

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

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломного проекту

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та

(код і назва напряму підготовки)

електропривод»

спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва спеціальності)

освітній рівень бакалавр

(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки

(код і назва кваліфікації)

на тему: Розробка електропривода змінного струму для механізму  
головного руху токарного верстата моделі РТ755Ф311.

Виконавець: студент 3 курсу, групи ЕМс-15-1

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Каменєв А.А.  
(п.і.б.)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Казачковський М.М.		
розділів:			
Спеціальна частина	Казачковський М.М.		
Охорона праці	Голінько В.І.		
Економіка	Дементьєва Н.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Казачковський М.М.		

Дніпро  
2018

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 Каменєв А.А.  
(група) (п.і.б.)

Тема дипломного проекту: Розробка електропривода змінного струму для механізму головного руху токарного верстата моделі РТ755Ф311.

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 \_\_\_\_\_ Каменєв А.А.  
(підпис) (п.і.б.)

Дата видачі завдання: 25.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 22.06.2018

					ЕП.ДП.18.7.Р.ПЗ	Арк. <b>2</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 67 с., 18 рис., 10 табл., 14 джерела, 4 аркуші графічної частини.

Об'єкт детальної розробки: електропривод механізму головного руху токарного верстата РТ755Ф3-11.

Мета роботи: розробка точного, надійного автоматизованого електроприводу.

Вибрані елементи силового кола: асинхронний двигун, перетворювач частоти. Розраховані параметри векторної системи регулювання електроприводу.

Виконано розрахунок перехідних процесів у електроприводі із знайденими режимами роботи.

В розділі “Охорона праці” проведено аналіз шкідливих факторів і розроблено інженерно-технічні заходи для захисту обслуговуючого персоналу.

В розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховані капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження запропонованої системи електропривода.

**РЕВЕРСИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ, ВЕКТОРНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, СИНТЕЗ САР.**

Підп. і дата								
Інв. № дубл.								
Зам. Інв. №								
Підп. і дата								
		<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>						
		Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		
Інв. № подл.	Розроб.			Каменев А.А.				
	Пров.			Казачковський				
	Н. контр.			Казачковський				
	Затв.							
		Розробка електропривода змінного струму для механізму головного руху токарного верстату РТ755Ф311				Лит.	Аркуш	Аркушів
						3	65	
						<b>ЕТФ ЕМс-15-1</b>		

## THE ABSTRACT

Explanatory slip 67 p., 18 fig., 10 tables, 14 sources, 4 sheets of a graphic part.

Object of detailed development: the electric drive of the mechanism of the main movement of the turning machine tool PT755Φ3-11.

The purpose of job: development of the exact, reliable automated electric drive.

The elements of a power (force) circuit: motor, converter The parameters of the vector system electric drive are designed.

The account of transients in the electric drive with the received modes of operations.

In the section 4 dangerous production factors are analyzed, technical actions for protection of the service personnel at crane operation are developed.

Economic efficiency of introduction of the offered system of electric drive is expected in the section 5.

THE REVERSAL ELECTRIC DRIVE of a ALTERNATIVE CURRENT, VECTOR CONTROL SYSTEM of REGULATION of SPEED, CHOICE of a POWER(FORCE) ELECTRIC EQUIPMENT, SYNTHESIS CONTROL SYSTEM

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		4

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	6
1.1. Загальні відомості верстата.....	6
1.2 Електропривод головного руху. ....	7
1.3 Блокування та сигналізація.....	9
1.4 Основні технічні дані та характеристика.....	11
1.5 Технічна характеристика електрообладнання .....	12
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	14
2.1 Вимоги до об'єкту.....	14
2.2 Попередній вибір двигуна та передатного числа коробки швидкостей .....	16
2.3 Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень приводу головного руху .....	20
2.3.1. Швидкості, зусилля та тривалості різання.....	20
2.3.2 Навантаження приводу шпинделя .....	22
2.4 Перевірка вибраного двигуна .....	25
2.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення .....	26
2.6 Модель асинхронного короткозамкненого двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора .....	28
2.7 Синтез системи регулювання швидкості асинхронного двигуна .....	30
2.7.1 Синтез регулятора струму .....	34
2.7.2 Синтез регулятора потокозчеплення ротора .....	35
2.7.3. Синтез регулятора швидкості .....	37
2.7.4 Вибір комплектного перетворювача частоти .....	39
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	48
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників в робочій зоні верстата з ЧПУ .....	48

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		5

4.2 Заходи щодо зниження шкідливих чинників і небезпек на робочому місці оператора верстата з ЧПК .....	51
4.2.1. Заходи щодо зниження шуму, вібрації і надмірних тепловиділень .....	51
4.2.2. Забезпеченість працюючих засобами індивідуального захисту і спецодягом .....	52
4.2.3 Пожежна профілактика .....	53
4.3 Розрахунок занулення верстата з ЧПК .....	56
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	57
5.1 Розрахунок капітальних витрат .....	57
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	59
5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	60
5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	60
5.2.3 Витрати на технічне обслуговування и поточний ремонт .....	62
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	65

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

## ВСТУП

Метою дипломного проекту є автоматизація та модернізація спеціального токарного верстата РТ755Ф3-11 з числовим програмним керуванням. Верстат призначений для токарної обробки, а також нарізання різьб різного діаметру. В дипломі проекті розглянуто режим токарної обробки деталі. В даному проекті здійснюється розробка приводу головного руху на базі електроприводу змінного струму та використання перетворювача частоти.

Як правило в електроприводі головного руху метало оброблювальних верстатів використовувались двигуни постійного струму з електромагнітним збудженням. Регулювання напруги таких двигунів здійснювалось від тиристорних перетворювачів або широтно-імпульсних модуляторів. З розвитком силової електроніки на перший план стали виходити перетворювачі частоти. Системи електроприводу змінного струму, завдяки постійному розвитку, набули таких самих властивостей як і системи регульованого електроприводу постійного струму і є сучасною тенденцією в машинобудуванні.

В даному проекті розглядається варіант заміни електропривода головного руху постійного струму електроприводом на базі асинхронного короткозамкненого двигуна з перетворювачем частоти.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		7



# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Загальні відомості верстата

Електрообладнання верстата виконано з керуванням від пристрою числового програмного керування (ПЧПК) типу "Електроніка" НЦ-31.

1. На верстаті встановлені наступні електродвигуни:

Електродвигун приводу різцевої головки – М1;

Електродвигун приводу насоса охолодження – М2;

Електродвигун насоса мастила коробки швидкостей – М3;

Електродвигун насоса імпульсного мастила направляючих – М4;

Електродвигун приводу переміщення задньої бабки – М5;

Електродвигун приводу зажиму задньої бабки – М6;

Електродвигун приводу переміщення піноли задньої бабки – М7;

Електродвигун приводу транспортера – М8;

Електродвигун головного приводу – М9;

Електродвигун приводу подач по осі X – М10;

Електродвигун приводу подач по осі Z – М11;

2. Живлення електрообладнання верстата здійснюється від трифазної мережі змінного струму 380В +10%; 380В -15%; 50Гц.

Живлення ланцюгів керування електроавтоматики верстата напругою 24В постійного струму здійснюється від понижаючого трифазного трансформатора TV1 і випрямлячів VD1... VD6.

Живлення ланцюгів керування змінного струму напругою 110В здійснюється від понижуючого трансформатора TV2.

Від цього трансформатора TV2 живляться ланцюги місцевого освітлення верстата напругою 24В змінного струму.

Блок живлення пристрою ЧПК вентилятора ЕН3... ЕН7 живляться напругою 220В змінного струму від понижаючого трансформатора TV5.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

8

3. Підключення електрообладнання верстата до цехової електромережі здійснюється за допомогою ввідного автоматичного вимикача QF1, встановленого на боковій стінці всередині електрошафи №1 з виводом рукоятки включення і виключення назовні.

4. На електрошафі №1 передбачений пристрій для фіксації рукоятки ввідного вимикача в відключеному положенні .

5. Вся апаратура управління електроприводу верстата розташована на панелі керування в двох електрошафах, які встановленні поряд із станком.

6. Керування електроприводами верстата дистанційне і здійснюється із наступних міст:

оперативного пульта керування, встановленого на каретці верстата;

пульта задньої бабки на каретке.

7. Захист електродвигуна від струму короткого замикання і перевантажень здійснюється автоматично вимикачами і тепловими реле.

Захист ланцюгів керування виконано автоматично вимикачами і запобіжниками.

8. Ступінь захисту електрошафи, пульта управління і клемних коробок виконана відповідно до державних стандартів. Електрошафа №2 і оперативний пульт управління мають захист IP33, електрошафа №1, пульт задньої бабки і клемні коробки IP54 .

Електротрубомонтаж на верстаті виконаний в коробках, гумових шлангах, металорукавах і хлорвінілових трубках.

## 1.2. Електропривод головного руху

Обертання шпінделя здійснюється від електродвигуна М9 постійного струму типу 2ПФ250ЛГ, Р<sub>дв</sub> = 45 кВт; п<sub>дн</sub> = 1000 об/хв; п<sub>дмах</sub> = 1500 об/хв.

Як датчик зворотного зв'язку по частоті обертання в електродвигун вбудований тахогенератор BR1 постійного струму.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		9

Електродвигун охолоджується вентилятором ЕН1 який підключається до мережі при включенні ввідного вимикача.

Управління електродвигуном М9 здійснюється від уніфіцированого тиристорного пристрою AD1 типу БТУ-3601-4347ДУХЛ на 200А, або ЕПУ1-2-4347ДУХЛ4.

Підключення тиристорного перетворювача AD1 мережі здійснюється за допомогою магнітного пускача КМ16 через струмообмежувальний реактор L1.

Живлення обмотки збудження електродвигуна здійснюється від уніфіцированого однофазного неререверсивного пристрою управління AD2 типу БУ-3509-22В2У4 на 16А, 230В, в ЕПУ1 – вбудовано.

Підключення пристрою до сіті здійснюється через струмообмежувальний реактор L2.

При нормальному стані автоматичного вимикача QF10, в закритому кожусі ріжучої зони (кінцевий выключатель SQ18-замкнут) включається реле часу КМ16 і перетворювач AD1 підключається в роботу.

Частота обертання шпінделя задається командою SB (об/мин) подачею каналної напруги від ПЧПК перетворювачу AD1.

Максимальна амплітуда управління напруги  $\pm 10В$ . Частота обертання шпінделя в межах до  $500 \text{ мін}^{-1}$ .

Максимальна частота обертання електродвигуна  $1500 \text{ мін}^{-1}$ . Відповідність задньої частоти обертання і дійсно отриманої сигналізується включенням проміжного реле, готують включення ланцюга дозволу введення кадрів.

Електросхемою верстата передбачається включення головного приводу від кнопки SB14, встановленої на передній бабки.

На оперативному пульті верстата передбачається сигнальна лампа HL14 спрацьовування захисту перетворювача.

На пульті встановлений перемикач SA3, яким може зупинити обертання шпінделя в екстрених випадках.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		10

### 1.3. Блокування та сигналізація

Електросхемою верстата передбачається наступні блокування.

Блокування, яке діє на відключення ввідного вимикача QF1 коли відкривають двері електрошафи, яка здійснюється включенням розмикаючих контактів мікроперемикачів SQ1... SQ4 в ланцюзі котушки дистанційного розцеплювача QF1.

При перевірці апаратури, при наладці електроприводів маємо можливість зняти вказане блокування за допомогою перемикача SA1, який встановлений на панелі керування електрошафи №1.

Перемикач встановлений у положення "наладка", при якому загоряється сигнальна лампа HL1, яка вказує, що ввідний вимикач включений і електрошафи знаходяться під напругою.

По закінченню налагодочних робіт необхідно перемикач SA1 встановити в положення "робота", в іншому випадку буде неможливо включити ввідний вимикач, коли зачинені двері електрошафи.

Нульовий захист електрообладнання верстата здійснюється розмиканням блок-контактів в ланцюгах саможивлення в цеховій електромережі.

Контроль мастила шпindelної бабки – реле потоку SP1. Падіння тиску нижче потрібної величини призводить до відключення верстата.

Контроль рівня масла в імпульсному мастилі направляючих – реле рівня SL1. При падінні тиску нижче критичного видається сигнал заборона введення програми.

Не дозволяється переміщення задньої бабки при роботі верстата в автоматичному режимі і також при включеному головному приводі.

Не дозволяється переміщення задньої бабки ,якщо вона не віджата – кінцевий вимикач SQ14 зажатий, якщо вона стоїть на упорі – кінцевий вимикач SQ13 і проміжні реле K23 відключені.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		11

В ручному режимі, при відключеному головного приводу, можливо здійснити отвод пінолі.

Контроль перезапуску трансформатора здійснюється за допомогою кінцевого вимикач SQ15, розмикаючі контакти якого відключають привод трансформатора.

На верстаті передбачена наступна сигналізація.

Лампа HL1, сигналізує про наявність напруги на панелях керування електрошафи;

Лампа HL5, сигналізує про наявність напруги на верстаті;

Лампа HL3 сигналізує включення верстата в роботу;

Лампа HL4... HL8 сигнализують про включення діапазону коробки швидкостей;

Лампа HL9 сигналізує кінець циклу системи інструмента;

Лампа HL10 сигналізує стан фільтра системи мастила;

Лампа HL11 сигналізує наявність мастила шпindelної бабки;

Лампа HL12 сигналізує роботу імпульсного мастила направлених;

Лампа HL13 сигналізує про те, що задня бабка зажата;

Лампа HL14 сигналізує про спрацювання захисту перетворювача головного приводу.

Пульт пристрою ЧПК має індикацію, яка сигналізує режими роботи про стан ПЧПК та верстата.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		12

## 1.4. Основні технічні дані та характеристика

В табл.1.3 приведені показники якості.

Таблиця 1.3

Назва показника якості, розмірність	Величина показника
<b>1.Показники заготовки, яка оброблюється на верстаті</b>	
найбільший діаметр встановленого виробу над станиною, мм, не менше	1070

найбільший діаметр оброблюваної поверхності, мм, не менше	1000
над станиною	590
над супортом	3000
найбільша довжина встановленої заготовки, мм	
максимальний розмір встановленої заготовки в люнеті, мм	150...500
максимальний розмір оброблюваної поверхні по довжині, мм	2800
найбільша маса, оброблюваної заготовки (з розрахунком маси закріплених елементів)	8000
<b>2. Показники інструмента, встановленого на верстаті</b>	
найбільша висота різця, встановленого в різцедержателі, мм	40
найбільша маса блоку в револьверній головці, кг	26
наявність накопичувальних інструментів	Восьмипозиційна револьверна головка
допустима величина неврівноваженого інструментального диску, Нм	35
<b>3. Показники робочих встановлених переміщень</b>	
найбільше переміщення робочих органів верстата з інструментом, мм	
по осі X	590
по осі Z	2850
дискретність завдання переміщення	10

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						13

точність позиціонування, мкм по осі X по осі Z	40 120
кількість керуючих вісей координат	2
кількість одночасно керуючих осей координат	2
<b>4. Показники основних і допоміжних рухів верстата</b>	
максимальна частота обертання шпінделя, об/хв	3,15..800±5%
межі робочої подачі супорта по осі X по осі Z	1...2000 1...2000
межі швидкостей швидких переміщень супорта, мм/хв по осі X по осі Z	7500 7500
<b>5. Показники силової характеристики верстата</b>	
найбільший обертаючий момент на шпінделі, кНм	12,2
потужність приводу головного руху, кВт	45
сумарна потужність встановлених на верстаті електродвигунів, кВт	59,5
<b>6. Показники габаритів і маси верстата</b>	
габаритні розміри верстата (разом з розташуванням агрегатами и електрообладнання), кВт Довжина Ширина висота	10000 3100 2100
<b>7. Показник продуктивності</b>	
коефіцієнт підвищення продуктивності відносно порівнюючої моделі	1,6

### 1.5. Технічна характеристика електрообладнання

- Кількість електродвигунів на верстаті (з електронасосом) – 11 шт.
- Електродвигун головного руху:  
тип – 2ПФ250ЛГ  
потужність, кВт – 45  
частота обертання, об/хв – 1000/1500

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		14

3. Електродвигун насоса мастила бабки шпindelьної (привід мастила):

тип – 4А90ЛБУЗ

потужність, кВт – 1,5

частота обертання, об/хв – 925

4. Електродвигун головки револьверної:

тип – 4АХС80БУЗ

потужність, кВт – 1,2

частота обертання, об/хв – 970

5. Електродвигун насоса охолодження:

тип – 4А80Л2УЗ

потужність, кВт – 1,5

частота обертання, об/хв – 2800

6. Електродвигун переміщення піноли задньої бабки:

тип – 4А10058/4/2УЗ

потужність, кВт – 0,63/1,1/1,5

частота обертання, об/хв – 705/1425/2850

7. Електродвигун переміщення задньої бабки:

тип – 4АМ80БУЗ

потужність, кВт – 1,1

частота обертання, об/хв – 920

8. Електродвигун зажиму задньої бабки:

тип – 4АМ80БУЗ

потужність, кВт – 1,1

частота обертання, об/хв – 1300

9. Електродвигун трансформатора:

тип – 4АО-71В-6

потужність, кВт – 0,55

частота обертання, об/хв – 1000

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

15



## 2 АВТОМАТИЗОВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1. Вимоги до об'єкту

1. Координата керування – Z
2. Система електропривода – керований випрямляч – двигун
3. Розміри деталі – циліндру (рис. 2.1):

Зовнішній діаметр:  $D = 400$ , мм.

Зовнішній діаметр першої оброблювальної поверхні:  $D_1 = 380$ , мм.

Зовнішній діаметр другої оброблювальної поверхні:  $D_2 = 360$ , мм.

Довжина першої оброблювальної поверхні:  $L_1 = 250$ , мм.

Довжина другої оброблювальної поверхні:  $L_2 = 450$ , мм.

4. Режим різання:

Глибина різання:  $t = 5$ , мм.

Подача:  $s = 0,8$ , мм/об.

Час паузи між циклами обробки:  $t_0 = 10$ , с.

5. Параметри механізмів верстата (координата Z):

Момент інерції шпинделя:  $J_{\text{шп}} = 0,3$ , кг·м<sup>2</sup>.

Момент інерції шківів:  $J_{\text{шк}} = 0,1$ , кг·м<sup>2</sup>.

Момент інерції проміжного вала:  $J_{\text{п}} = 0,3$ , кг·м<sup>2</sup>.

6. Вимоги до електроприводу:

Потужність привода головного руху:  $P_z = 35$ , кВт.

Максимальна швидкість обертання шпинделя:  $n_{\text{шп max}} = 500$ , об/хв.

Мінімальна швидкість обертання шпинделя:  $n_{\text{шп min}} = 2$ , об/хв.

Швидкість швидкого ходу (координати X та Y):  $v_{\text{шх}} = 0,125$ , м/с.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		16

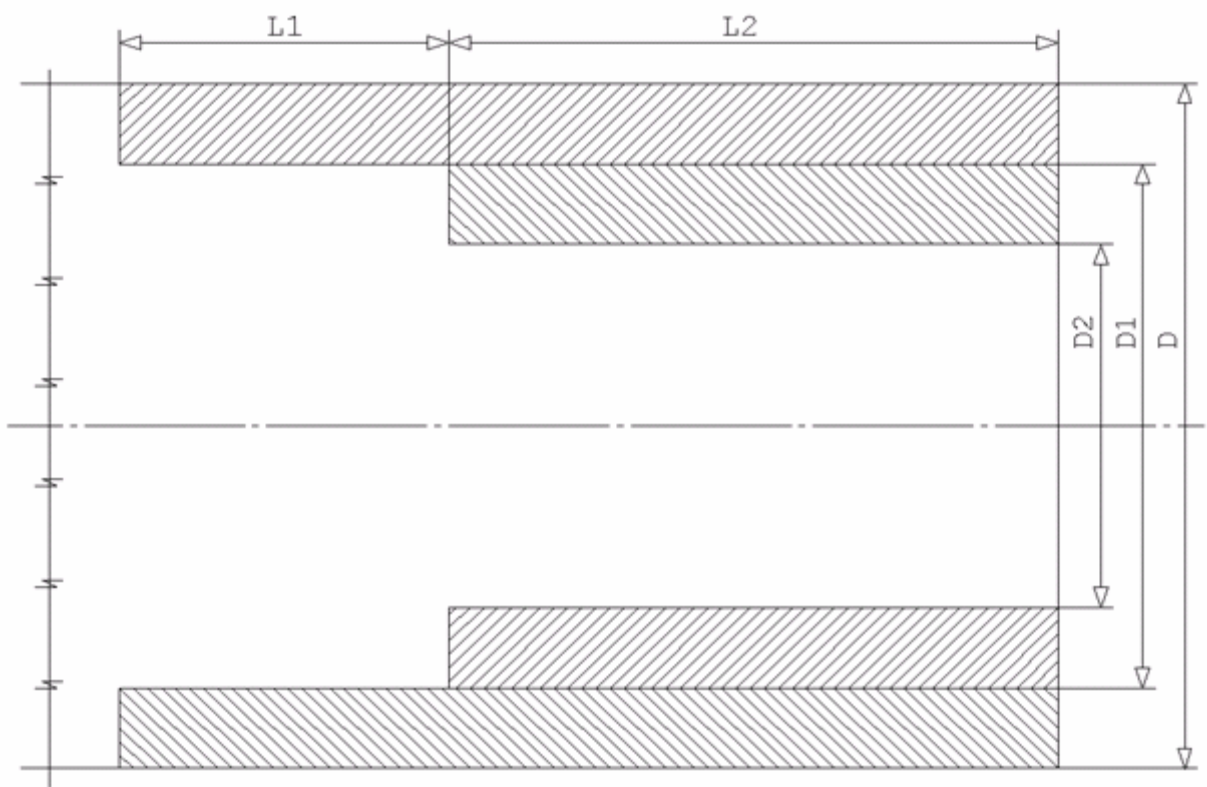


Рис 2.1. Типова деталь

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

## 2.2. Попередній вибір двигуна та передатного числа коробки швидкостей

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

Із ряду асинхронних двигунів [2] вибираємо двигун із потужністю:

$$P_H \geq (1,2 \dots 1,3) P_Z;$$

$$P_H = 1,25 \cdot P_Z = 1,1 \cdot 35 = 38,5, \text{ кВт.}$$

Вибираємо двигун 1PH7184-2ED03 SIEMENS. Двигуни серії 1PH7 спеціально розроблені для використання у приводах головного руху і працюють в парі з перетворювачем частоти. Вихідні дані двигуна наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані асинхронного двигуна

Номінальна потужність $P_H$ , кВт	39
Номінальна фазна напруга $U_{фн}$ , В	194
Номінальна лінійна напруга $U_{лн}$ , В	335
Номінальна швидкість $n_H$ , об/хв	1000
Номінальна частота напруги $f_H$ , Гц	34
Номінальний ККД $\eta_H$	0,92
Номінальний $\cos \varphi_H$	0,81
Момент інерції $J_D$ , кг*м <sup>2</sup>	0,67
Число пар полюсів $Z_p$	2
Струм збудження, $I_F$ , А	44
Номінальний струм $I_H$ , А	90
Номінальний момент $M_H$ , Нм	372
Активний опір статора $R_s^*$ , в.о.	0,034
Зведений активний опір ротора $R_r^*$ , в.о.	0,017
Індуктивний опір статора $X_s^*$ , в.о.	0,082
Зведений індуктивний опір ротора $X_r^*$ , в.о.	0,14
Індуктивний опір повітряного зазору $X_{\mu}^*$ , в.о.	4,6

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						18

Діапазон регулювання швидкості двигуна послабленням поля:

$$D_{\phi} = \frac{n_{\text{дmax}}}{n_{\text{дн}}} = \frac{1500}{1000} = 1,5.$$

Діапазон регулювання швидкості шпинделя:

$$D_{\text{ш}} = \frac{n_{\text{шmax}}}{n_{\text{шmin}}} = \frac{500}{2} = 250.$$

Передатне число ремінної передачі:

$$i_p = \frac{d_2}{d_1} = \frac{42}{12} = 3,5;$$

де  $d_1$  – діаметр шестерні на двигуні, мм;

$d_2$  – діаметр шестерні на коробці швидкостей, мм.

Так як діапазону регулювання швидкості двигуна недостатньо, тоді використовуємо коробку швидкостей з необхідною кількістю ступенів:

$$i = \frac{\log(D_{\text{ш}})}{\log(D_{\phi})} \cdot \frac{1}{i_p} = \frac{\log(250)}{\log(1,5)} \cdot \frac{1}{3,5} = 3,89.$$

Приймаємо:  $i = 4$ .

Номинальна та максимальна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_{\text{дн}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дн}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72, \text{ рад}^{-1};$$

$$\omega_{\text{дmax}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дmax}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08, \text{ рад}^{-1}.$$

Мінімальна та максимальна кутова швидкість шпинделя:

$$\omega_{\text{шmin}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{шmin}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2}{30} = 0,21, \text{ рад}^{-1};$$

$$\omega_{\text{шmax}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{шmax}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52,36, \text{ рад}^{-1}.$$

Мінімальна швидкість першого піддіапазону:

$$\omega_{\text{шmin1}} = \omega_{\text{шmin}} = 0,21, \text{ рад}^{-1};$$

Передатне число першого піддіапазону:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

19

$$i_1 = \frac{\omega_{дн}}{\omega_{ш\ min1}} = \cdot \frac{1}{i_p} = \frac{104,72}{0,21} \cdot \frac{1}{3,5} = 142,86.$$

Максимальна швидкість першого піддіапазону:

$$\omega_{ш\ min1} = \frac{\omega_{ш\ max}}{i_1} = \frac{157,08}{142,86} = 1,099, \text{ рад}^{-1}.$$

Мінімальна швидкість другого піддіапазону:

$$\omega_{ш\ min2} = \omega_{ш\ max1} = 1,099, \text{ рад}^{-1}.$$

Передатне число другого піддіапазону:

$$i_2 = \frac{\omega_{дн}}{\omega_{ш\ min2}} = \cdot \frac{1}{i_p} = \frac{104,72}{1,099} \cdot \frac{1}{3,5} = 27,21.$$

Максимальна швидкість другого піддіапазону:

$$\omega_{ш\ max2} = \frac{\omega_{д\ max}}{i_2} = \frac{157,08}{27,21} = 5,77, \text{ рад}^{-1}.$$

Мінімальна швидкість третього піддіапазону:

$$\omega_{ш\ min3} = \omega_{ш\ max2} = 5,77, \text{ рад}^{-1}.$$

Передатне число третього піддіапазону:

$$i_3 = \frac{\omega_{дн}}{\omega_{ш\ min3}} = \cdot \frac{1}{i_p} = \frac{104,72}{5,77} \cdot \frac{1}{3,5} = 5,18.$$

Максимальна швидкість третього піддіапазону:

$$\omega_{ш\ max3} = \frac{\omega_{д\ max}}{i_3} = \frac{157,08}{5,18} = 30,31, \text{ рад}^{-1}.$$

Мінімальна швидкість четвертого піддіапазону:

$$\omega_{ш\ min4} = \omega_{ш\ max3} = 30,31, \text{ рад}^{-1}.$$

Передатне число четвертого піддіапазону:

$$i_4 = \frac{\omega_{дн}}{\omega_{ш\ min4}} = \cdot \frac{1}{i_p} = \frac{104,72}{30,31} \cdot \frac{1}{3,5} = 0,99.$$

Максимальна швидкість четвертого піддіапазону:

$$\omega_{ш\ max4} = \frac{\omega_{д\ max}}{i_4} = \frac{157,08}{0,99} = 159,11, \text{ рад}^{-1}.$$

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Инв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		20

Максимальна та мінімальна швидкість шпинделя на кожній із ступенів коробки швидкостей:

$$\omega_{ш1} = 0,21 \dots 1,099;$$

$$\omega_{ш2} = 1,099 \dots 5,77;$$

$$\omega_{ш3} = 5,77 \dots 30,31;$$

$$\omega_{ш4} = 30,31 \dots 159,11.$$

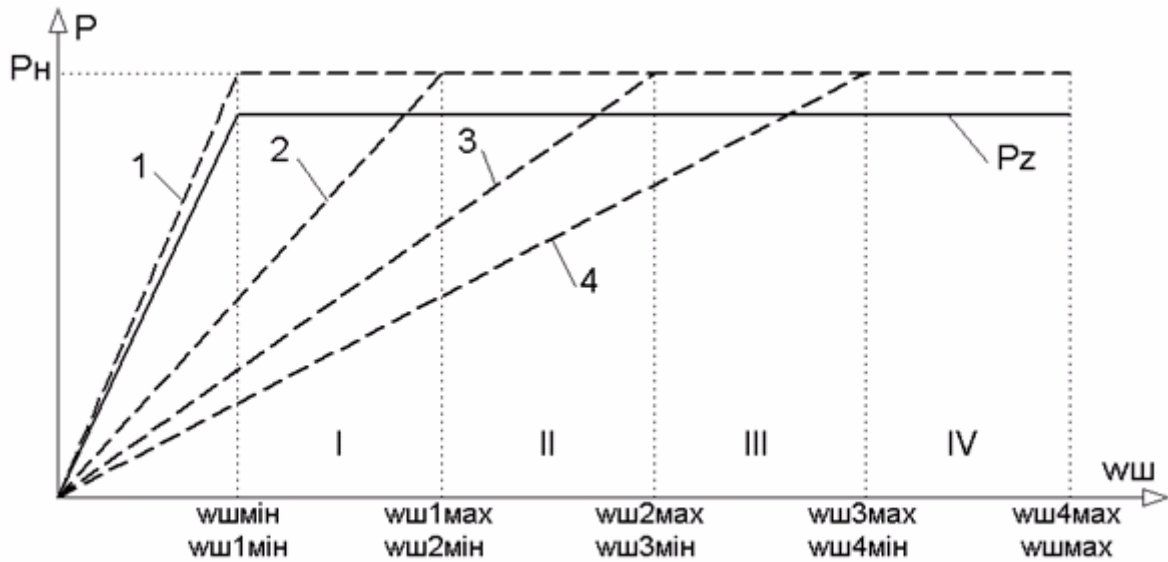


Рис. 2.2. Діапазон швидкостей шпинделя

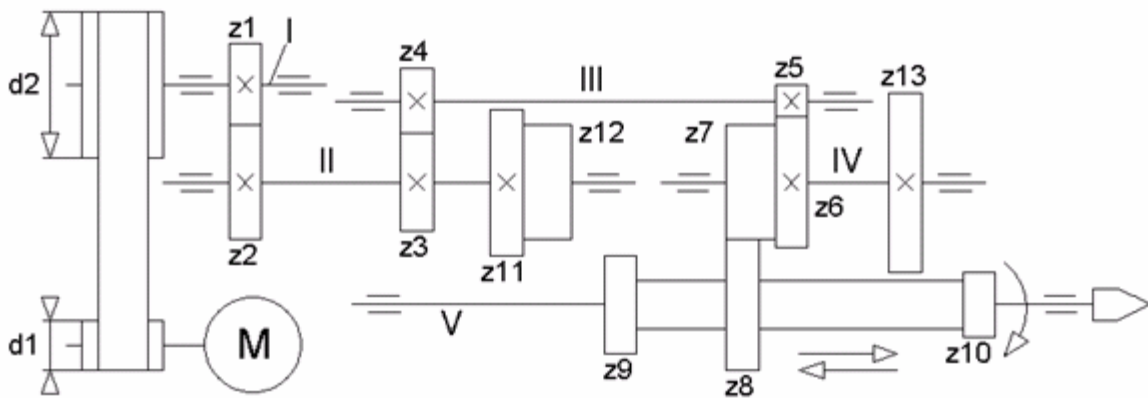


Рис. 2.3. Кінематична схема привода головного руху

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

21

## 2.3. Розрахунок діаграм швидкостей і навантажень приводу головного руху

### 2.3.1. Швидкості, зусилля та тривалості різання

Швидкості та зусилля розраховують для чорнового точіння, як найбільш важкого режиму. При заданому режимі різання запуск та зупинка двигуна виробляється без навантаження.

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

$$v = \frac{C_v}{60 \cdot T^m \cdot t^{X_v} \cdot s^{Y_v}} = \frac{350}{60 \cdot 60^{0,2} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,8^{0,35}} = 2,185, \text{ м/с};$$

де  $T$  – стійкість різця, хв;

$C_v, X_v, Y_v, m$  – емпіричні коефіцієнти, значення яких залежно від подачі ( $s > 0.7$ ).

Розрахунок швидкостей та зусиль виконується виходячи із рис. 2.4.

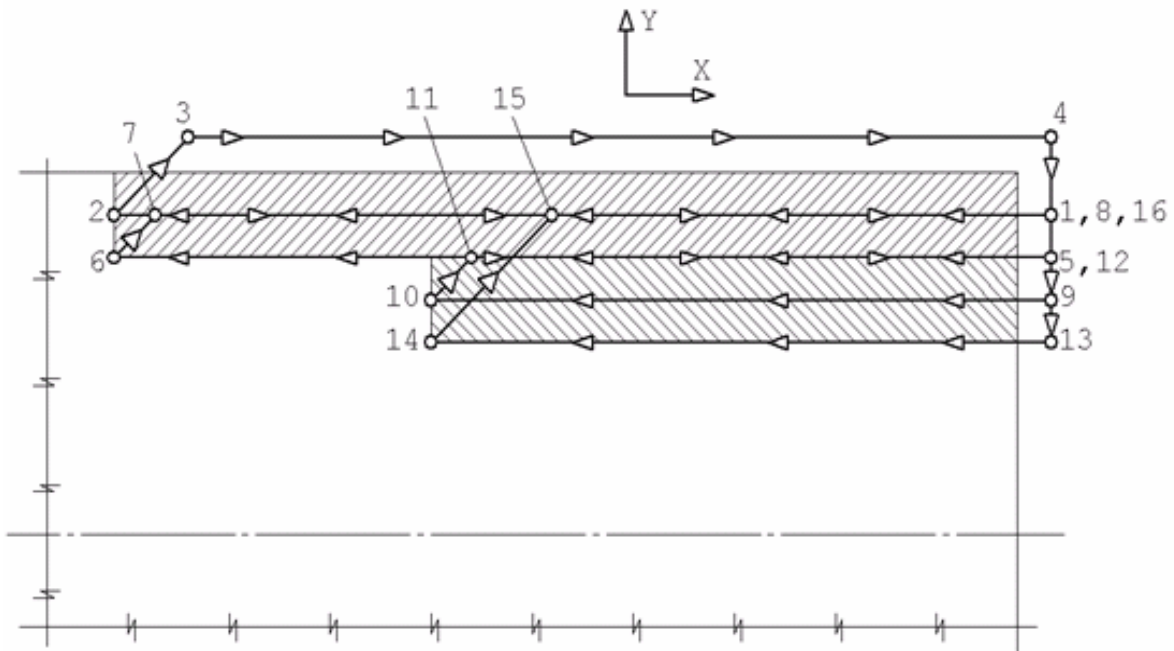


Рис. 2.4. Послідовність обробки деталі

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

22

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

$$\omega_{ш1} = \frac{2 \cdot v}{(D - 2t) \cdot 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 2,185}{(400 - 2 \cdot 5) \cdot 10^{-3}} = 11,203, \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{ш2} = \frac{2 \cdot v}{D_1 - 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 2,185}{380 - 10^{-3}} = 11,49, \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{ш3} = \frac{2 \cdot v}{(D_1 - 2t) \cdot 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 2,185}{(380 - 2 \cdot 5) \cdot 10^{-3}} = 11,808, \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{ш4} = \frac{2 \cdot v}{D_2 - 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 2,185}{360 - 10^{-3}} = 12,14, \text{ c}^{-1}.$$

Швидкість робочої подачі для кожного з переходів під час поздовжнього точіння:

$$v_{п1} = \frac{s \cdot \omega_{ш1}}{2000\pi} = \frac{0,8 \cdot 11,203}{2000 \cdot 3,14} = 0,001426, \text{ м/с};$$

$$v_{п2} = \frac{s \cdot \omega_{ш2}}{2000\pi} = \frac{0,8 \cdot 11,49}{2000 \cdot 3,14} = 0,001464, \text{ м/с};$$

$$v_{п3} = \frac{s \cdot \omega_{ш3}}{2000\pi} = \frac{0,8 \cdot 11,808}{2000 \cdot 3,14} = 0,001503, \text{ м/с};$$

$$v_{п4} = \frac{s \cdot \omega_{ш4}}{2000\pi} = \frac{0,8 \cdot 12,14}{2000 \cdot 3,14} = 0,001545, \text{ м/с};$$

Тривалості переходів під час поздовжнього точіння:

$$t_{п1} = \frac{L_1 + L_2}{v_{п1}} \cdot 10^{-3} = \frac{250 + 450}{0,001426} \cdot 10^{-3} = 490,75 \text{ с};$$

$$t_{п2} = \frac{L_1 + L_2}{v_{п2}} \cdot 10^{-3} = \frac{250 + 450}{0,001464} \cdot 10^{-3} = 478,17 \text{ с};$$

$$t_{п3} = \frac{L_2}{v_{п3}} \cdot 10^{-3} = \frac{450}{0,001503} \cdot 10^{-3} = 299,31 \text{ с};$$

$$t_{п4} = \frac{L_2}{v_{п4}} \cdot 10^{-3} = \frac{450}{0,001545} \cdot 10^{-3} = 291,21 \text{ с}.$$

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		23



Тривалості переходів під час швидкого ходу:

$$t_{2'5} = t_{6'9} = \frac{(L_1 + L_2) \cdot 10^{-3}}{v_{\text{шх}}} = \frac{(250 + 450) \cdot 10^{-3}}{0,125} = 5,6, \text{ с};$$

$$t_{10'13} = t_{14'16} = \frac{L_2 \cdot 10^{-3}}{v_{\text{шх}}} = \frac{450 \cdot 10^{-3}}{0,125} = 3,6, \text{ с}.$$

Складові зусилля різання:

тангенціальна:

$$F_z = 10 \cdot C_{FZ} \cdot t^{X_{FZ}} \cdot s^{Y_{FZ}} \cdot v^{n_z} = 10 \cdot 92 \cdot 5^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 2,185^0 = 3891,13, \text{ Н};$$

радіальна:

$$F_y = 10 \cdot C_{FY} \cdot t^{X_{FY}} \cdot s^{Y_{FY}} \cdot v^{n_y} = 10 \cdot 54 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 2,185^0 = 1944,39, \text{ Н};$$

поздовжня (осьова):

$$F_x = 10 \cdot C_{FX} \cdot t^{X_{FX}} \cdot s^{Y_{FX}} \cdot v^{n_x} = 10 \cdot 46 \cdot 5^1 \cdot 0,8^{0,4} \cdot 2,185^0 = 2103,6, \text{ Н};$$

де  $C_{FZ}$ ,  $X_{FZ}$ ,  $Y_{FZ}$ ,  $n_z$ ,  $C_{FY}$ ,  $X_{FY}$ ,  $Y_{FY}$ ,  $n_y$ ,  $C_{FX}$ ,  $X_{FX}$ ,  $Y_{FX}$ ,  $n_x$  – емпіричні коефіцієнти для зовнішнього точіння сірого чавуна твердосплавним різцем.

### 2.3.2 Навантаження приводу шпинделя

ККД зубчато-ремінної передачі:

$$\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{зп}} \cdot \eta_{\text{рп}} = 0,98 \cdot 0,95 = 0,931;$$

де  $\eta_{\text{зп}}$  – ККД зубчатої передачі;

$\eta_{\text{рп}}$  – ККД ремінної передачі.

Статичний момент на валу двигуна на кожному з переходів:

$$M_{c1} = \frac{F_z \cdot (D - 2 \cdot t) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot i_3 \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{3891,13 \cdot (400 - 2 \cdot 5) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,18 \cdot 0,931} = 157,25, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{c2} = \frac{F_z \cdot D_1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot i_3 \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{3891,13 \cdot 380 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,18 \cdot 0,931} = 153,21, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{c3} = \frac{F_z \cdot (D - 2 \cdot t) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot i_3 \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{3891,13 \cdot (380 - 2 \cdot 5) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,18 \cdot 0,931} = 149,18, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Инв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		24

$$M_{c4} = \frac{F_z \cdot D_2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot i_3 \cdot \eta_{II}} = \frac{3891,13 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 5,18 \cdot 0,931} = 145,15, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент інерції деталі:

$$J_{дет} = \frac{\pi \cdot (D \cdot 10^{-3})^4 \cdot L_{дет} \cdot \gamma}{32} = \frac{3,14 \cdot (400 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 3 \cdot 7,8 \cdot 10^3}{32} = 58,81, \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

де  $L_{дет} = 3, \text{ м}$  – довжина деталі;

$\gamma = 7,8 \cdot 10^3, \text{ кг/м}^3$  - питома вага сталі.

Сумарний зведений до вала двигуна момент інерції привода:

$$J = J_{дв} + J_{шк} + \frac{J}{i_p^2} + \frac{J_{шп} + J_{дет}}{i^2} = 1,2 + 0,1 + \frac{0,3}{3,5^2} + \frac{0,3 + 58,81}{4^2} = 5,02, \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент холостого ходу, при пересуванні інструмента без контакту з деталлю, знаходиться виходячі із максимального статичного моменту:

$$M_0 = 0,6 \cdot (1 - \eta_{II}) \cdot M_{c1} = 0,6 \cdot (1 - 0,931) \cdot 157,25 = 6,51, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамічний момент на ділянках зі змінною швидкістю:

$$M_{j2'5} = J \cdot i_3 \cdot \frac{\omega_{ш2} - \omega_{ш1}}{t_{2'5}} = 5,02 \cdot 5,18 \cdot \frac{11,49 - 11,203}{5,6} = 1,37, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{j6'9} = J \cdot i_3 \cdot \frac{\omega_{ш3} - \omega_{ш2}}{t_{6'9}} = 5,02 \cdot 5,18 \cdot \frac{11,808 - 11,49}{5,6} = 1,44, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{j10'13} = J \cdot i_3 \cdot \frac{\omega_{ш4} - \omega_{ш3}}{t_{10'13}} = 5,02 \cdot 5,18 \cdot \frac{12,14 - 11,808}{3,6} = 2,37, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{j14'16} = J \cdot i_3 \cdot \frac{0 - \omega_{ш4}}{t_{14'16}} = 5,02 \cdot 5,18 \cdot \frac{0 - 12,14}{3,6} = -87,69, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Повний момент двигуна на ділянках зі змінною швидкістю:

$$M_{2'5} = M_0 + M_{j2'5} = 6,51 + 1,37 = 7,88, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{6'9} = M_0 + M_{j6'9} = 6,51 + 1,44 = 7,95, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{10'13} = M_0 + M_{j10'13} = 6,51 + 2,37 = 8,88, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{14'16} = M_0 + M_{j14'16} = 6,51 + (-87,69) = -81,18, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		25

Виходячи із розрахованих даних намалюємо діаграми швидкостей та навантажень приводу шпинделя (рис. 2.5)

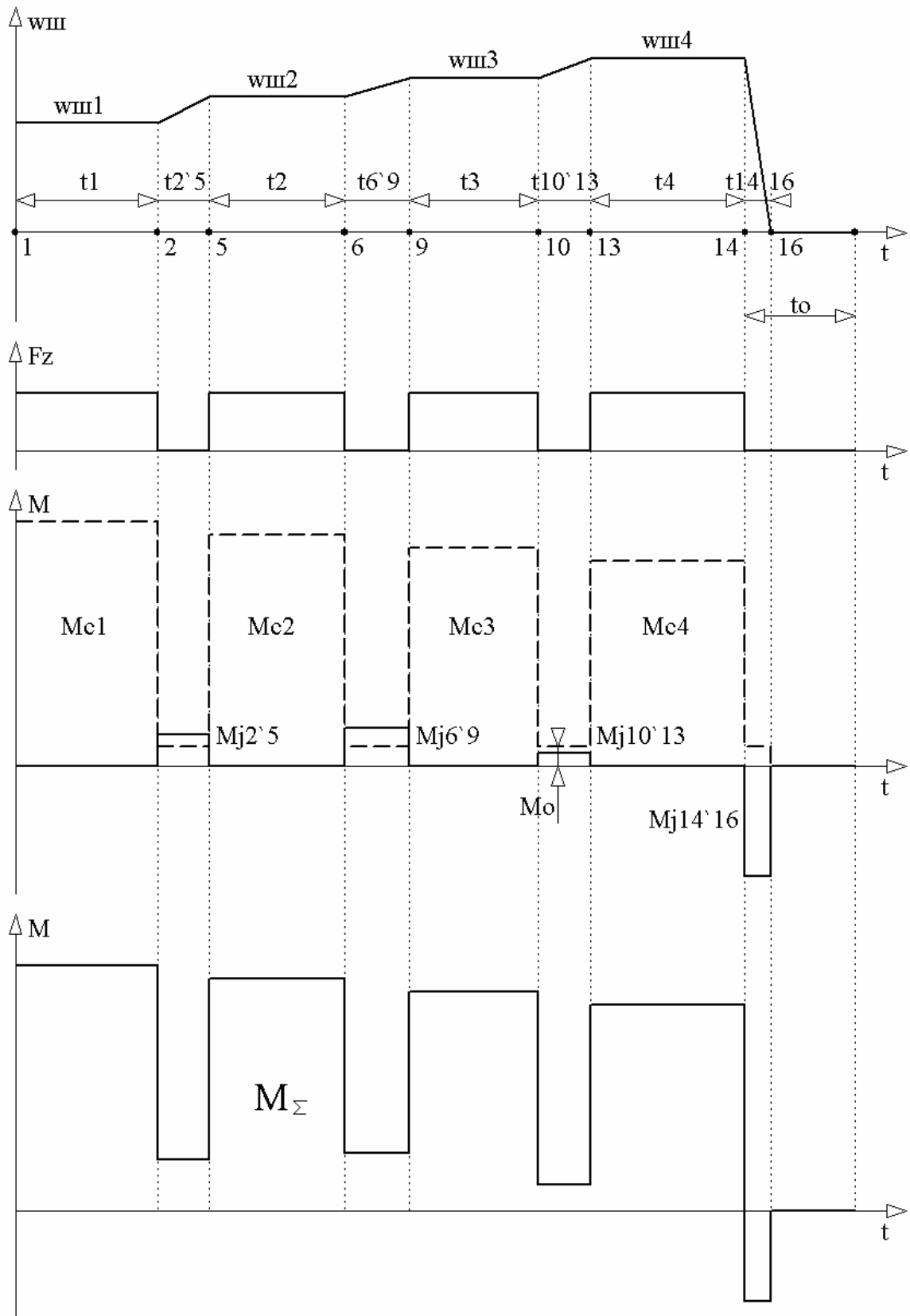


Рис. 2.5. Діаграми швидкостей та навантажень приводу шпинделя

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

## 2.4. Перевірка вибраного двигуна

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

$$M_e = \sqrt{\frac{M_{c1}^2 \cdot t_1 + M_{c2}^2 \cdot t_2 + M_{c3}^2 \cdot t_3 + M_{c4}^2 \cdot t_4}{t_{\text{ц}}}};$$

$$M_e = \sqrt{\frac{157,25^2 \cdot 490,75 + 153,21^2 \cdot 478,17 + 149,18^2 \cdot 299,31 + 145,15^2 \cdot 291,21}{1559,44}};$$

$$M_e = 152,3, \text{ Н} \cdot \text{ м}.$$

Тривалість циклу:

$$t_{\text{ц}} = 490,75 + 478,17 + 299,31 + 291,21 = 1559,44, \text{ с}.$$

Двигун не перегрівається, якщо його номінальний момент:

$$M_{\text{н}} \geq (1,1..1,2)M_e;$$

$$447,2 \geq 182,8, \text{ Н} \cdot \text{ м}.$$

Виконаємо розрахунок перевантажувальної здатності двигуна, за умови найгіршої ситуації:

$$M_{\text{смах}} \leq M_{\text{н}} \cdot \lambda \cdot \frac{n_{\text{дн}}}{n_{\text{дмах}}};$$

$$157,25 \leq 447,2 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{1500}, \text{ Н} \cdot \text{ м};$$

$$157,25 \leq 596,3, \text{ Н} \cdot \text{ м}.$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Арк

27

## 2.5 Розрахунок параметрів схеми заміщення

Для переводу опорів з відносних одиниць в абсолютні скористаємося виразом [7]:

$$Z = Z^* \cdot Z_B = Z^* \cdot \frac{U_{\phi H}}{I_{\phi H}}$$

де  $Z_B = \frac{U_{\phi H}}{I_{\phi H}}$  – базовий опір; Ом;  $Z^*$  – опір у відносних одиницях;  $Z$  – шуканий опір, Ом.

Визначимо базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_{\phi H}}{I_{\phi H}} = \frac{194}{90} = 2,15 \text{ Ом}$$

Активний опір статора:

$$R_s = 0,034 \times 2,15 = 0,073 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора:

$$R_r = 0,017 \times 2,15 = 0,036 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_l = 0,082 \times 2,15 = 0,176 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2 = 0,14 \times 2,15 = 0,3 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір кола намагнічування:

$$X_\mu = 4,6 \times 2,15 = 9,89 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір короткого замикання:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		28

$$X_K = X_1 + X_2 = 0,3 + 0,176 = 0,476 \text{ Ом.}$$

Частота живлячої мережі:

$$\omega_0 = 2 \pi f_H = 2 \pi \times 34 = 213,6 \text{ с}^{-1}$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{s\sigma} = X_1 / \omega_0 = 0,176 / 213,6 = 0,0008,$$

де  $\omega_0 = 2 \pi f$  – кутова частота живлячої мережі, рад/с;

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{r\sigma} = X'_2 / \omega_0 = 0,3 / 213,6 = 0,0014 \text{ Гн.}$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора и ротора:

$$L_m = X_\mu / \omega_0 = 9,89 / 213,6 = 0,046 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки статора:

$$L_{1s} = L_{s\sigma} + L_m = 0,0008 + 0,046 = 0,0468 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки ротора:

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 0,0014 + 0,046 = 0,0474 \text{ Гн.}$$

Як показує аналіз літератури [3, 10, 11] регулювання моменту та швидкості асинхронного двигуна забезпечують системи векторного керування координатами електропривода, побудовані за принципами підлеглого керування. Побудова векторної системи керування можлива, якщо асинхронний двигун представити у обертовій системі координат, що пов'язана з потокозчепленням ротора. Для регулювання кута нахилу сонячної панелі на основі векторної системи регулювання швидкості асинхронного двигуна створимо систему регулювання положення.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						29

## 2.6 Модель асинхронного короткозамкненого двигуна в системі координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора

Рівняння асинхронної машини, записані у термінах узагальненого вектора і представлені в координатній системі, що обертається зі  $\omega_c$ , мають вид [8]:

$$\begin{aligned}\bar{U}_s &= \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s, \\ \bar{U}_r &= \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega)\bar{\Psi}_r, \\ \bar{\Psi}_s &= \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m, \\ \bar{\Psi}_r &= \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r,\end{aligned}$$

де  $\bar{U}_s, \bar{I}_s, \bar{\Psi}_s$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;  $\bar{U}_r, \bar{I}_r, \bar{\Psi}_r$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення ротора;  $R_s, R_r$  – активні опори статора і ротора;  $\omega_c$  – швидкість обертання системи координат;  $\omega$  – швидкість обертання ротора;  $L_s, L_r, L_m$  – індуктивність статора, ротора і взаємна індуктивність статора і ротора відповідно;  $j = \sqrt{-1}$ .

Для виводу рівнянь, за якими будується структурна схема асинхронного двигуна с короткозамкненим ротором, використаємо систему координат  $u, v$ , яка обертається з синхронної швидкістю  $\omega_c$  та орієнтована за вектором потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_r$ . Вісь  $u$  є дійсною віссю, а вісь  $v$  – уявною.

З двох останніх рівнянь системи виразимо вектори потокозчеплення статора  $\bar{\Psi}_s$  та струму ротора  $\bar{I}_r$ :

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s \left( \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r} \right) + \bar{\Psi}_r \frac{L_m}{L_r} = \bar{I}_s L'_s + K_r \bar{\Psi}_r,$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		30

$$\bar{I}_r = K_r \left( \frac{\bar{\Psi}_r}{L_m} - \bar{I}_s \right),$$

де  $K_r = \frac{L_m}{L_r}$  – коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора;  $L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$  –

перехідна індуктивність статора [8].

Виконуючи ряд подальших перетворень, представлених в [4] отримаємо дві системи рівнянь, що описують асинхронний двигун в координатній системі  $u, v$  :

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{ru} &= \frac{U_{ru} T_r + I_{su} L_m}{1 + p T_r} \\ \omega_c &= \omega + \frac{U_{rv} + K_r R_r I_{sv}}{\Psi_{ru}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} U_{su} - K_r U_{ru} &= I_{su} R' (1 + p T'_s) - \omega_c L'_s I_{sv} - \frac{K_r}{T_r} \Psi_{ru} \\ U_{sv} - K_r U_{rv} &= I_{sv} R' (1 + p T'_s) + \omega_c L'_s I_{su} + \omega K_r \Psi_{ru} \end{aligned} \right\},$$

де  $T_r = \frac{L_r}{R_r}$  – стала часу ротора;  $T'_s = \frac{L'_s}{R'}$  – перехідна стала часу статора [1],

$p = \frac{d}{dt}$  – оператор Лапласа, де  $R' = R_s + K_r^2 R_r$  – перехідний опір статора [4].

Рівняння електромагнітного моменту двигуна:

$$M = \frac{3}{2} Z_p K_r \Psi_{ru} I_{sv},$$

де  $Z_p$  – число пар полюсів двигуна.

Рівняння руху системи:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_c,$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		31



де  $J$  – момент інерції двигуна (або сумарний момент інерції системи, зведений до валу двигуна);  $M_c$  – статичний момент на валу двигуна,  $\omega_m$  – механічна швидкість обертання ротора.

На рис. 2.6 представлена структурна схема АД з короткозамкнутим ротором, побудована за отриманими виразами системи координат, орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_r$ .

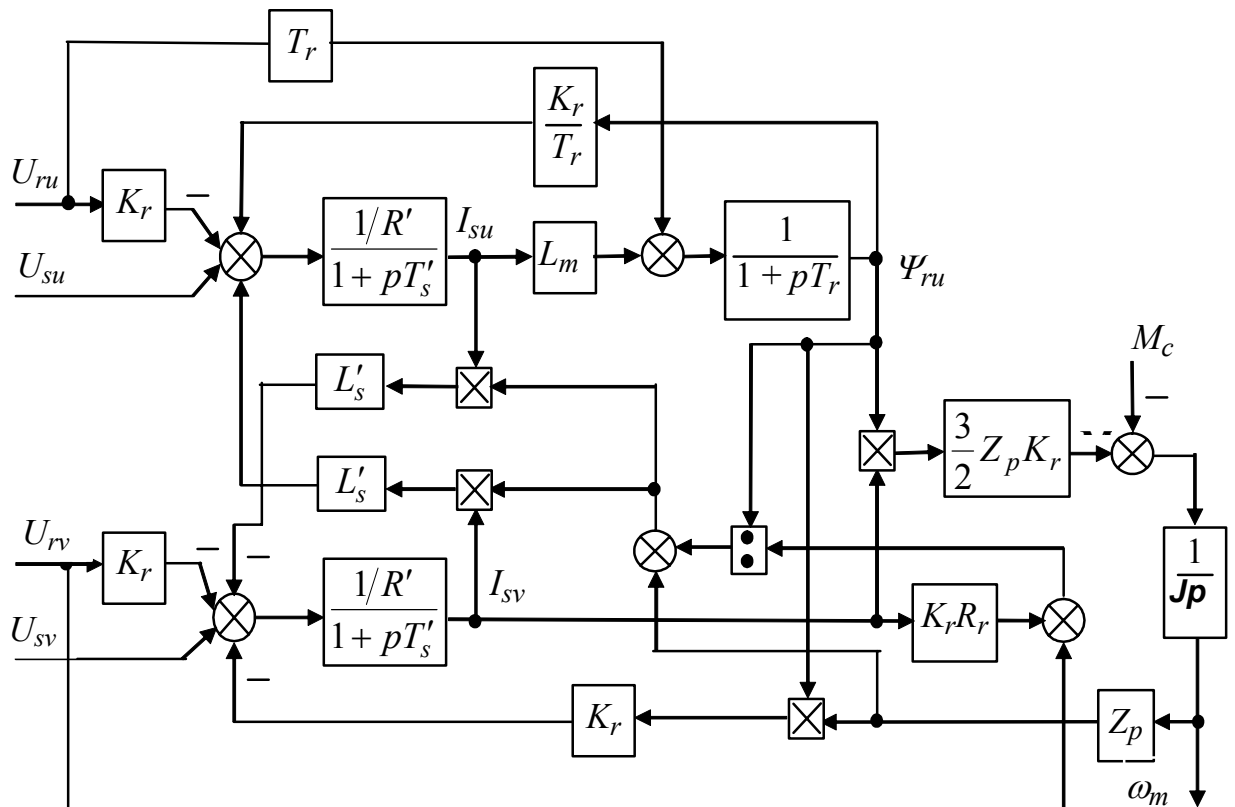


Рисунок 2.4 – Структурна схема АД в системі координат, зв'язаній з вектором потокозчеплення ротора  $\Psi_r$

## 2.7 Синтез системи регулювання швидкості асинхронного двигуна

Всі сучасні системи регулювання швидкості електродвигунів будуються за принципами підлеглого регулювання координат електропривода і характеризуються каскадним розташуванням регуляторів. Кількість регуляторів

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
						32

визначається кількістю регульованих координат (швидкість, струм, момент, положення і т.і.) [5, 8].

На вході регулятора кожного з контурів порівнюються сигнали, пропорційні заданому та дійсному значенню координати контуру, а вихідна напруга регулятора є сигналом завдання для наступного контуру.

Однією з переваг системи є можливість доволі просто обмежувати регульовану координату шляхом обмеження сигналу завдання з виходу попереднього регулятора. Серед недоліків – зниження швидкодії системі з кожним новим контуром вдвічі.

Синтез регуляторів системи здійснюється з середини, від внутрішнього регулятора до зовнішнього. Серед критеріїв оптимізації регуляторів використовують в основному модульний та симетричний критерії оптимізації. Вибір критерію залежить від типу передавальних функцій, що входять до складу контуру, та бажаної перехідної функції контуру.

Структурна схема системи автоматичного регулювання (САР) швидкості АД представлена на рис. 2.7.

САР має два канали регулювання. Канал регулювання потокозчеплення ротора складається з контуру потокозчеплення і підлеглого йому контуру потокоутворюючої складової струму статора (складова  $I_{su}$  за віссю  $u$ ). Канал регулювання швидкості складається з контуру швидкості і підлеглого йому контуру моментоутворюючої складової струму статора (складова  $I_{sv}$  за віссю  $v$ ).

До складу контурів струму зі сторони САР входять регулятор струму та перетворювач частоти ПЧ, представлений аперіодичною ланкою з малою некомпенсованою сталою часу  $T_{\mu}$ . Зовнішні контури складаються з регуляторів швидкості та потокозчеплення відповідно. Інформація о регульованих координатах поступає з датчиків струму  $ДТ$ , швидкості  $ДС$  та потокозчеплення  $Д\psi$ .

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		33

На вході контуру потоку може використовуватись функціональний блок  $\Phi Б$ , реалізуючий функціональну залежність потокозчеплення від швидкості для випадку двозонного регулювання швидкості.

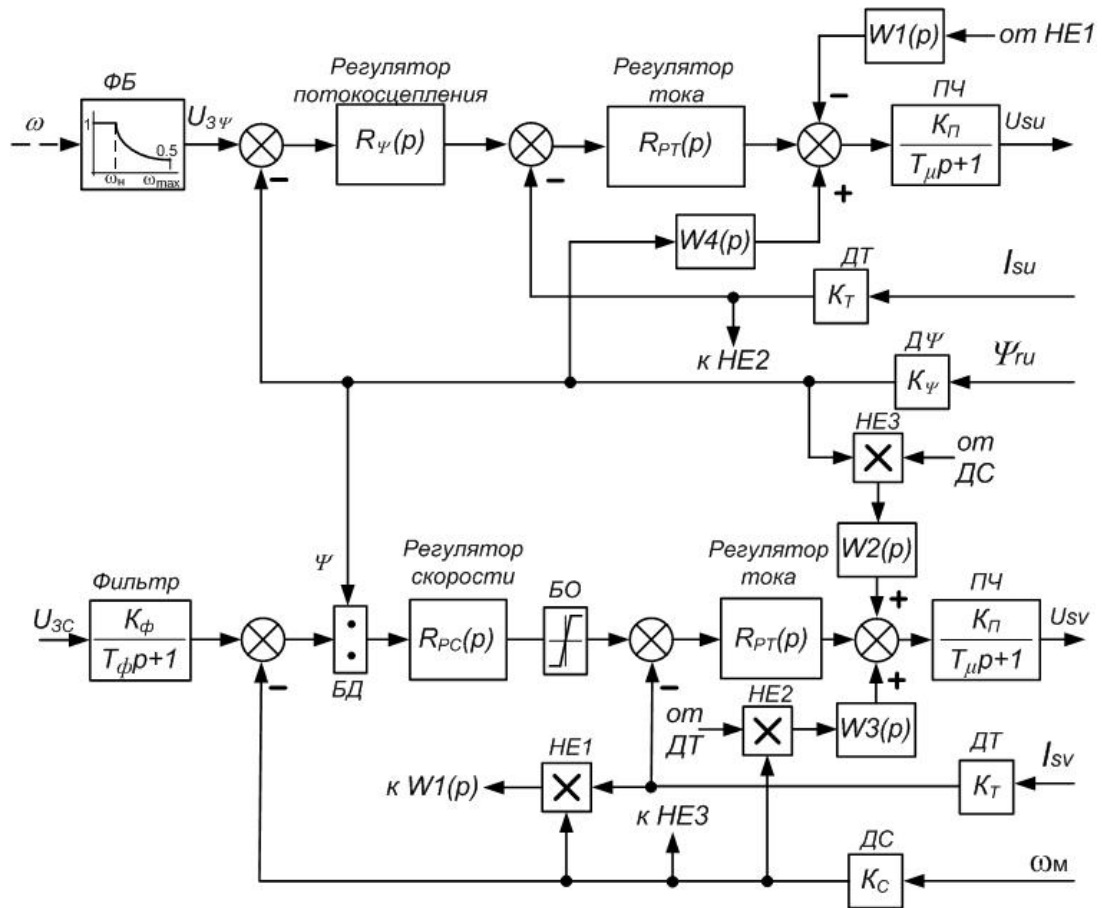


Рисунок 2.7 - Система регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі координат  $u-v$ , орієнтованій за вектором потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_r$ .

Для компенсації нелінійностей та перехресних зв'язків, присутніх в об'єкті керування, в двигуні, використовуються ланки  $W1, W2, W3, W4$  вихідні сигнали яких подаються на вхід ПЧ (за аналогією з компенсацією впливу зворотного зв'язку за ЕРС двигуна в системах постійного струму).

Для синтезу регуляторів визначимо відсутні параметри.

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку:

Підп. і дата
Инв. № дубл.
Зам. Инв. №
Підп. і дата
Инв. № подл.

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

$$K_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,046}{0,0474} = 0,97$$

Перехідна індуктивність статора:

$$L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = 0,0468 - \frac{0,046^2}{0,0474} = 0,0021 \text{ Гн}$$

Перехідний опір статора:

$$R' = R_1 + K_r^2 R_2' = 0,073 + 0,97^2 \times 0,036 = 0,1 \text{ Ом}$$

Стала часу ротора:

$$T_r = \frac{L_r}{R_2'} = \frac{0,0474}{0,036} = 1,32 \text{ с}$$

Перехідна стала часу статора:

$$T'_s = \frac{L'_s}{R'} = \frac{0,0021}{0,1} = 0,021 \text{ с}$$

Коефіцієнт датчика струму розрахуємо з урахуванням подвійного перевантаження за струмом та відносно амплітудного значення фазного струму:

$$K_T = \frac{U_{y \max}}{2\sqrt{2}I_{\phi n}} = \frac{10}{2\sqrt{2} \times 90} = 0,039 \text{ В/А}$$

де  $U_{y \max}$  – максимальна робоча напруга системи керування.

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_C = \frac{U_{y \max}}{\omega_{\max}} = \frac{10}{157} = 0,0063 \text{ Вс/рад}$$

Номінальне потокозчеплення двигуна:

$$\Psi_n = \frac{M_n}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\phi n} \cdot Z_p \cdot K_r} = \frac{372}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 90 \cdot 2 \cdot 0,97} = 1 \text{ Вб}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		35

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$K_{\Psi} = \frac{U_{y \max}}{\Psi_n} = \frac{10}{1} = 10 \text{ В/Вб}$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_{\Pi} = \frac{\sqrt{2}U_{\Phi H}}{U_{y \max}} = \frac{\sqrt{2} \times 194}{10} = 25,55$$

### 2.7.1 Синтез регулятора струму

Замкнений контур регулювання моментотворюючої складової струму представлений на рис. 2.6

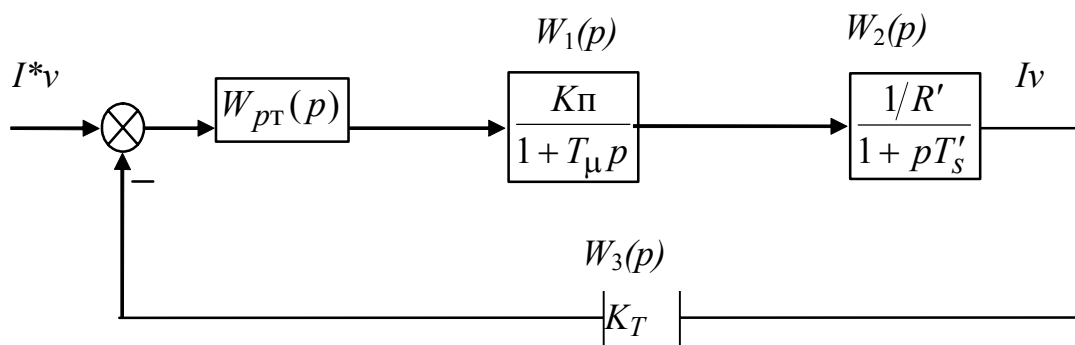


Рисунок 2.6 – Структурна схема контуру регулювання моментотворюючої складової струму

У складі контуру дві аперіодичні ланки. При такій структурі контур оптимізується за модульним критерієм оптимізації. Передаточна функція модульного оптимуму має вид (бажана):

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}$$

Мала стала часу контуру струму включає в себе суму інерційностей в системі, виникаючих при відпрацюванні завдання. До таких затримок відносять сталі часу фільтрів вхідних сигналів струму та напруги, період дискретизації

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. Інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

цифрової системи керування, «мертвий час» в роботі силових ключів і т.і. При синтезі регулятора струму  $T_\mu$  прийнято рівною  $T_\mu = 0,0005$  с.

Передаточну функцію регулятора струму визначимо з виразу:

$$W_{ж}(p) = W_{рТ}(p)W_1(p)W_2(p)W_3(p) = \frac{1}{2T_\mu p(T_\mu p + 1)},$$

Звідки

$$W_{рТ}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{1}{2T_\mu p(T_\mu p + 1)} \frac{(T_\mu p + 1)}{K_{П}} \frac{R'(1 + pT'_s)}{K_T},$$

$$W_{рТ}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{R'(1 + pT'_s)}{2T_\mu p K_{П} K_T}$$

В результаті зроблених перетворень отримано ПІ-регулятор струму з такими коефіцієнтами:

$$W_{рТ}(p) = \frac{R'T'_s}{2T_\mu K_{П} K_T} + \frac{R'}{2T_\mu p K_{П} K_T} = \frac{114,68 \cdot 0,0021}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 4,53} + \frac{114,68}{2 \cdot 0,0005 \cdot 31 \cdot 4,53}$$

$$W_{рТ}(p) = k_{рТп} + k_{рТи} \frac{1}{p} = 1,71 + 816,6 \frac{1}{p}$$

Замкнений контур регулювання потокоутворюючої складової струму аналогічний контуру моментоутворюючої складової струму і має такі ж самі характеристики.

### 2.7.2 Синтез регулятора потокозчеплення ротора

При синтезі передаточної функції регулятора потокозчеплення передаточну функцію замкнутого контуру струму подамо у вигляді:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		37

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_\mu p + 1},$$

де  $K_T$  – коефіцієнт передачі датчика струму,  $T_\mu$  – мала некомпенсована стала часу.

Синтез регулятора поточозчеплення здійснюємо аналогічно синтезу регулятора струму. Структурна схема контуру регулювання поточозчеплення ротора має вид (рис. 2.7):

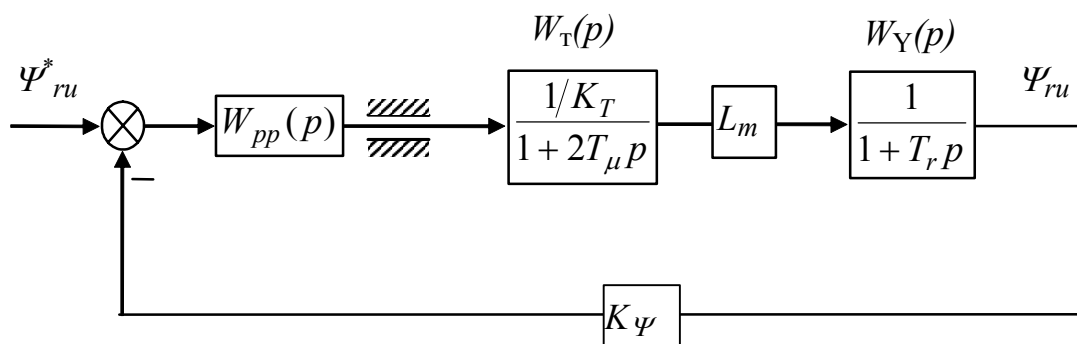


Рисунок 2.7 – Структурна схема контуру регулювання поточозчеплення ротора

Для отримання передаточної функції регулятора поточозчеплення скористаємося модульним критерієм оптимізації, який для контуру поточозчеплення має вид [5, 11]:

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{1}{4T_\mu p(2T_\mu p + 1)}.$$

Отримана передаточна функція ПІ-регулятора поточозчеплення відповідає виразу:

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\psi}.$$

Визначимо коефіцієнти регулятора:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

$$W_{pp}(p) = \frac{K_T(T_r p + 1)}{4T_\mu p L_m K_\Psi p} = \frac{K_T T_r}{4T_\mu L_m K_\Psi} + \frac{K_T}{4T_\mu L_m K_\Psi} \frac{1}{p}$$

$$W_{pp}(p) = \frac{4,53 \cdot 0,0021}{4 \cdot 0,0005 \cdot 22,46 \cdot 1,158} + \frac{4,53}{4 \cdot 0,0005 \cdot 22,46 \cdot 1,158} \frac{1}{p} = 0,18 + 87,08 \frac{1}{p}$$

### 2.7.3. Синтез регулятора швидкості

При синтезі передаточної функції регулятора швидкості передаточна функція замкнутого контуру струму має вид:

$$W_T(p) = \frac{1/K_T}{2T_\mu p + 1}$$

Контур регулювання швидкості зображено на рис. 2.8. Контур складається з аперіодичної та інтегральної ланки. Для отримання передаточної функції ПІ-регулятора швидкості (астатична система) скористуємося симетричним критерієм оптимізації, передаточна функція якого має вид [5, 11]:

$$W_{sop}(p) = \frac{8T_\mu p + 1}{32T_\mu^2 p^2 (2T_\mu p + 1)}$$

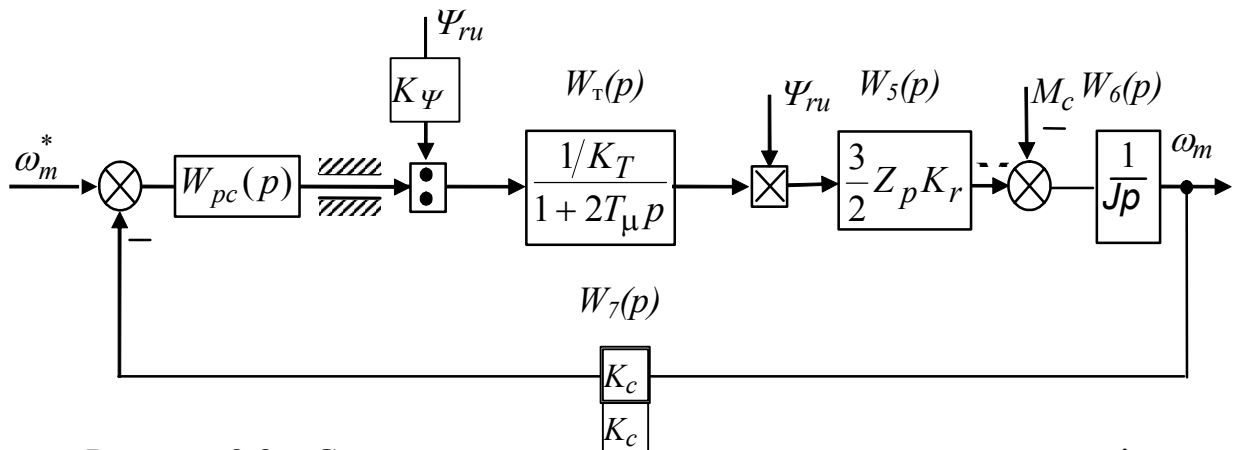


Рисунок 2.8 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------



Прирівняв добуток всіх ланок розімкненого контуру швидкості до передаточної функції симетричного оптимуму, знайдемо передаточну функцію ПІ-регулятора швидкості:

$$W_{ж}(p) = W_{pc}(p)W_T(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p) = \frac{(8T_{\mu}p + 1)}{32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p + 1)},$$

Звідки

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{(8T_{\mu}p + 1)}{32T_{\mu}^2 p^2 (2T_{\mu}p + 1)} \frac{(2T_{\mu}p + 1)K_T J K_{\psi}}{Z_p K_r K_c p^3},$$

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{ж}(p)}{W_m(p)W_5(p)W_6(p)W_7(p)} = \frac{J_S K_T (8T_{\mu}p + 1) K_{\psi}}{48T_{\mu}^2 p Z_p K_r K_c},$$

$$W_{pc}(p) = \frac{J_S K_T 8T_{\mu} K_{\psi}}{48T_{\mu}^2 Z_p K_r K_c} + \frac{J_S K_T K_{\psi}}{48T_{\mu}^2 Z_p K_r K_c} \frac{1}{p}.$$

Для розрахунку коефіцієнтів регулятора струму визначимо зведений до валу двигуна момент інерції системи.

$$J_S = J_D + \frac{J_{СП}}{i^2} = 0,0018 + \frac{26}{1200^2} = 0,00182 \text{ кгм}^2$$

$$W_{pc}(p) = \frac{8 \cdot 0,0005 \cdot 0,00182 \cdot 4,53 \cdot 22,469}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 3 \cdot 0,108 \cdot 0,878} + \frac{0,00182 \cdot 4,53 \cdot 22,46}{48 \cdot 0,0005^2 \cdot 3 \cdot 0,108 \cdot 0,878} \frac{1}{p}$$

$$W_{pc}(p) = 217 + 54245 \frac{1}{p}.$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		40

## 2.7.4 Вибір комплектного перетворювача частоти

Для живлення двигуна вибираємо перетворювач частоти серії АЛТИВАР 930 компанії Schneider Electric

Даний перетворювач має ряд переваг, а саме:

- просте та зручне меню для налаштувань, як за допомогою графічного терміналу, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення;
- широкий діапазон потужностей;
- набір спеціалізованих прикладних функцій;
- наявність зручних інструкцій з експлуатації та рекомендацій з використання.

По даними двигуна(за номінальним струмом та напругою) вибираємо перетворювач частоти з наступними характеристиками (табл. 2.4), а також додаткове обладнання:

Таблиця 2.4

Номінальні дані перетворювача частоти сери АЛТИВАР 930

Тип ПЧ	АТV930HD45N4
Номінальна напруга $U_{ПЧ}$ , В	380-480
Максимальний вихідний струм в усталеному режимі (при 380 В), А	94
Максимальний вихідний струм протягом 60 с, А	141
Вхідний мережений струм, А	104
Повна потужність (при 380 В), кВА	68.5
Перевантажувальна здатність за моментом 60 с (2 с), %	150 (180)

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		41

Перелічимо основні функції ПЧ АЛТИВАР 930 для використання в електроприводі верстатів:

- керування гальмом;
- задатчик (тип кривої розгону та гальмування);
- різні способи зупинки;
- оптимізація регулятора частоти;
- попередньо задані швидкості;
- попереднє намагнічування;
- векторне керування у замкненій / розімкненій системі та інш.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

*ЕП.ПД.18.01.ПЗ*

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

В даному розділі проекту досліджується динаміка системи автоматичного регулювання швидкості електроприводу (САР) в характерних для даного електроприводу режимах роботи. Метою досліджень є перевірка якості перехідних процесів. Для реалізації математичної моделі САР використовується математичний пакет MATLAB, додаток Simulink.

Для електроприводу головного руху найбільш важким режимом є розгін, рух зі сталою швидкістю і гальмування під навантаженням. Так само відмінною особливістю є робота завжди як з реактивним так і з активним моментом опору і спільно з гальмівним пристроєм.

Модель САР швидкості двигуна переміщення візка представлена на рис. 3.1. Вона складається з підсистем  $Wz$ ,  $Zadatchik$ ,  $Mc$ ,  $AD$ ,  $Control\ System$ .

Підсистема  $AD$  реалізує модель асинхронного двигуна в системі координат, орієнтованої по вектору потокозчеплення ротора і в розгорнутому вигляді представлена на рис. 3.2.

Підсистема  $Control\ System$  містить в собі регулятори струму, швидкості та потокозчеплення. Також в ній реалізовані ланки, що описують перетворювач частоти і датчики регульованих координат. Модель системи представлена на рис. 3.3

Розгорнуті схеми блоків регуляторів представлені на рис. 3.4-3.6. Регулятор швидкості - на рис. 3.4, струму - на рис. 3.5 і потокозчеплення - на рис. 3.6 відповідно.

У підсистемі  $Wz$  реалізується завдання на швидкість електроприводу, а в підсистемі  $Mc$  момент статичного навантаження. Сигнали формуються в функції часу.

У моделі розгін здійснюється від задатчика інтенсивності, який реалізований в блоці  $Zadatchik$  і представлений на рис. 3.7.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		43

№ в. № подл.	Підп. і дата	Зам. № в. №	№ в. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

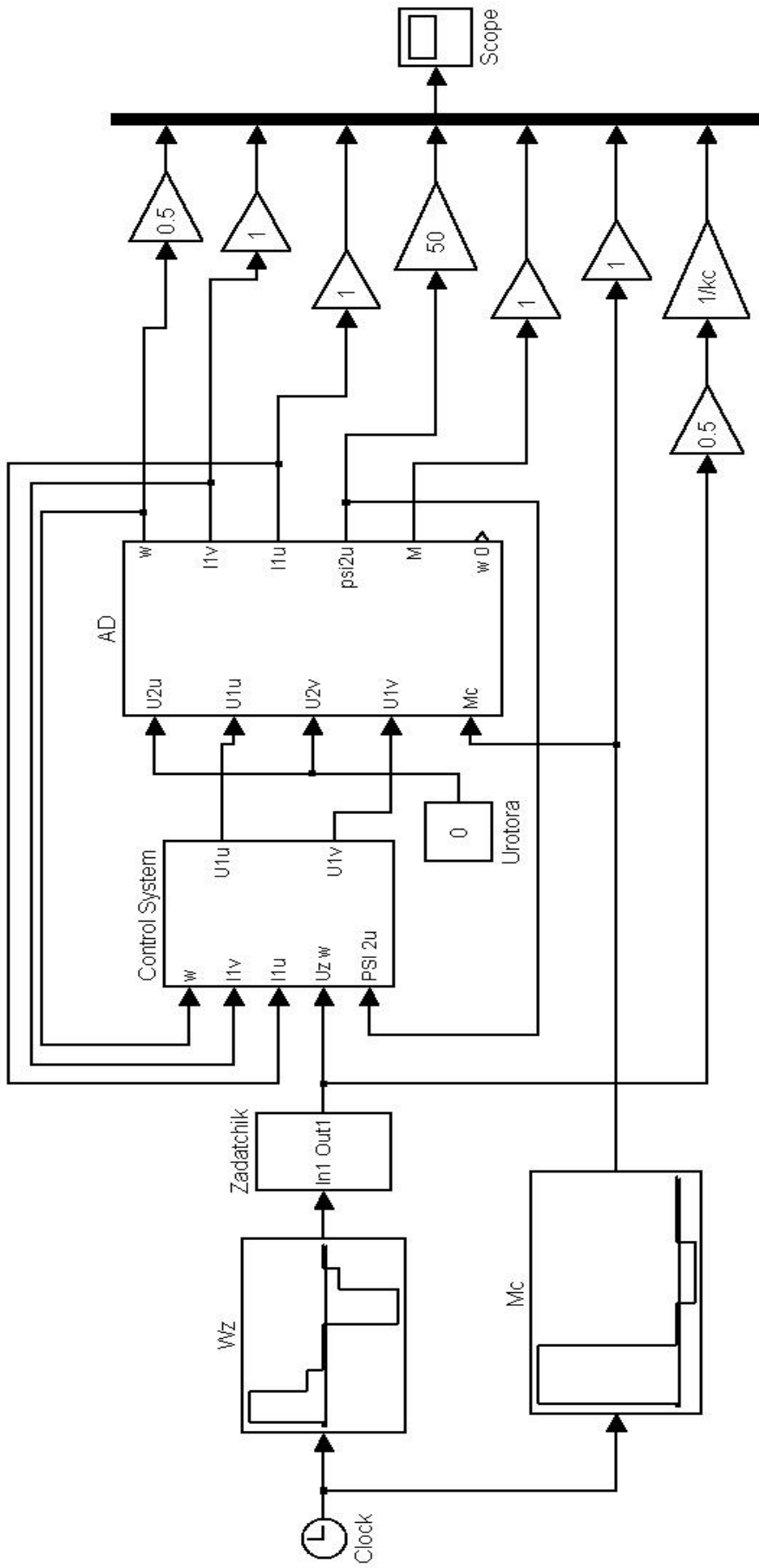


Рисунок 3.1 – Схема моделі САР швидкості двигуна головного руху в пакеті МАТЛАБ

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

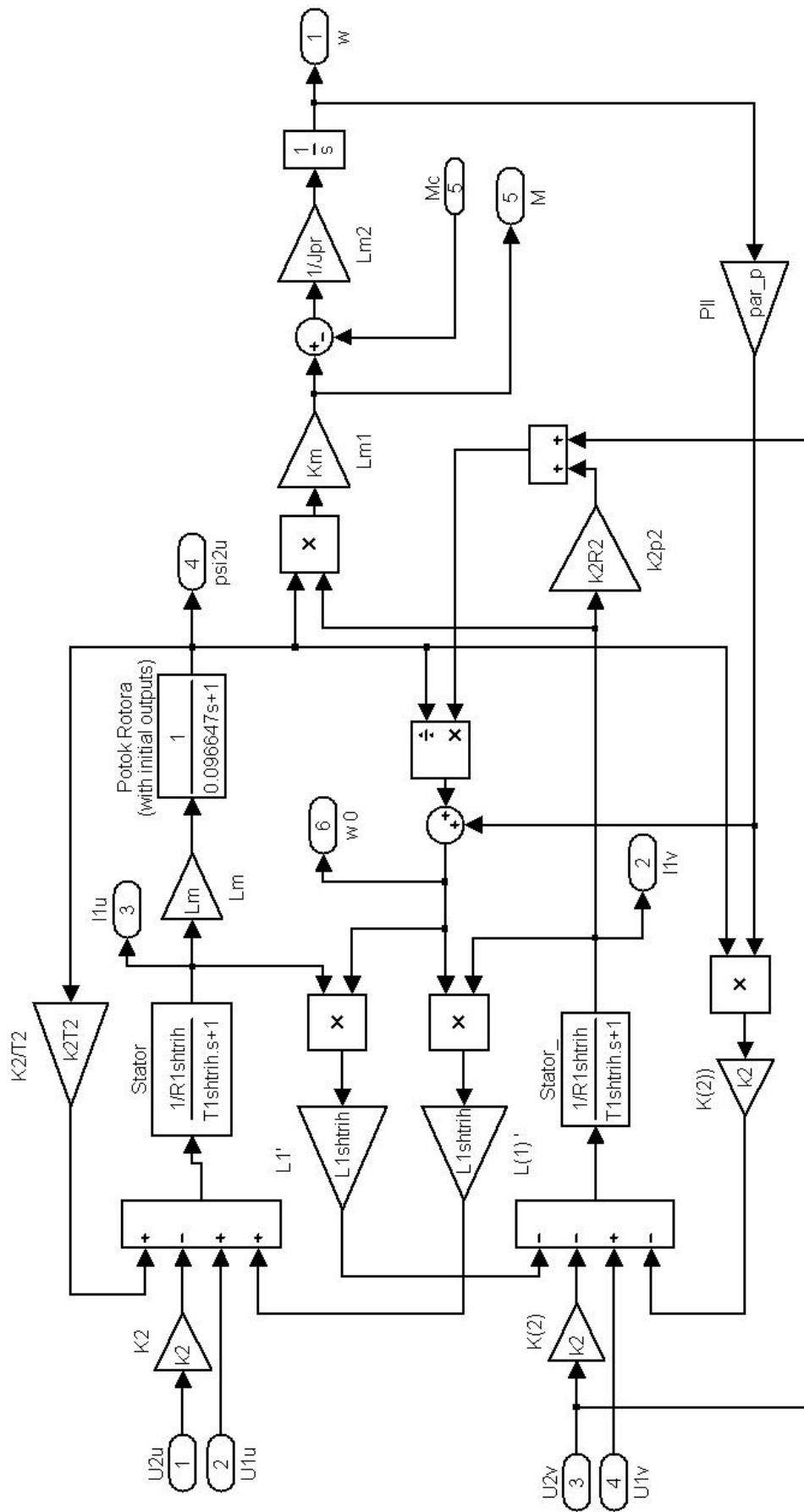


Рисунок 3.2 – Схема моделі асинхронного двигуна в пакеті МАТЛАБ. Підсистема АД.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

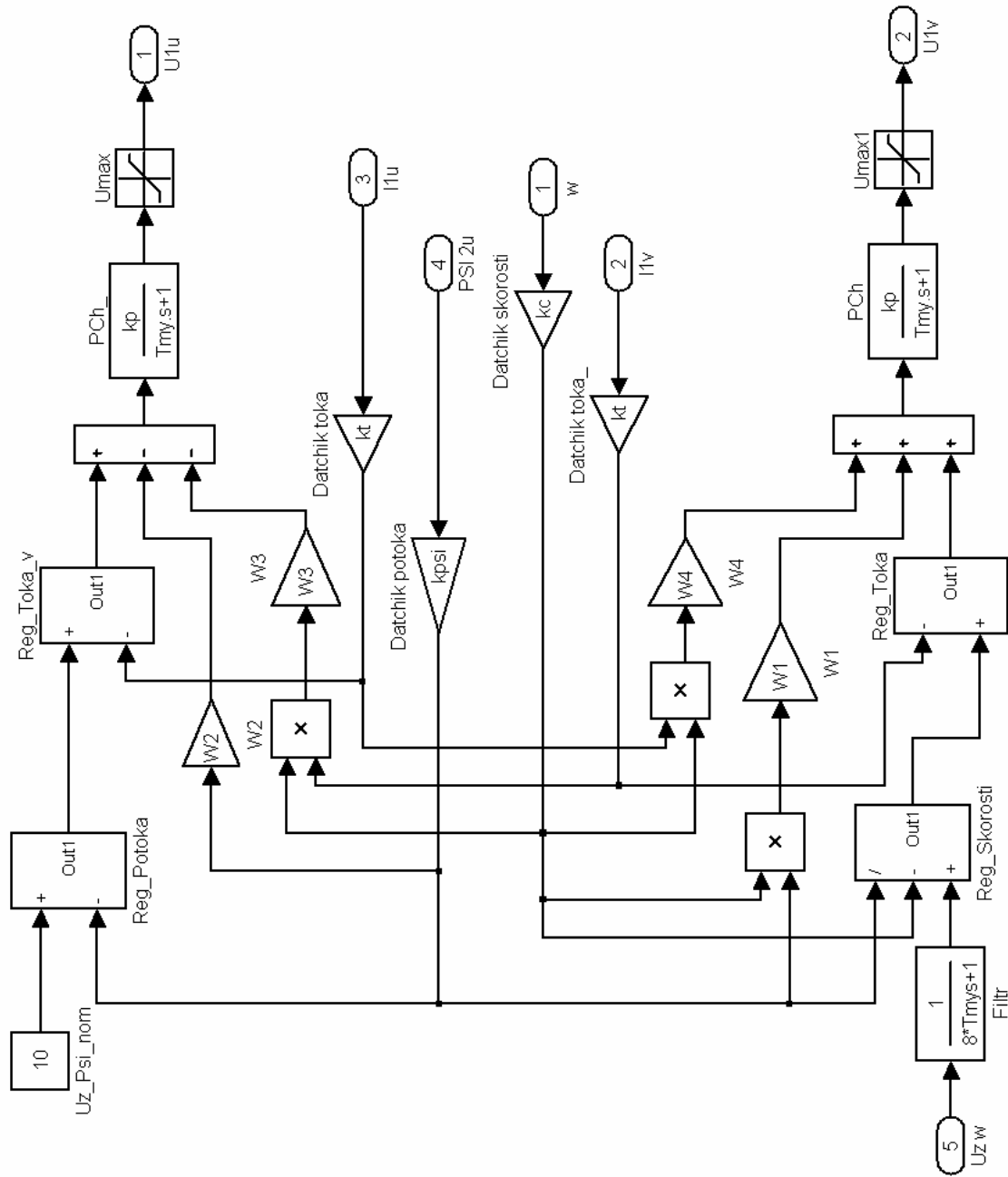


Рисунок 3.3 – Схема моделі САР швидкості в пакеті МАТЛАБ. Підсистема Control System.

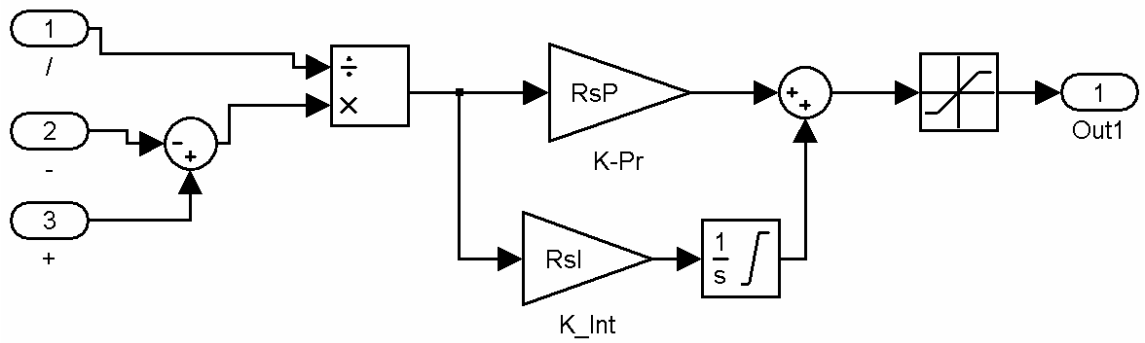


Рисунок 3.4 – Модель регулятора швидкості

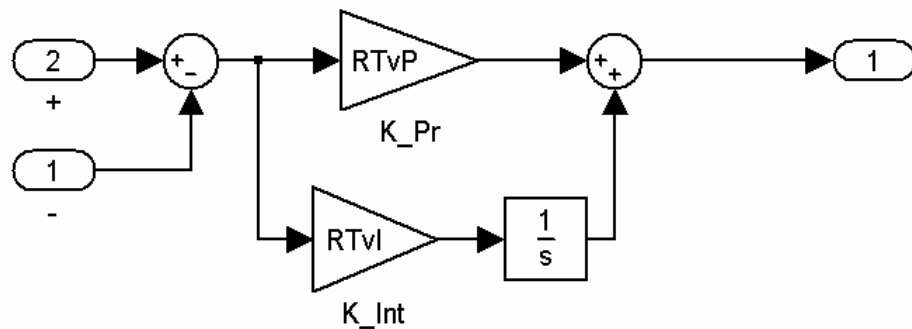


Рисунок 3.5 – Модель регулятора струму

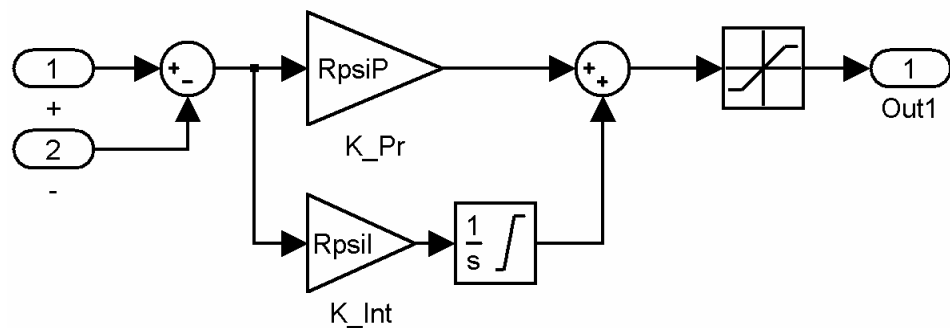


Рисунок 3.6 – Модель регулятора потокозчеплення

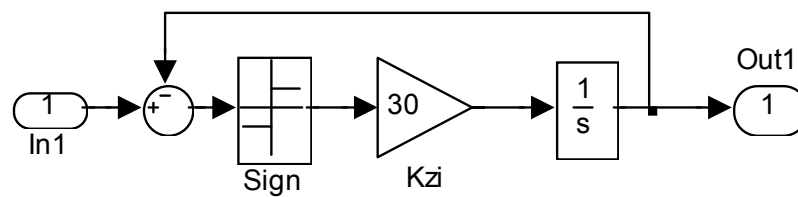


Рисунок 3.7 – Задатчик інтенсивності

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ



Результати моделювання роботи механізму головного руху представлені на рис. 3.8. На графіку представлені сигнали швидкості двигуна  $\omega$ , потокоутворюючого  $I_u$  і моментоутворюючого струму  $I_v$ , моменту двигуна  $M_{dv}$ , статичного моменту навантаження  $M_c$  і потокозчеплення ротора  $\Psi$ .

На початковому етапі роботи здійснюється намагнічування двигуна. САР відпрацьовує завдання на номінальне потокозчеплення ротора. Після встановлення потокозчеплення подається завдання на рух вперед. Подача статичного моменту здійснюється спільно з подачею команди на рух. Система розганяється під дією задатчика інтенсивності. Розгін від задатчика інтенсивності дозволяє знизити динамічні навантаження в приводі, обмежити прискорення на заданому рівні. Після досягнення заданої швидкості відбувається обертання з постійною швидкістю. Подається команда на зниження швидкості і привід переходить на знижену швидкість обертання. Після команди на зупинку система відпрацьовує плавне гальмування і при нульових швидкостях відбувається стрибкоподібне зниження статичного моменту.

Якість перехідних процесів відповідає прийнятим раніше критеріям оптимізації.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		48

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

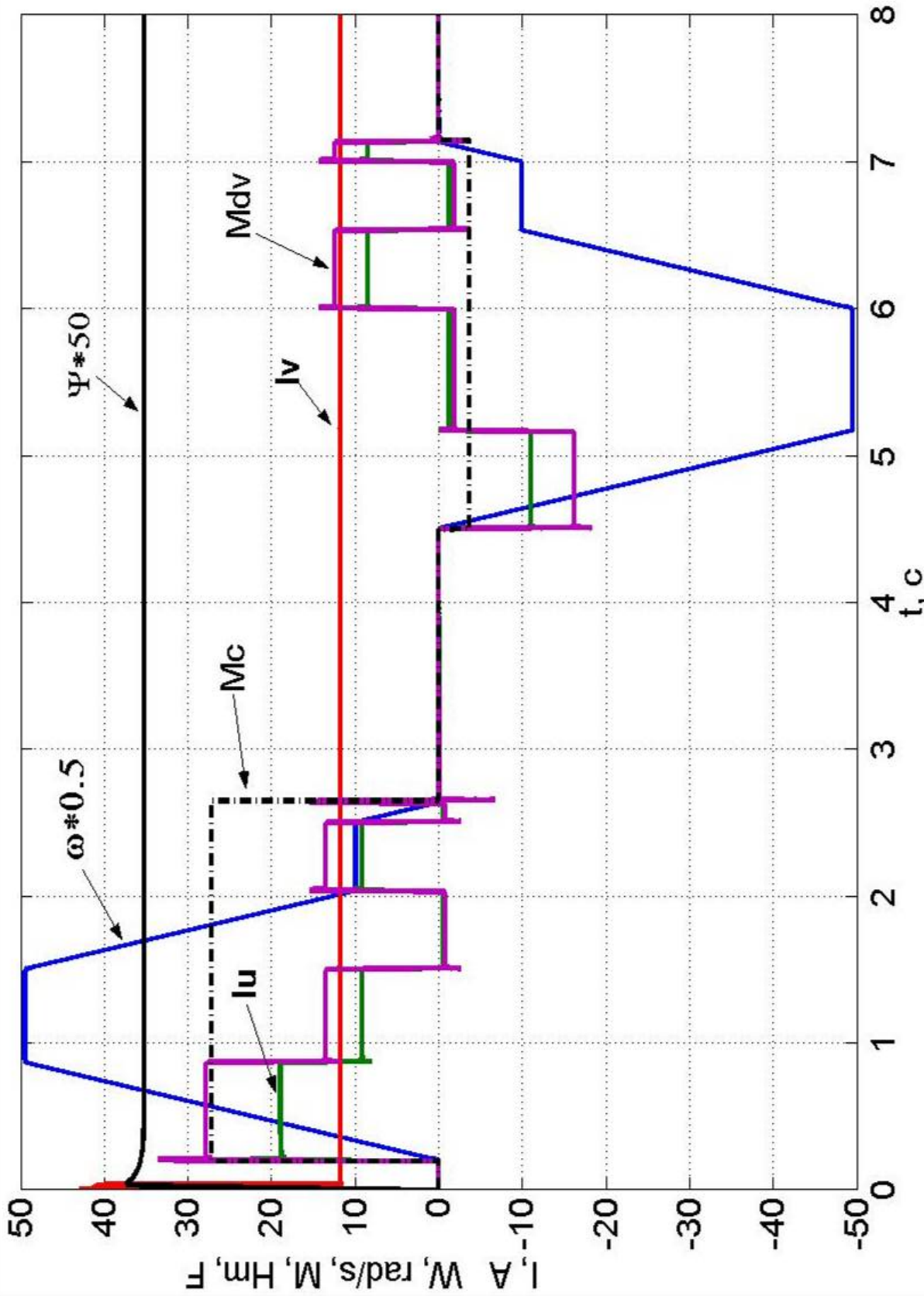


Рисунок 3.8 – Графіки перехідних процесів

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### Вступ

В даному дипломному проекті розглядається питання модернізації системи ЧПУ для токарного верстата моделі РТ755Ф311.

У зв'язку з цим в дипломному проекті розглянуті питання охорони праці щодо робочого місця верстата з ЧПК, а саме - аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників на робочому місці, захист від поразки електричним струмом при роботі в приміщенні мікропроцесорної техніки. І відповідно до цього заходи щодо їх усунення, узагальнені питання пожежної профілактики.

Проект виконаний відповідно до «Загальних правил безпеки для підприємств і організацій металургійної промисловості».

Відповідно до Статті 155 “Жодне підприємство, цех, ділянка, виробництво не можуть бути прийняті і введені в експлуатацію, якщо на них не створені безпечні і нешкідливі умови праці”, і Статтею 154 в якій говориться, що: “Проектування виробничих об'єктів, розробка нових технологій, засобів виробництва, засобів колективного та індивідуального захисту працюючих повинні проводитися з урахуванням вимог по охороні праці”.

### 4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників в робочій зоні верстата з ЧПУ

Токарний верстат моделі РТ755Ф3-011 знаходиться в цеху №2. Характеристика виробничого приміщення по категорії виконуваних обслуговуючим персоналом в них робіт, залежно від витрат енергії організму, приведена в табл.4.1.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		50

Категорія робіт, виконуваних обслуговуючим персоналом,  
за енерговитратами організму

Робота	Категорія роботи	Енерговитрати організму (витрата енергії при виконанні роботи) Дж/с (ккал/годину)	Характеристика роботи
Легка Фізична	Іб	До 172	Робота сидячи, стоячи або пов'язана з ходьбою, але яка не вимагає систематичної фізичної напруги або підняття і перенесення тяжкості.

Оператори верстатів, електромонтери, слюсарі, які обслуговують дане устаткування та інші працівники в робочій зоні верстата з ЧПК зустрічаються з дією фізично небезпечних та шкідливих виробничих чинників, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, відсутність або недолік природного світла, недостатня освітленість робочої зони, електричний струм.

Основними джерелами теплоти в приміщеннях ділянки верстату з ЧПУ є:  
мікропроцесорна техніка;  
електродвигуни приводів і допоміжне устаткування;  
прилади освітлення.

Для робочої зони верстата з ЧПК характерний наявність всіх видів шумів. Фактичні значення рівнів звукового тиску в робочій зоні верстата з ЧПК приведені в табл.4.2.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		51

Таблиця 4.2.

Допустимі і фактичні рівні звукового тиску в робочій зоні  
верстата з ЧПК

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц								Рівень звуку і еквівалентний тиск дБА	Фактичний тиск дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
91	82	75	72	70	67	65	63	75	70-72

Вібрація, яка діє на персонал, відноситься до категорії III ГОСТ 12.1.012-78. Вібрація діюча на організм людини викликає наступні дії: порушення центральної нервової системи, захворювання судин і суглобів, головні болі, запаморочення. Вібрація в приміщенні верстата ЧПУ не повинна перевищувати по частоті 25 Гц, і по амплітуді 0.1 мм.

Приміщення верстата з ЧПК згідно вимогам «Правил пристрою електроустановок», «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» відноситься до приміщення з особливою небезпекою, оскільки є струмопровідний пил оксидів заліза, вологості і можливість одночасного дотику людини до тих, що мають з'єднання із землею металевим конструкціям технологічного устаткування з одного боку і до металевих дротів електроустановок або токоведучим частин. Виходячи з вимог ПУЕ наявність пилу в приміщеннях ділянки верстатів з ЧПК не повинна перевищувати – 2 мг/м<sup>3</sup>.

Характеристика приміщень по розряду зорової роботи, виконуваної персоналом представлена в табл.4.3, яка приведена згідно СНП II-4-79.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
						52

Таблиця 4.3.

Характеристика приміщень по розряду зорової роботи. Значення фактичної і необхідної освітленості

Приміщення	Розряд складності роботи	Освітленість, лк	
		Фактична	Необхідна
Приміщення верстата з ЧПУ	III Г	300	400

#### 4.2. Заходи щодо зниження шкідливих чинників і небезпек на робочому місці оператора верстата з ЧПК

Для аналізу шкідливих і небезпечних виробничих чинників, існуючих в робочій зоні оператора верстата з ЧПК, необхідно здійснити наступні заходи:

Удосконалення системи захисту від шуму і вібрації, а також надмірних тепловиділень в приміщенні верстата з ЧПК;

Розглянути засоби індивідуального захисту і спецодягу працюючого персоналу;

Розробити протипожежні заходи в приміщенні верстата з ЧПК;

Провести реконструкцію системи штучного освітлення;

Розрахувати параметри занулення верстата.

##### 4.2.1. Заходи щодо зниження шуму, вібрації і надмірних тепловиділень

Існують методи які здійснюють захист від шуму, створений на робочих місцях: зменшенням шуму в джерелі; застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту; раціональним плануванням і акустичною обробкою робочих приміщень.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		53

Найраціональнішим є зменшення шуму в джерелі або ж зміною спрямованості випромінювання. В тих випадках, коли джерело шуму або приміщення можуть бути виділено захищаючими конструкціями, слід застосовувати звукоізоляцію. В даному проекті передбачається установка шумопоглинаючого кожуха на гідростанцію токарного верстата. Цей метод заснований на віддзеркаленні звукової хвилі, падаючої на огорожу.

Для захисту від надмірного тепловиділення передбачається система кондиціонування і вентиляції. В приміщенні верстата з ЧПК застосовують загальнообмінну штучну вентиляцію в поєднанні з місцевою, як з штучною, так і природної. Загальнообмінна вентиляція використовується для забезпечення в приміщенні верстата з ЧПК відповідних мікрокліматичних параметрів; місцева - для охолодження власне ЧПК і допоміжних пристроїв.

#### **4.2.2. Забезпеченість працюючих засобами індивідуального захисту і спецодягом**

Засоби індивідуального захисту і спецодяг служать для захисту робітників від шкідливих і небезпечних чинників виробничого процесу. Працюючі на ділянці верстатів з ЧПК забезпечені ними згідно штатному розкладу на підставі «Типових галузевих норм безкоштовної видачі робітникам і службовців спецодягу, спец взуття і інших засобів індивідуального захисту гірської і металургійної промисловості».

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		54

Таблиця 4.4.

Річна потреба в засобах індивідуального захисту на ділянці верстатів з ЧПК.

Професія або посада	Кількість чол.	Спецодяг, спеціальне взуття і інші ЗІЗ.	Термін використання, міс.	Загальна кількість в рік
1 1. Оператор верстата з ЧПУ	1	Костюм бавовняно-паперовий, черевики шкіряні.	12 12	1 1
2 2. Дежурний слюсар	3 1	4 Костюм бавовняно-паперовий, 5 Черевики шкіряні.	6 7 12 8 12	9 10 1 11 1
12 3. Черговий електромонтер по ремонту, обслуговуван.	13 2	14 Костюм бавовняно-паперовий, 15 черевики шкіряні.	16 17 12 18 12	19 20 2 21 2
22 4. Налагоджує технологічного устаткування	23 1	24 Костюм бавовняно-паперовий, 25 черевики шкіряні. 26	27 12 28 12	29 1 30 1

#### 4.2.3. Пожежна профілактика

Пожежна безпека об'єкту забезпечується системою запобігання пожежі, системою пожежного захисту і заходами організаційного характеру. За всіх умов повинна бути забезпечена пожежна безпека об'єкту і безпека людей.

Пожежа в приміщенні верстата з ЧПУ може виникнути в результаті:

спалаху електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих, коротких замикань;

спалахи паливно-мастильних матеріалів при попаданні в них іскри електричного або механічного походження.

Для виключення і зниження можливості пожежі передбачаються наступні заходи:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		55



Електроустаткування забезпечене тепловими реле, плавкими запобіжниками, автоматами струмового захисту, що розмикають ланцюг у разі їх спрацьовування;

На гідравлічній станції і розводці не допускаються витoki масла, шляхом своєчасного їх усунення.

Згідно «норм первинних засобів пожежегасіння для підприємств і організацій системи міністерства металургії» [15] на ділянці верстатів з ЧПК передбачені первинні засоби пожежегасіння, розрахунок приведено в табл.4.5.

Таблиця 4.5

Забезпечення приміщень засобами пожежегасінні.

Категорія приміщення	Гранична площа, що захищається, м <sup>2</sup>	Клас пожежі	Пінна станція пожежегасінні	Порошкові вогнегасники місткістю, л			Хладонові вогнегасники ОХ - 2(3)	Вуглекислотні вогнегасники, л	
				ОП-2	ОП-5	ОП-10		ОУ-2(3)	ОУ-(8)
	800	В	1	-	2	1	-	-	-
	1800	Е	-	2	2	1	1	4	2

**4.3. Розрахунок занулення верстата з ЧПК**

Вихідні дані:

Номинальна напруга верстата – 380 В;

Номинальна потужність верстата – 58 кВт;

Номинальна потужність живлячого трансформатора – 63 кВа;

Опір обмоток живлячого трансформатора – 0,76 Ом

Розрахункова формула струму однофазного короткого замикання для дротів прокладених в сталевій трубі:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + R_\phi + R_n}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						56

Визначаємо номінальний струм двигуна:

$$I_k = \frac{S_{дв}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{58000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 88,23, \text{ А};$$

де  $S_{дв}$  – номінальна потужність двигунів верстата, Вт;

$U_{л}$  – лінійна напруга живлячого трансформатора, В.

Знаходимо номінальний струм плавкої вставки запобіжника:

$$I_{п} = \frac{I_{двп}}{2,5} = \frac{617,6}{2,5} = 247, \text{ А};$$

де  $I_{двп} = (5-8)i_{дин} = 7 \cdot I_{двк} = 7 \cdot 88,23 = 617,6, \text{ А}$  – пусковий струм двигуна.

З ряду стандартних значень по ПУЕ приймаємо:

$$I_{п} = 260, \text{ А}.$$

Виходячи із номінального струму двигуна визначаємо по ПУЕ перетин фазних провідників:

$$S_{\phi} = 120, \text{ мм}^2.$$

Питомий опір міді:

$$c = 0,018, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}^2.$$

Опір фазного кабелю:

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot l}{S_{\phi}} = \frac{0,018 \cdot 200}{120} = 0,03, \text{ Ом},$$

де  $l = 200, \text{ м}$  – довжина фазного кабелю.

Перетин нульового захисного провідника, виходячи з умови, що фазний і нульовий провідники виконані з міді, то:

$$X_{\phi} = X_{н} = 0, \text{ Ом/км};$$

$$S_{н} = 0,5 \cdot S_{\phi} = 0,5 \cdot 120 = 60, \text{ мм}^2.$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		57

Вибираємо найбільший ближній перетин нульового захисного провідника із стандартного ряду значень по ПУЕ:

$$S_H = 70, \text{ мм}^2.$$

Опір нульового захисного кабелю:

$$R_H = \frac{\rho \cdot l}{S_H} = \frac{0,018 \cdot 100}{70} = 0,026, \text{ Ом};$$

де  $l = 100, \text{ м}$  – довжина нульового захисного кабелю.

Розрахункова формула струму однофазного короткого замикання для кабелів прокладених в сталевій трубі:

$$I_k = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + R_\phi + R_H} = \frac{380}{\frac{0,76}{3} + 0,03 + 0,026} = 1230, \text{ А}.$$

Перевірка струму однофазного короткого замикання проводиться по формулі:

$$K \cdot I_{\text{двн}} \leq I_k ;$$

$$K \cdot I_{\text{двн}} = 1,25 \cdot 88,23 = 110,3, \text{ А};$$

де  $K$  – коефіцієнт кратності струму короткого замикання для автоматів з номінальним струмом більшим за 100 А.

Звідси:

$$110,3 \leq 1230$$

Інв. № подл.	Підп. і дата
Зам. Інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						58

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Головною метою даного розділу є визначення капітальних та експлуатаційних витрат на впровадження проектного варіанту системи електропривода токарного верстату.

Об'єктом проектування є система електропривода на основі асинхронного двигуна серії 1PH7 та перетворювача частоти ALTIVAR фірми SCHNEDER.

До впровадження проектного варіанту в якості приводного двигуна використовувався двигун постійного струму з електромагнітним збудженням. Розрахунки в спеціальній частині проекту показали доцільність використання сучасної системи електропривода перетворювач частоти - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ПЧ-АД).

Використання такої системи електропривода дозволить дещо зменшити габаритні розміри системи. Також це дозволить підвищити надійність експлуатації устаткування, зменшити кількість ремонтів та час на додаткове обслуговування, зменшити споживання електричної енергії.

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати – це грошові ресурси, призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, які підлягають амортизації.

Капітальні витрати на впровадження проектного варіанта визначаються наступним чином:

$$K_{np} = K_{об} (\sum C_i) + K_{тр} + K_{мн} + K_{пр}$$

де  $K_{об}$  – вартість придбаного обладнання, грн;

$K_{тр}$  – транспортно - заготівельні та складські витрати, грн;

$K_{мн}$  – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн;

$K_{пр}$  – інші одноразові вкладення грошей.

Транспортно-заготівельні витрати включені у вартість електрообладнання, так як фірма – продавець здійснює його доставку відповідно до договору.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		59

Демонтажні та монтажно-налагоджувальні роботи здійснюються на підприємстві штатними електромеханіками та розраховуються відповідно до формули:

$$Z_{m(n)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_d \times K_{cm} \times K_{np}$$

де  $i = 4$  – розряд робочих, що здійснюють монтажно – налагоджувальні роботи;

$C_i = 2$  чол. – чисельність робочих 4-го розряду задіяних у монтажі;

$a_i = 30,5$  грн. – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер 4-го розряду);

$t_i = 16$  год. – час на виконання наладки;

$K_d = 1,15$  – коефіцієнт доплат;

$K_{cm} = 1,22$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{np} = 1,05$  – коефіцієнт, що враховує непередбачені витрати.

Вартість монтажних робіт:

$$Z_m = (2 \times 16 \times 30,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 1437,8 \text{ грн.}$$

Вартість демонтажних робіт ( $t_d = 8$  год. – час на здійснення демонтажу):

$$Z_n = (2 \times 8 \times 50,5) \times 1,15 \times 1,22 \times 1,05 = 1190,31 \text{ грн.}$$

Разом:

$$Z_{m(n)} = Z_n + Z_m = 1190,31 + 2380,61 = 3570,92 \text{ грн.}$$

Проектні капіталовкладення в обладнання та монтажно-налагоджувальні роботи прийняті на основі цін прейскуранта на електрообладнання фірми “SDA Автоматизація”, (м. Дніпро, Україна) від 01.04.18.

Розрахунок капітальних витрат подамо в вигляді таблиці капітальних витрат за розділами (табл. 5.1).

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		60

## Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування розділів	Проектний варіант, грн.
1.	Електрообладнання: Двигун асинхронний серії 1PH7 Електропривод SINAMICS S120 Дросель мережевий Вимикач автоматичний Контактор Запобіжник швидкодіючий (3 шт.)  Разом	137140,00 123150,0 29918,5 8250,0 5067,80 2560,70  306087,00
2.	Витрати на монтаж та наладку	1437,8
3.	Демонтажні роботи	1190,31
	РАЗОМ	308716,0

Таким чином, капітальні витрати на впровадження проектного варіанту складають:

$$K_{np} = 306087,0 + 1437,8 + 1190,31 = 308716,0 \text{ грн.}$$

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкту проектування за певний період, виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат за електротехнічним обладнанням відносяться :

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання ( $C_m$ );
- вартість електроенергії, спожитої об'єктом проектування ( $C_э$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_э, \text{ грн.}$$

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Так як в процесі впровадження проектного варіанту не планується змінювати чисельність обслуговуючого персоналу, то фонд заробітної плати не змінюється, тому розрахунки річного фонду заробітної плати та відрахувань на соціальні заходи не проводяться.

$$C = Ca + Cm + Cэ, \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться за проектним варіантом.

### 5.2.1 Амортизаційні відрахування

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів та нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат.

Обладнання, що встановлюється, відноситься до 4 групи основних фондів – машини та устаткування з мінімальним строком експлуатації 5 років.

Відсоток амортизаційних відрахувань визначаємо прямолінійним методом – пропорційним розподілом суми витрат на весь строк служби:

$$Ha = \frac{1}{Tn} \times 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%,$$

Оскільки, проектний варіант розглядається для впровадження, ліквідаційна вартість основних засобів дорівнює 0,0 грн.

$$Ca = Knp * Ha$$

$$Ca = 308716,0 \times 20\% = 61744,0 \text{ грн}$$

### 5.2.2 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Кількість спожитої за рік електроенергії в проектному варіанті розраховується за формулою:

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		62

$$W_2 = N_y \times \Phi_2 \times K_{инт} / КПД$$

$N_y = 39$  кВт – встановлена потужність обладнання в проектному варіанті;

$K_{инт} = 0,8$  – інтегральний коефіцієнт використання потужності;

$КПД = 0,92$  – коефіцієнт корисної дії електропривода в проектному варіанті.

$\Phi_2$  – річний фонд робочого часу визначаємо за формулою:

$$\Phi_2 = (D_k - D_{пр} - D_v) \times T_{см}, \text{ год.},$$

$$\Phi_2 = (365 - 103 - 12) \times 16 = 4000 \text{ год}$$

де  $D_k$  – кількість календарних днів в році, 365 днів;

$D_{пр}$  – кількість святкових днів в році, 12 днів;

$D_v$  – кількість вихідних днів в році, 103 дні;

$T_{см}$  – номінальний час роботи обладнання за рік, 16 год., робота здійснюється у дві робочі зміни.

$$W_{2п} = 39 \times 4000 \times 0,8 / 0,92 = 135652,2 \text{ (кВт·рік)}$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року, визначається виходячи з його встановленої потужності та річного фонду робочого часу об'єкта за формулою:

$$C_э = 1,2 W_2 \times Ц_э.$$

Вартість електроенергії, спожитої об'єктом на потязі року:

$$C_{эп} = 135652,2 \times 1,86 \times 1,2 = 302776,0 \text{ грн}$$

де  $Ц_э$  - тариф 1 кВт\*год. електроенергії для споживачів 1-го класу 1-ї групи, за даними «Дніпрообленерго» станом на 01.05.2018 становить 1,86 грн/кВт\*год.

Підп. і дата	
Инв. № дубл.	
Зам. Инв. №	
Підп. і дата	
Инв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		63



## Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електротехнічного обладнання складають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робочим и т.д. Розраховуються за формулою:

$$Cm = \sum_{i=1}^n \left( h_i \cdot t_{1i} \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right), \text{ грн,}$$

де  $n$  – число приладів, що підлягають ремонту;

- $h = 30,5$  грн/год., – годинна тарифна ставка робочих (електромонтер четвертого розряду), виконуючих ремонт;
- $t_1$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності от виду ремонту, год/од;
- $m$  – кількість ремонтів за рік;
- $R_{\Sigma} = 2,5$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання;
- $S$  – вартість однотипних замінюваних елементів, грн;
- $\Pi$  – кількість однотипних замінюваних елементів;
- $T$  – середній термін служби деталей даного типу, год;
- $T_{\phi} = 4000$  ч, – кількість годин роботи електрообладнання за рік.

В якості запасних частин і матеріалів виберемо контактор в кількості 1 шт. та швидкодіючі запобіжники кількістю 3 шт./набір.

Таблиця 5.2

### Витрати на технічне обслуговування и ремонт

	h	t1	m	RΣ	S1	Π1	T1	S2	Π2	T2	Tφ	Ст1	Ст2	Ст
Проектний	30,5	3	2	2.5	1457,5	1	1000	2267,8	1	2000	4000	6287,5	4993,1	11280,6

Підп. і дата	Підп. і дата
Зам. № дубл.	Зам. №
№ дубл.	№
№ подл.	№

Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

ЕП.ПД.18.01.ПЗ

Таким чином, річні експлуатаційні витрати для проектного варіанта складуть:

$$C_{np} = 61744,0 + 302776,0 + 11280,6 = 375800,6 \text{ грн};$$

За результатами проведених розрахунків визначена сума капітальних та експлуатаційних витрат. Сума капітальних затрат склала 308716,0 грн. Сума експлуатаційних витрат склала 375800,6 грн. Основну частину в експлуатаційних витратах складають витрати, пов'язані з оплатою електроенергії.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Зам. Інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
						65
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті розроблено привід головного руху спеціального токарного верстата РТ755Ф3-11.

Вибрано двигун 1PH7184-2ED03, комплектний перетворювач частоти ATV930HD45N4. Для обробки типової деталі розраховані і побудовані діаграми навантажень.

В розділі «Автоматизований електропривод» розраховані параметри системи автоматичного регулювання, на основі цих даних була розроблена модель векторного електропривода змінного струму, що описується в розділі «Динаміка електропривода»..

Методами математичного моделювання проведено дослідження роботи запропонованої системи керування електроприводом, які підтвердили її працездатність.

В розділі «Техніко-економічне обґрунтування» проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

В розділі «Охорона праці» виконано аналіз шкідливих виробничих факторів, запропоновані організаційно-технічні заходи з охорони праці. Виконано розрахунок штучного освітлення.

№ подл.	Підп. і дата	Зам. №	№ дубл.	Підп. і дата

					ЕП.ПД.18.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		66

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. М.: Машиностроение, 1972, - 280 с., ил.
2. Сафронов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985, - 320 с., ил.
3. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 2003. – 225 с.
4. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 227 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
6. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т./Под. ред. И.П. Копылова и В.К. Клокова - М: Энергоатомиздат, 1988. т.1. -655 с.; т.2. -496 с.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -616 с.
8. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
9. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.
10. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
11. Колб Ант. А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник – Д., Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.
12. [www.schneider-electric.ua](http://www.schneider-electric.ua) .
13. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
14. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамиканянца – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 240 с.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. Інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

					<b>ЕП.ПД.18.01.ПЗ</b>	Арк
Зм.	Арк..	№ докум.	Підп.	Дата		67