхилення входить у припустимі межі.

## 5.2 Пожежна профілактика

Приміщення, в якому встановлений верстат з ЧПУ по вибуховий, вибухопожежної та пожежної небезпеки, відносяться до приміщень категорії «Д», так як в них знаходяться негорючі матеріали в холодному стані.

Будівля цеху, в якому встановлений верстат з ЧПУ має II ступінь вогнестійкості (цегла, розчин, бетон, металоконструкції, скло). Пожежна безпека об'єкта забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту і заходами організаційного характеру. При всіх умовах повинна бути забезпечена пожежна безпека об'єкта і безпеку людей.

Пожежа в приміщенні верстата з ЧПУ може виникнути в результаті:

- загоряння електрообладнання при перевантаженнях, перегрівах і коротких замикань;
- загоряння паливно-мастильних матеріалів при попаданні в них іскор електричного або механічного походження;

Для виключення і зниження можливості пожежі передбачаються наступні заходи:

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- електрообладнання забезпечено тепловими реле, плавкими запобіжниками, автоматами струмового захисту, розмикаючими ланцюг у разі їх спрацьовування;

- на гідравлічній станції і розводці не допускаються виток масла, шляхом своєчасного їх усунення;

- промаслене ганчір'я збирається в спеціальних металевих ящиках з відкидною кришкою.

Згідно «норм первинних засобів пожежогасіння для підприємств і організацій системи міністерства металургії» на ділянці верстатів з ЧПУ передбачені первинні засоби пожежогасіння.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 6. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Об'єктом проектування є заміна електроприводу верстата 2А628Ф4 на більш економічний.

При розрахунку витрат на впровадження даного електроприводу розглядаємо такі питання:

- 1) розрахунок капітальних витрат на придбання і монтаж електротехнічного обладнання;
- 2) розрахунок річних експлуатаційних витрат на утримання і обслуговування об'єкта проектування;

### 6.1 Розрахунок капітальних витрат

Проектні капіталовкладення в обладнання та монтаж-налагоджувальні роботи взяті на основі цін прејскуранта на електрообладнання підприємства «Днепротяжбуммаш».

Капітальні витрати ( $K_{пр}$ ) на здійснення проектного варіанту складають:

$$K_{пр} = K_{об} \left( \sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_d + Z_{др}, \quad (6.1)$$

де

$K_{об} (C_i)$  - вартість придбання обладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів і-го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$  - транспортно-заготівельні і складські витрати;

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Зм - витрати на монтажні роботи;

Зн - витрати на налагоджувальні роботи;

Зд - витрати на демонтажні роботи;

Здр - інші одноразові вкладення коштів.

Таблиця 6.1 Зведення капітальних витрат

№	Обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сумма, грн.
1.	Електропривод: ELL4040	1	42980	42980
2.	Двигун: 2ПФ160ЛГ	1	44192	44192
ВСЬОГО				87172

Транспортні витрати включені у вартість електрообладнання.

Монтажні, налагоджувальні, і демонтажні роботи здійснюються на підприємстві штатними електромеханіками і розраховуються наступним чином:

Монтажні роботи:

$$Z_m = \sum (C \cdot t \cdot a_4) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (6.2)$$

де

C = 2 - кількість робочих, задіяних в монтажі, чол. ;

t = 12 - час на здійснення монтажу, год. ;

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		64



$a_4 = 40,5$  - годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду, грн / год;

$K_c = 1,22$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_b = 1,1$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др} = 1,05$  - коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$З_m = 2 \cdot 12 \cdot 40,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 1370 \text{ грн.}$$

Налагоджувальні роботи:

$$З_n = \sum (Ч \cdot t \cdot a_6) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (6.3)$$

де

$Ч = 2$  - кількість робочих, задіяних в налагодженні, чол .;

$t = 4$  - час на здійснення настройки, год .;

$a_6 = 43,2$  - годинна тарифна ставка наладчика 6-го розряду, грн / год;

$K_c = 1,22$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_b = 1,1$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др} = 1,05$  - коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$З_n = 2 \cdot 4 \cdot 43,2 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 487 \text{ грн.}$$

Демонтажні роботи:

$$З_d = \sum (Ч \cdot t \cdot a_3) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{др}, \quad (6.4)$$

де

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$Ч = 2$  - кількість робочих, задіяних в налагодженні, чол .;

$t = 3$  - час на здійснення демонтажу, год .;

$a_3 = 36,25$  - годинна тарифна ставка наладчика 3-го розряду, грн / год;

$K_c = 1,22$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на єдиний соціальний внесок;

$K_b = 1,1$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{др} = 1,05$  - коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

$$Зд = 2 \cdot 3 \cdot 36,25 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 306 \text{ грн.}$$

Таким чином, капітальні витрати складуть:

$$K_{пр} = K_{об} + Зм + Зн + Зд;$$

$$K_{пр} = 87172 + 1370 + 487 + 306 = 89335 \text{ грн.}$$

## 6.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати це витрати на утримання і обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік).

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_з$ );
- відрахування на єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання і мереж ( $C_t$ );
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування ( $C_e$ );

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- інші експлуатаційні витрати (Сдр).

Повна вартість річних експлуатаційних витрат складає:  $C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{dr}$ , грн. (6.5)

Так як в процесі впровадження проектного варіанту не планується змінювати чисельність обслуговуючого персоналу, то розрахунки річного фонду заробітної плати і відрахувань на соціальні заходи не проводяться, інші експлуатаційні витрати не передбачаються.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_t + C_e, \text{ грн.} \quad (6.6)$$

### 6.2.1 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат.

$$C_a = K_{гр} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (6.7)$$

де  $H_a$ - норма амортизації для змінного обладнання (група 4 основних засобів в Податковому Кодексі України станом на 01.01.2012) мінімальний термін використання 5 років.

Для розрахунку норм амортизації використовуємо прямолінійний метод. Норма амортизації для проектного варіанта становить:

$$H_a = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\% \quad (6.8)$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		67

Річні відрахування на амортизацію становлять:

$$Ca = 89335 \cdot 0,2 = 17867, \text{ грн.}$$

### 6.2.2 Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робочим, і можуть визначатися за фактичними даними підприємства. Дані наведені станом на 01.01.2017. У таблиці 5.4 наведені річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, які розраховуються за формулою:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi} \right), \text{ грн} \quad (6.9)$$

де

$n$  - число приладів, які підлягають ремонту, шт;

$R_i$  - годинна тарифна ставка робітників, які виробляють ремонт, грн / год;

$t_i$  - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності від виду ремонту, год / од;

$m$  - число ремонтів в рік;

$R_{\Sigma}$  - сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання;

$S_i$  - вартість однотипних змінюваних елементів, грн;

$\Pi_i$  - кількість однотипних змінюваних елементів, шт;

$T_i$  - середній термін служби деталей даного типу, час;

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тф - кількість годин роботи електрообладнання на рік, годину.

Таблиця 6.4 Витрати на технічний ремонт

	Ед. виміру	Кількість
<b>n</b>	шт.	1
<b>Ri</b>	грн/час	40,5
<b>ti</b>	час/ед	7
<b>m</b>		2
<b>R<sub>Σ</sub></b>		3
<b>S1</b>	грн.	54
<b>П1</b>	шт.	4
<b>Т1</b>	час.	1000
<b>S2</b>	грн.	75
<b>П2</b>	шт.	2
<b>Т2</b>	час.	1000
<b>Тф</b>	час	2000
<b>Ст1</b>	грн	2133
<b>Ст2</b>	грн	2001
<b>Ст</b>	грн	4134

$$Ст1 = 40,5 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 3 + \frac{54 \cdot 4}{1000} \cdot 2000 = 2133 \text{ грн};$$

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		69

$$C_{т2} = 40,5 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 3 + \frac{75 \cdot 2}{1000} \cdot 2000 = 2001 \text{ грн};$$

Таким чином річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт рівні:

$$C_{т} = C_{т1} + C_{т2} = 2133 + 2001 = 4134 \text{ грн}$$

### 6.2.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

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

$$C_{э} = W_{г} \cdot Ц_{э}, \quad (6.10)$$

де

$W_{г}$  - кількість спожитої в рік електроенергії, кВт · год;

$Ц_{э} = 1,68$  - тариф на електроенергію, грн / кВт · год.

Для підприємств II класу тарифна ставка на електроенергію становить 1,68 грн / кВт · год з НДС (Відповідно до Постанови НКРЕ від 24.05.16 №524 Єдині роздрібні тарифи). НДС=20%.

Споживана електроенергія визначається за формулою:

$$W_{г} = \frac{\sum P \cdot K_{з} \cdot K_{о} \cdot T}{\eta \cdot \cos \varphi}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (6.11)$$

де

$\sum P$  - потужність електрообладнання, кВт;

$K_{з} = 0,65$  - коефіцієнт завантаження обладнання;

$K_{о} = 0,65$  - коефіцієнт одночасної роботи;

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$T = 8 \text{ Часов} \cdot 26 \text{ дней} \cdot 12 \text{ місяців} = 2496 \text{ год}$ , - номінальний фонд робочого часу;

$\eta = 0,96$  - коефіцієнт корисної дії мережі;

$\cos\phi = 0,92$  - коефіцієнт, що враховує ефективність використання потужності.

$$W_r = (11000 \cdot 0,65 \cdot 0,65 \cdot 2496) / (0,96 \cdot 0,92) = 13134,29 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Річні витрати на електроенергію складають:

$$C_{\text{э}} = 13134,29 \cdot 1,68 \cdot 1,2 = 26478,7 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_t + C_{\text{э}}$$

$$C = 17867 + 4134 + 26478 = 48479 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.5 Річні експлуатаційні витрати

п/п	Найменування статей витрат	Сума витрат, грн.
1	Амортизаційні відрахування	17867
2	Витрати на техобслуговування	4134
3	Вартість споживаної енергії	26478
4	Всього	48479

Таблиця 6.6 Капітальні і експлуатаційні витрати

Вид витрат	Вартість, грн
Капітальні витрати	89335
Експлуатаційні витрати	44066

Висновок: Капітальні затрати на модернізацію складають 89335 грн. а експлуатаційні затрати складають 44066 грн.

					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 7. ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті була розроблена послідовність модернізації токарного верстата, яких у даний час багато на підприємствах, тому можна говорити про актуальність подібних дипломних проектів.

При модернізації верстата були вирішені такі завдання

- Заміна старого двигуна приводу головного руху іншим ККД якого вище, що дало можливість економити кошти на споживанні електроенергії
- Змінена система керування електроприводу, що підвищило надійність роботи верстата та значно знизило кількість годин поростою пов'язаних з ремонтом.
- Зменшенні габарити системи керування завдяки використанню більш сучасної елементної бази. Використане однокомплектне СІФК. Тиристорні перетворювачі повністю керовані та побудовані на оптотиристорах.
- Модернізація блоку ПЗП на основі програмованої схеми, що підвищило надійність, зменшило розміри і збільшило простоту блоку.
- Використані більш сучасні датчики регулюємих величин токарного верстата.

З вищевикладеного можна говорити про відповідність дипломного проекту поставленим вимогам у завданні на дипломне проектування.

У розділі „Техніко – економічне обґрунтування” були підтверджені розрахунками економічна доцільність проекту, для підприємств на яких є старе обладнання (верстати, обробляючі центри і т.п.).

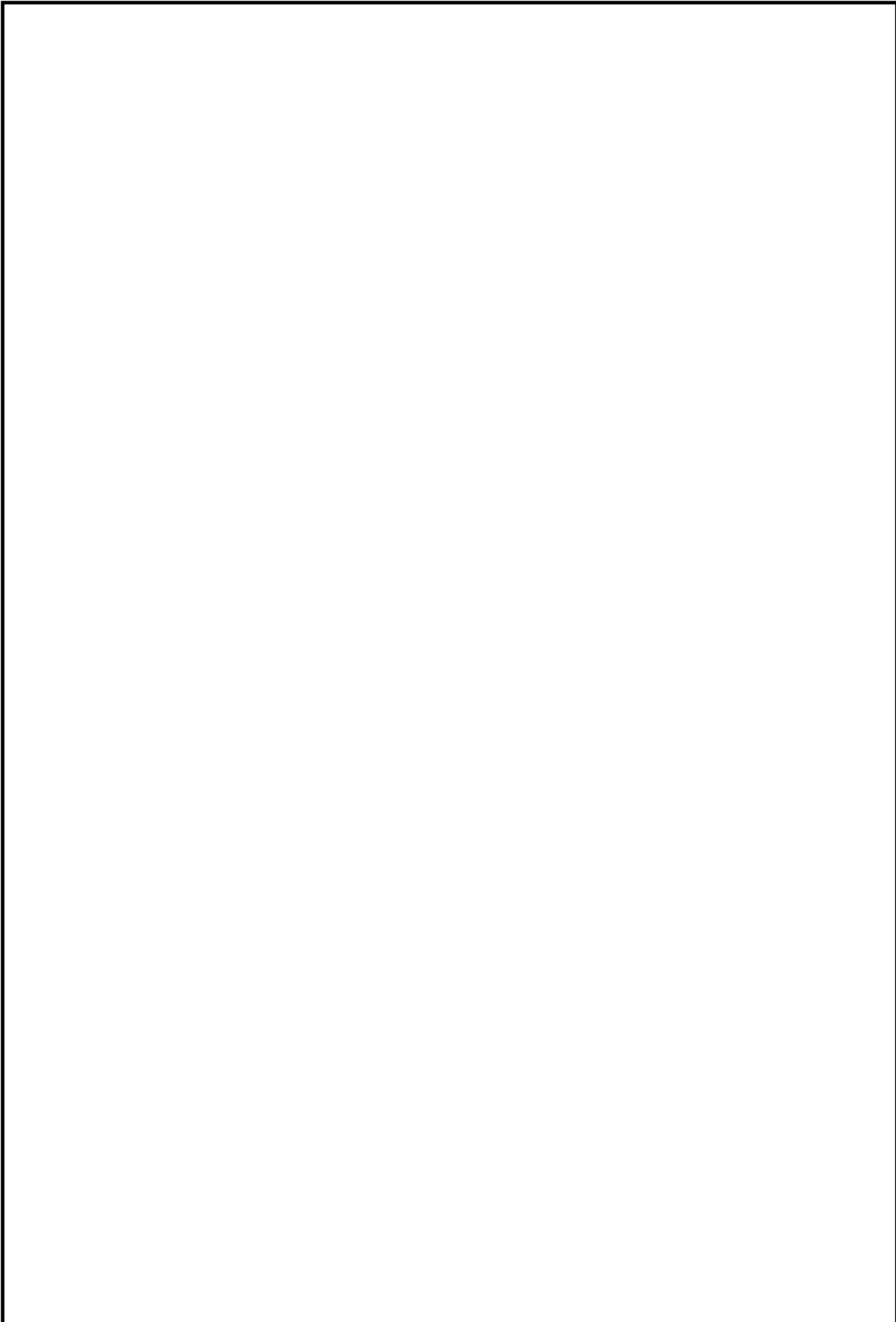
					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



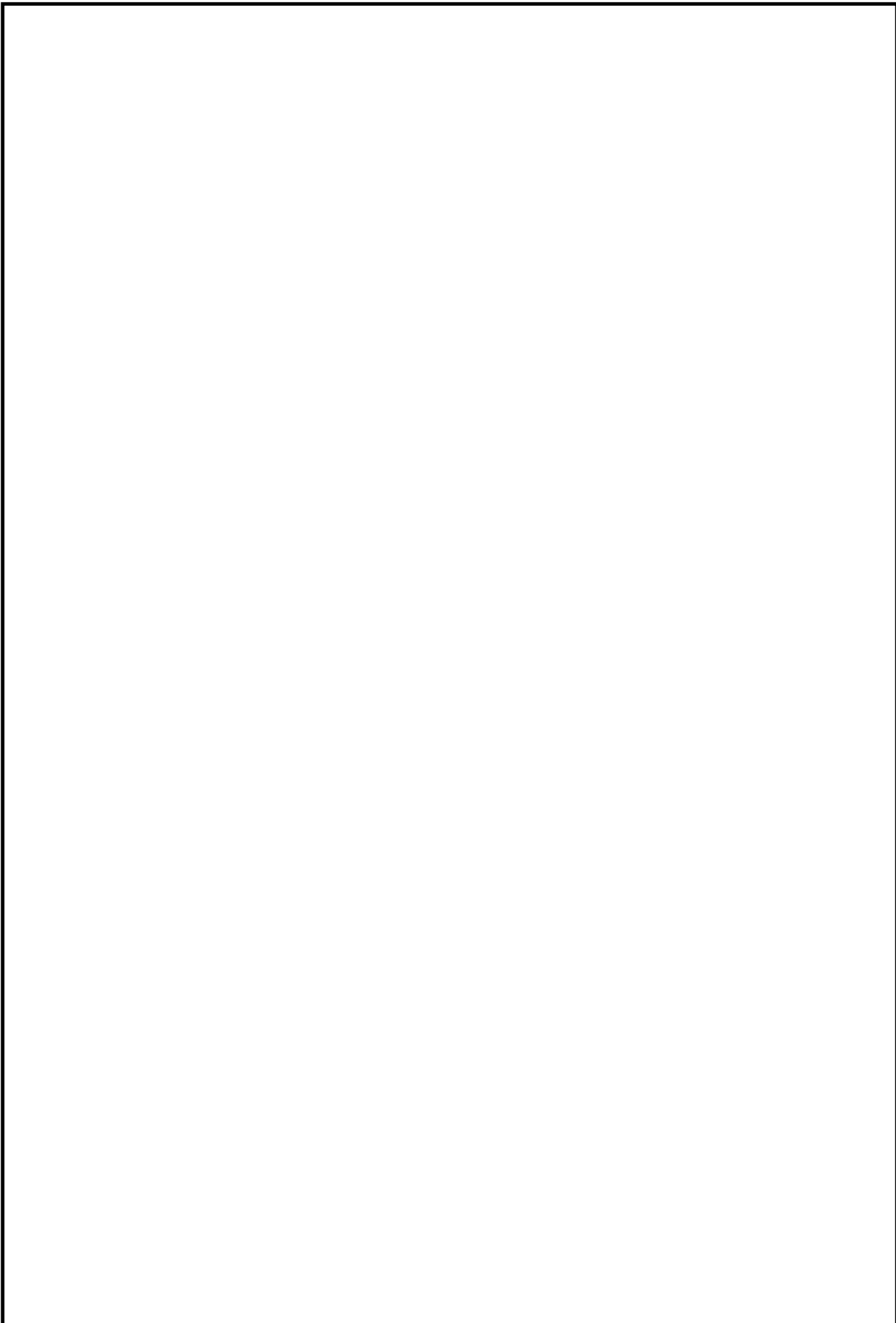
## 8. ЛІТЕРАТУРА

1. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: НГУ України, 2003.- 225 с.
2. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: НГА України, 1999.- 227 с.
3. Чернов Е.А., Кузьмін В.П. Комплектне електроприводи станков с ЧПУ: Справочное пособие.- Горький: Волго-Вят.кн. изд-во, 1989. – 320с.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электропривода-ми.– Л.: Энергоиздат, 1982. - 392с.
5. Справочник по проектированию электроснабжения/ Под ред. Ю.Г. Барыбина, : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
6. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие. – Москва „Высшая школа”, 1979 – 430 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. т.1. – 456 с.; т.2. – 456 с.

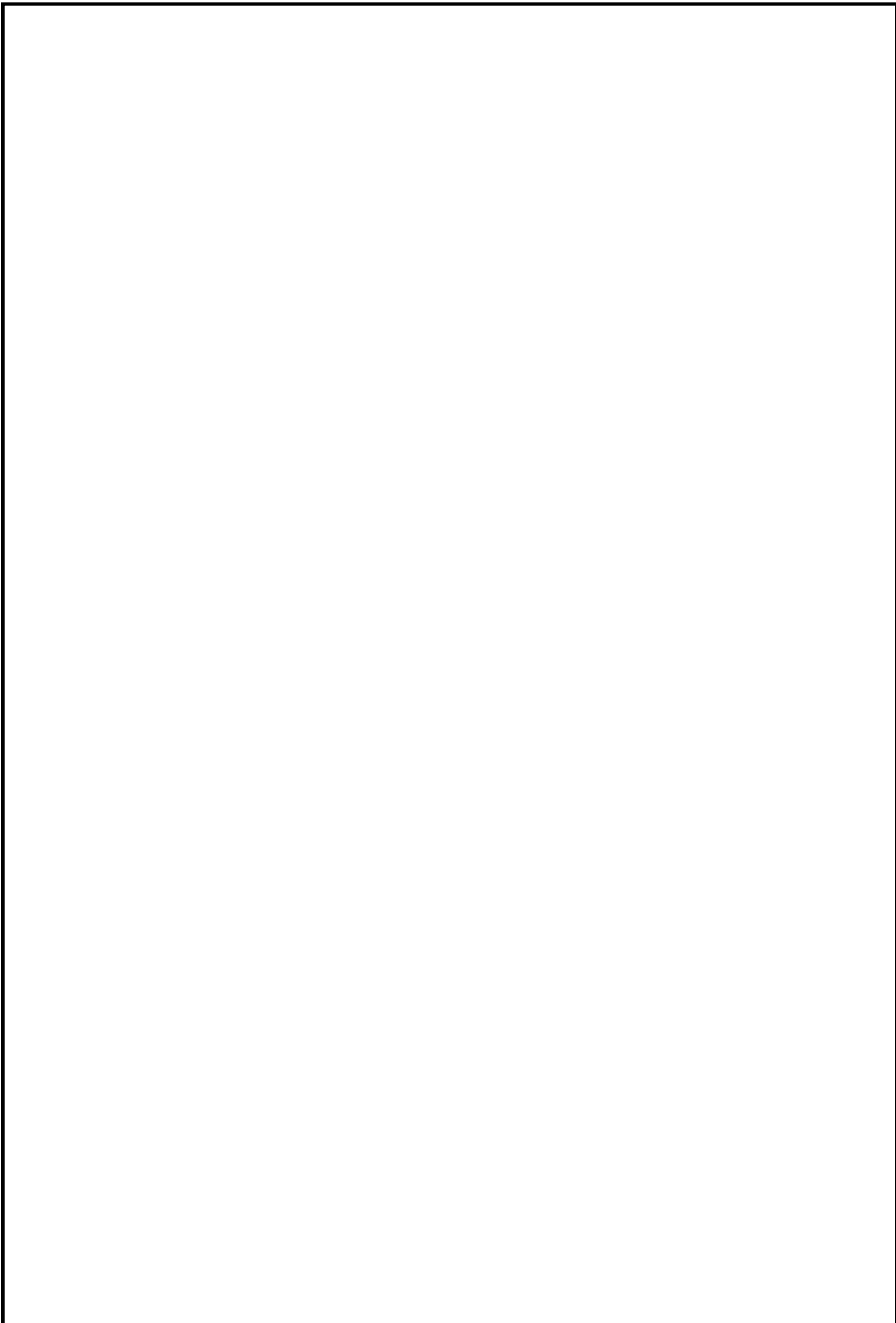
					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



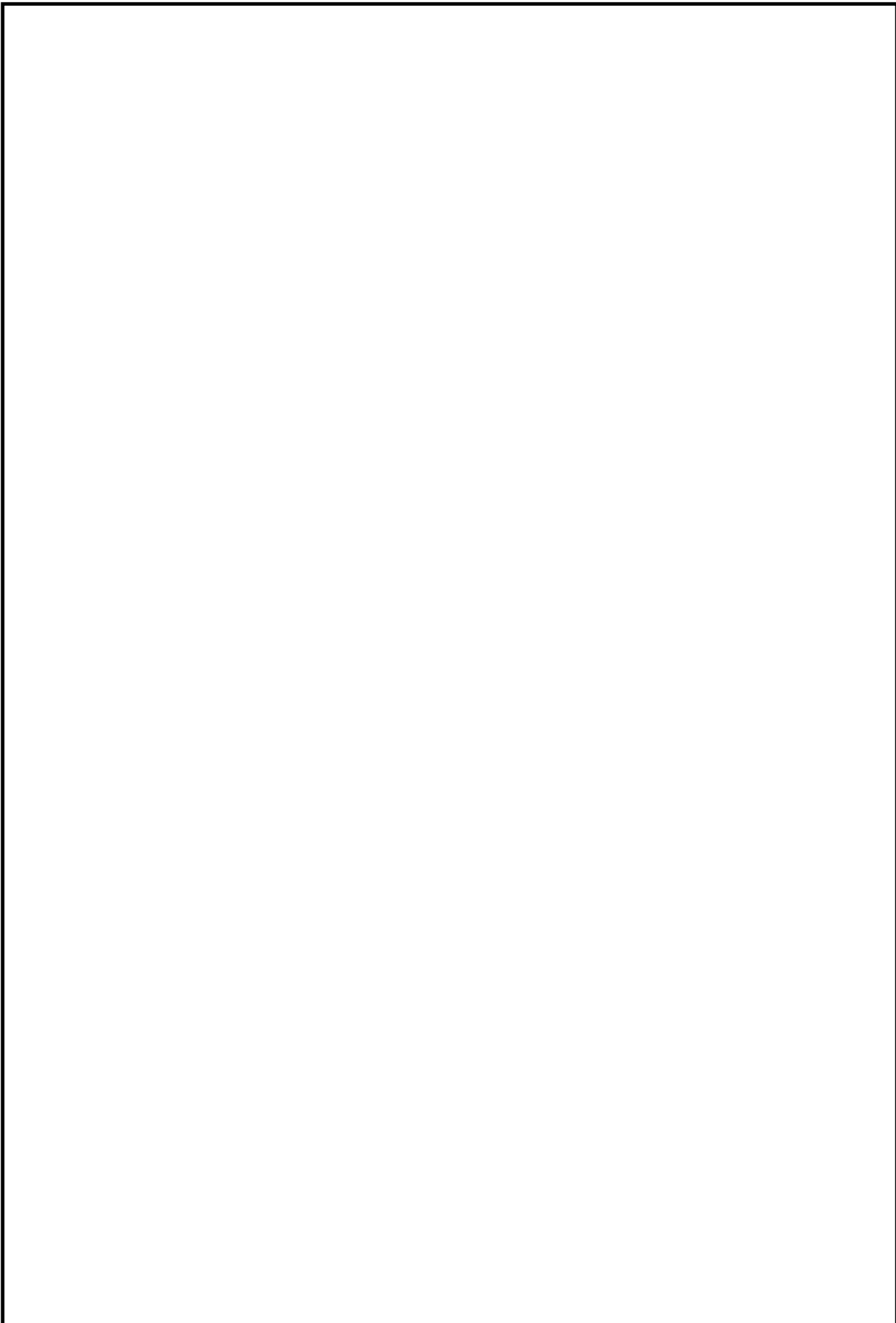
					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		74



					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		75



					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76



					ЕП.ПД. 18.07.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77