

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Нужнова Володимира Сергійовича
(ПІБ)

академічної групи 141-16-4
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ Електромеханічні засоби автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(офіційна назва)

на тему Електропривод повздовжнього переміщення столу фрезерно-розточного верстату

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Колб А.А			
розділів:				
1,2,3	Колб А.А			
Охорона праці	Столбченко О.В			
Економіка	Тимошенко Л.В			
Рецензент	Федоров С.И			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро 2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.
(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Нужнову В.С академічної групи 141-16-4
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації _____
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Електропривод повздовжнього переміщення столу фрезерно-розточного верстату

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1	Технологічна частина	
2	Автоматизований електропривод	
3	Дослідження динаміки ЕП	
4	Охорона праці	
5	Техніко-економічне обґрунтування	

Завдання видано

(підпис керівника)

Колб А.А

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Нужнов В.С

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка стр. 84, мал.19, табл. 14, джерел 9.

Об'єкт детальної розробки: електропривод продольної подачі фрезерного станка 6М610Ф11.

Мета роботи : розробка високоточного глибокорегулюемого автоматизованого електроприводу.

Вибрані елементи силового ланцюга (високомоментний двигун постійного струму ПФВ 160М, комплектний реверсивний електропривод тиристора ЕТУ2 - 2 4327 П04 з роздільним управлінням) і система ЧПУ NC - 200. Розраховані параметри астатичної одноступінчастої системи регулювання швидкості.

Здійснений розрахунок перехідних процесів в електроприводі в режимах пуску, гальмування, накидання навантаження, реверсу, зупинки з використанням додатка Simulink пакету MATLAB.

Проаналізовані небезпечні і шкідливі чинники, розроблені заходи по охороні праці.

Розраховані капітальні і експлуатаційні витрати.

РЕВЕРСИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ,
ДВОКОНТУРНА ОДИНЗОННА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ВИБІР
СИЛОВОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ, СИНТЕЗ САР

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

Abstract

Explanatory note: p. 82, fig.19, tables 14, sources of used literature 9

Object of work: Electric Drive of the Longitudinal Travel for Milling Lathe

Purpose: development of high-precision deep-adjustable automated electric drive.

Selected elements of the power circuit (high-torque DC motor PFV 160M, complete reversible electric drive thyristor ETU2 - 2 4327 P04 with separate control) and CNC system NC - 200. Calculated parameters of the astatic single-zone speed control system.

The calculation of transients in the electric drive in the modes of start, braking, loading, reverse, stop using the application Simulink package MATLAB.

Dangerous and harmful factors are analyzed, labor protection measures are developed.

Calculated capital and operating costs.

REVERSE DC DRIVE, DOUBLE-CIRCULAR SINGLE-ZONE SPEED CONTROL SYSTEM, SELECTION OF POWER EQUIPMENT

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Зміст

Вступ	
1. Технологічна частина	
1.1 Основні технічні дані і характеристики верстата	
1.2 Умови експлуатації верстата	
1.3 Технічна характеристика електроустаткування верстата	
1.4 Основні параметри приводу подовжнього переміщення столу	
1.5 Параметри режимів різання при обробці деталі	
2. Автоматизований електропривод	
2.1 Вибір системи електроприводу	
2.2 Попередній вибір двигуна	
2.3 Розрахунок навантажень приводу фрезерного верстата	
2.3.1 Швидкість, зусилля і тривалість різання	
2.3.2 Навантаження приводу подання	
2.4 Перевірка заздальгідь вибраного двигуна	
2.5 Вибір силових елементів електроприводу	
2.6 Розрахунок параметрів САР і об'єкту управління	
2.6.1 Привід тиристора постійного струму	
2.6.2 Параметри САР однозонного електроприводу з ВМД	
3. Дослідження динаміки електроприводу	
4. Охорона праці	
4.1 Інженерно-технічні заходи по охороні праці	
4.1.1 Обґрунтування класу приміщення по небезпеці враження електричним струмом	
4.1.2 Обґрунтування режиму нейтралі живлячих мереж на об'єкті	
4.1.3 Заходи по електробезпеці	
4.1.4 Заходи по охороні праці	
4.1.5 Пожежна безпека	

					ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

4.2 Розрахунок штучного освітлення

5. Техніко-економічне обґрунтування

5.1 Розрахунок капітальних витрат

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

5.2.1 Амортизаційні відрахування

5.2.2 Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт

5.2.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Висновки

Перелік посилань

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Вступ

Нинішній рівень автоматизації передбачає широке впровадження верстатів з ЧПУ у виробничий процес. Використання автоматизованих електричних приводів в верстатах з ЧПУ забезпечує насамперед розширення технологічних можливостей машин, підвищену продуктивність, підвищену точність і чистоту поверхні деталі. Успішність автоматизації значною мірою залежить від технічних засобів її реалізації, тобто на індивідуальних властивостях всіх індивідуальних приладів і елементів, в сукупності яких утворюється промислова Електромеханічна система - автоматизований електропривод.

Технічний розвиток верстатів з ЧПУ в даний час відбувається в напрямку використання сучасних систем управління на базі мікропроцесорної технології, сучасних високорегульованих електричних приводів основного руху і постачання, вимірювальних перетворювачів, автоматичних пристроїв зміни інструментів, величини зносу ріжучого інструменту і пристроїв автоматичної її корекції.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Розділ 1

Технологічна частина

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Нужнов В.С		
Пров.		Колб А.А		
Т.				
Н.		Казачковський		
Утв.				

Технологічна частина			Лит.	Лист	Листов
			Л		
			141-16-4		

1.1 Основні технічні дані і характеристики станка

Верстат спеціальний подовжньо - фрезерний розточувальний 6М610Ф11 призначений для фрезерних, розточувальних, свердловальних, а також шліфувальних робіт при обробці корпусних деталей з чорних і кольорових металів.

Верстат оснащений ЧПУ типу "Розмір 2М-1104", призначеним для управління робочими і настановними переміщеннями механізмів верстата паралельно осям координат із завданням розмірів від перемикачів переднабору і для цифрової індикації положення механізмів відносно вибраного початку відліку.

В таблиці 1 приведені основні технічні характеристики станка.

Таблиця 1.1. Основні технічні характеристики станка

ПАРАМЕТРИ	Величина
Клас точність по ГОСТ 8-82	Н
Ширина робочої поверхні столу, мм	1000
Кількість вертикальних бабок	1
Довжина робочої поверхні столу, мм	3150
Найбільша довжина ходу столу, мм	3650
Фланець шпинделя по ГОСТ 24644-81: Повзуна вертикальної бабки конус	60
Посадочний діаметр по 4-у ряду, мм	221,44
Перехідної втулки конус	50
Кількість механічних східців частот обертання шпинделя : вертикальної бабки	4
Межі частот обертання шпинделя вертикальної бабки, про/мін:	10...1600

Розрахунковий діаметр, мм	
• Фрезерування	320
• свердління	75
Потужність двигуна головного приводу вертикальної бабки, кВт:	37; 45
Межі подань, мм/мін :	
• столу	4...3000
• вертикальної бабки	3...2500
• повзуна вертикальної бабки	3...2500
Швидкість швидких настановних переміщень, мм/мін	
• столу	5000
• вертикальної бабки	5000
• повзуна вертикальної бабки	5000
Найбільший обертаючий момент, Н	
• на шпинделі повзуна вертикальної бабки	5000
• на перехідній втулці	2000
• на шпинделі накладної голівки	2000
• Найбільше тягове зусилля приводу переміщення, Н:	
• столу	50000
• вертикальної бабки	40000
• повзуна вертикальної бабки	40000
Найбільша допустима маса оброблюваного виробу на 1 пог. метр столу, кг	3150
Габаритні розміри не більші, мм	
• довжина	10550
• ширина	7000
• висота	5500
Маса верстата з електроустаткуванням, кг, не більше	38500
Маса верстата без окремо розташованих агрегатів, кг, не більше	35150

1.2 Умови експлуатації верстата

1.2.1 Догляд за електроустаткуванням

Обслуговування електроустаткування верстата повинне доручатися кваліфікованому персоналу, який обов'язково повинен ознайомитися з цим посібником, а також з конструкцією верстата, розміщенням і призначенням електроустаткування і вивчити його роботу.

У нормальних умовах роботи відхід за електроустаткуванням зводиться до безумовного дотримання "Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів" і інструкцій заводів-постачальників електроустаткування.

1.2.2 Догляд за електричними машинами

Під час експлуатації верстата необхідно стежити за роботою електричних машин постійного струму, не допускаючи надмірного забруднення колекторів, осадження пилу на обмотках, роботи при великому іскрінні під щітками і перегрівання обмоток. Періодично необхідно перевіряти наявність мастила підшипників електричних машин і при необхідності замінювати її.

Зношені щітки електричних машин постійного струму необхідно своєчасно замінювати щітками відповідних марок і розмірів. Необхідно стежити за тим, щоб дроти, відповідні до щіток, не торкалися колектора.

Після тривалих перерв в роботі обов'язково слід перевірити стан ізоляції усіх обмоток електричних машин відносно корпусу і між обмотками. Якщо опір ізоляції нижче 0,35 МОм, машину вимагається просушити.

1.2.3 Догляд за електроапаратурою

Електрична апаратура верстата потребує постійного догляду, тобто в профілактичному огляді, чищенні, регулюванні, заміні деталей, що зносилися. Не допускається установка автоматів, плавких вставок і нагрівальних елементів, що не відповідають вказаним в специфікації, оскільки знижується надійність захисту електроустаткування від перевантажень і коротких замикань.

Доступ до електроапаратури необхідно дозволяти тільки персоналу, обслуговуючому електроустаткування цього верстата. Двері шаф комплектного пристрою мають бути замкнуті, ключі від шаф повинні знаходитися у осіб, обслуговуючих електроустаткування верстата.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

1.2.4 Ремонт електроапаратури

При ремонті електроустаткування верстата необхідно керуватися "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів".

Робота в шафах комплектного пристрою і облаштування цифрової індикації може виконуватися лише за умови зняття напруги мережі і застосування ізолюючої підставки або доріжки.

Забороняється виробництво робіт по пуску верстата і перевірці роботи електроустаткування одній особі. Ці роботи повинні робитися у присутності другої особи, яка зобов'язана стежити за дотриманням правил техніки безпеки.

1.3 Технічна характеристика електроустаткування верстата

Електроустаткування вертикальної фрезерно-розточувальної бабки включає:

- 1)електродвигун обертання шпинделя з тахогенератором і вентилятором;
- 2)електродвигун насоса відкачування олії з повзуна;
- 3)електродвигун подання повзуна з тахогенератором;
- 4)електродвигун лубрикатора мастила що направляють повзуна;
- 5)кінцевих вимикачів контролю положення лобової голівки, контролю положення нижнього і верхнього блоку шестерень;
- 6)датчик коливання;
- 7)підсилювач датчика коливань;
- 8)датчик положення повзуна і каретки;
- 9)кінцевих вимикачів обмеження крайніх положень повзуна;
- 10)кінцевий вимикач гальма приводу подання повзуна;
- 11)електромеханічну затискну голівку, призначену для кріплення інструменту з кінцевим вимикачем.

Обертання шпинделя вертикальної бабки здійснюється двигуном постійного струму (ДПТ) М1, що живиться від двох перетворювачів тиристорів.

Електроустаткування верстата живиться від трифазної 4-х дротяної мережі змінного струму, частотою 50 Гц, напругою 380 В і 110 В.

Потужність приводу головного руху вертикальної бабки - 37 кВт.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

1.3.1 Схема управління шпинделем забезпечує:

- 1) дистанційне перемикання східців коробки швидкостей і позицій муфти лобової голівки;
- 2) настановний поворот і автоматичне обертання шпинделя в обох напрямках;
- 3) двозонне регулювання частоти обертання електродвигуна : до 1500 про/мін зміною напруги (з постійним моментом), що підводиться до якоря, вище 1500 про/мін зміною струму збудження (з постійною потужністю);
- 4) незалежну вентиляцію електродвигуна обертання шпинделя;
- 5) кріплення інструменту і мастило коробки швидкостей;
- 6) електричних блокувань, захист і сигналізацію.

Подання повзуна вертикальної бабки здійснюється електродвигуном постійного струму, що живиться від перетворювача тиристора U3 або U4. Схема управління електродвигуном подання повзуна забезпечує:

- 1) вибір, віджимання і розгальмування повзуна;
- 2) управління електродвигуном подання при роботі і в налагоджувальних операціях;
- 3) настановні переміщення повзуна із швидкістю подання;
- 4) регулювання величини подання;
- 5) прискорене переміщення повзуна;
- 6) мастило тих, що направляють повзуна;
- 7) електричних блокувань, захист, сигналізацію.

Датчики положення повзуна і каретки (датчик зворотного зв'язку) призначені для вироблення сигналів, що містять інформацію про положення виконавчого органу (повзуна або каретки).

В якості датчиків положення на верстаті застосовані п'ятивідлікові датчики Б2Р, що містять сельсини БС155А.

1.3.2 Схема управління електродвигуном шпинделя забезпечує:

- 1) управління пуском і зупинкою шпинделів;
- 2) проворот електродвигунів зі зниженим моментом і швидкістю, здійснюваний при кожному пуску;
- 3) вибір напрямку обертання двигунів (S108, S120);

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

- 4) динамічне гальмування електродвигунів при зупинці;
- 5) кріплення інструменту;
- 6) електричних блокувань, захист і сигналізацію.

1.3.3 Електроустаткування порталу

Електроустаткування порталу включає:

- 1) електродвигун подання каретки вертикальної бабки з тахогенератором (M1Э, 4gn);
- 2) електроустаткування кран-балки;
- 3) світильник місцевого освітлення;
- 4) електроустаткування управління переміщенням пульта;
- 5) кінцевих вимикачів обмеження крайніх положень кареток вертикальної бабки (S66, S67, S74, S75);
- 6) кінцевий вимикач гальма приводу подання каретки вертикальної бабки (S61).

Схема управління поданням каретки аналогічна схемі управління поданням повзуна вертикальної бабки. Можливе одночасне подання повзуна і каретки вертикальної бабки, для цього схема управління підключає електродвигун подання до перетворювача (U3).

1.3.4 Схема управління електродвигуном подовжнього подання забезпечує:

- 1) управління електродвигуном при роботі і в налагоджувальних операціях;
- 2) регулювання величини подання столу;
- 3) настановні переміщення столу із швидкістю робочого подання;
- 4) прискорення переміщення столу;
- 5) включення електромагнітів вибірки проміжків в зачепленні черв'як-рейка;
- 6) електричних блокувань, сигналізацію, захист.

Датчик положення столу аналогічний датчику положення повзуна і каретки.

Допоміжне електроустаткування включає:

- 1) електроустаткування гідростанції;
- 2) електроустаткування станції мастила;
- 3) електроустаткування станції СОЖ;

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

4) електроустаткування транспортерів стружки;

5) електроустаткування облаштування повороту і кріплення торцевої голівки.

Живлення електроустаткування верстата передбачається від мережі трифазного змінного струму, напруга і частота якого відповідає одному з наступних значень : 220 В; 380 В; 400 В; 415 В; 440 В; 50 або 60 Гц. Напруга і частота мережі вказується при замовленні верстата.

Якщо величина робочої напруги і частота не обумовлені в замовленні, електроустаткування верстата виконується для живлення від мережі 380 В, 50 Гц.

У схемі верстата застосована апаратура управління змінного і постійного струму. Напруга ланцюгів управління 110 В змінного струму, 24 і 110 В постійного струму. Напруга освітлення комплектного пристрою 24 В змінного струму. Напруга місцевого освітлення 220 В змінного струму.

1.3.5 Розташування електроустаткування на верстаті

Окремо від верстата встановлюються:

- 1) комплектні облаштування управління верстатом;
- 2) гідростанція;
- 3) станція мастила;
- 4) станція СОЖ;
- 5) силовий трансформатор.

Решта устаткування знаходиться безпосередньо на верстаті.

1.4 Основні параметри приводу подовжнього переміщення столу

Привід подання столу здійснюється від редуктора подань 1 (мал. 1.1), який розташований на торці станини, через проміжний вал 2, подвійний гвинт - черв'як 3, зчеплений з рейкою столу 4.

Основні параметри приводу подовжнього переміщення столу приведені в таблиці 2.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

Таблиця 1.2. Параметри привода переміщення столу

Діаметр гвинта d_w , мм	200
Крок гвинта t_w , мм	30
Довжина оброблюваної поверхні L_w , що утворює, мм	400
Маса переміщуваної поверхні разом з деталлю m , кг	4000
Швидкість швидкого ходу $v_{шх}$, м/с	0,083
Максимальна швидкість робочого подання $v_{рmax}$, м/с	0,05
Зусилля різання F_r , кН	160

Таблиця 1.3. Параметри привода шпинделя вертикальної бабки

Момент інерції шпинделя $J_{шп}$, кгм ²	0,3
Момент інерції шківів $J_{шк}$, кгм ²	0,15
Момент інерції проміжного валу J_p , кгм ²	0,5
Максимальна швидкість шпинделя $n_{ш max}$, об/хв	1000
Мінімальна швидкість шпинделя $n_{ш min}$, об/хв	400
Максимальна потужність різання P_z , кВт	40

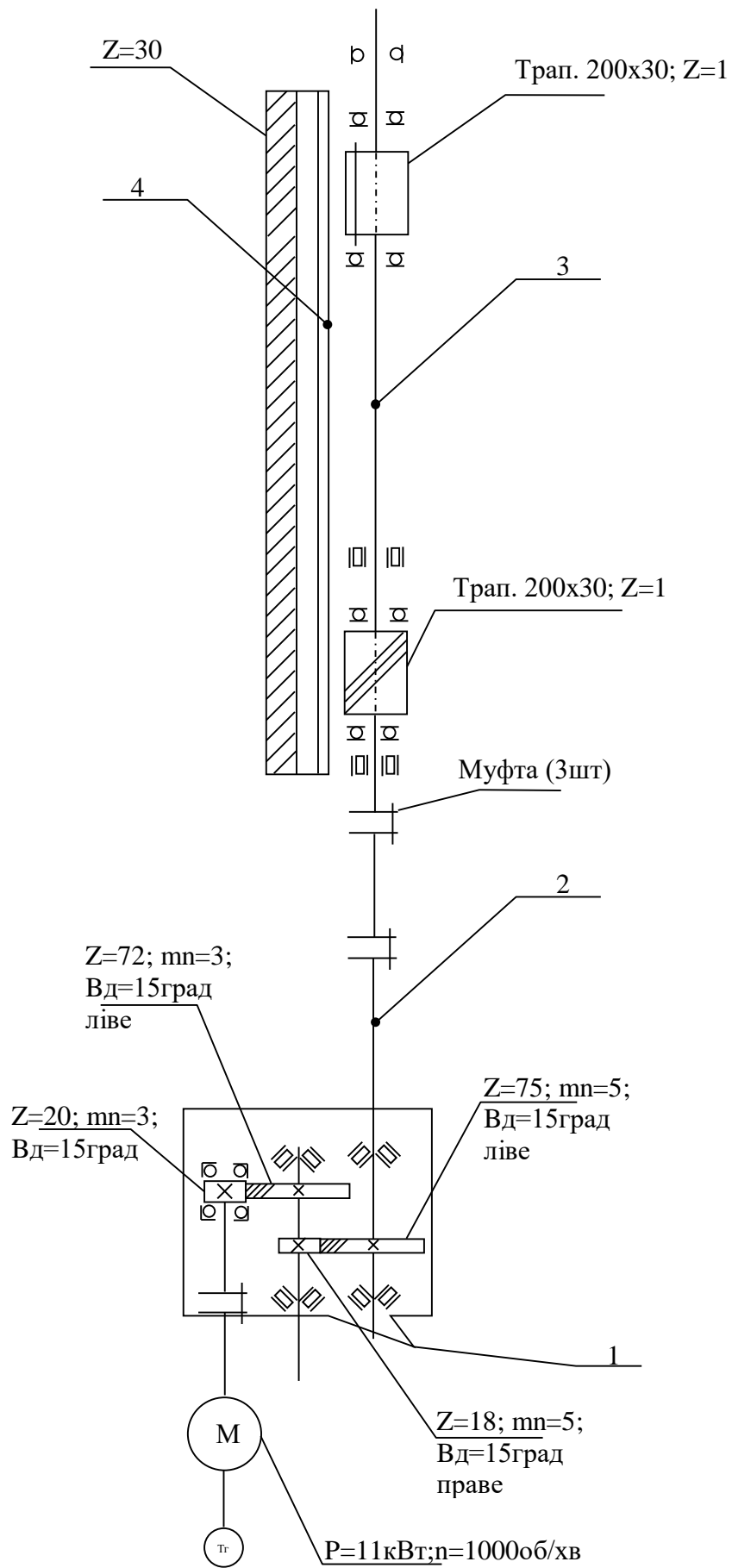


Рис.1.1 Кінематична схема приводу подовжнього переміщення столу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

17

1.5 Параметри режимів різання при обробці деталі

Параметри режимів різання приведені в таблиці 1.4, розміри оброблюваної деталі - в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 Параметри режимів різання

Кількість зубців фрези Z	20
Подання на зуб S_z , мм/зуб	0,2
Глибина різання t , мм	18
Пауза t_0 , с	4
Діаметр фрези D , мм	100

Таблиця 1.5 Розмірів оброблюваної деталі

Довжина деталі L , мм	L_0 , мм	Ширина деталі H , мм	h , мм
800	200	1000	200

З вихідної точки 1 (рис.1.2) фреза із швидкістю швидкого ходу наближається до заготовлі. Перед т.2, швидкість зменшується до швидкості робочого ходу. Між точками 2 і 8 відбувається фрезерування, а після - повернення до вихідної точки 1. На переходах I, II, VI матимемо несиметричне зустрічне фрезерування, коли зуб фрези під час контакту з оброблюваним матеріалом рухається переважно назустріч подання деталі; на переходах III, IV, V - несиметричне попутне фрезерування, коли напрям руху зуба переважно співпадає з напрямом подання.

На малюнку 1.3 приведені приблизні види діаграм швидкості, зусилля різання, моменту тертя і сумарного статичного моменту для координати X.

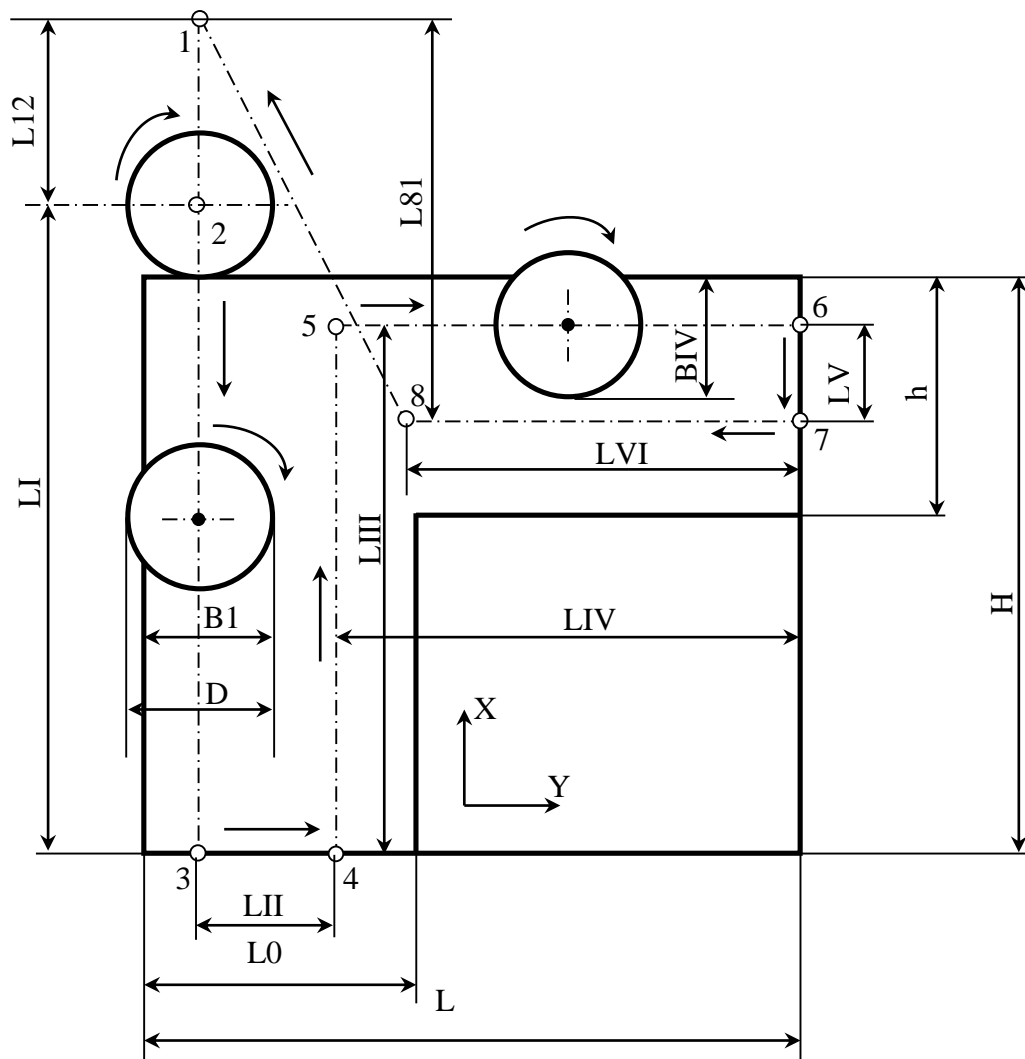


Рис.1.2 Траекторія руху фрези.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

19

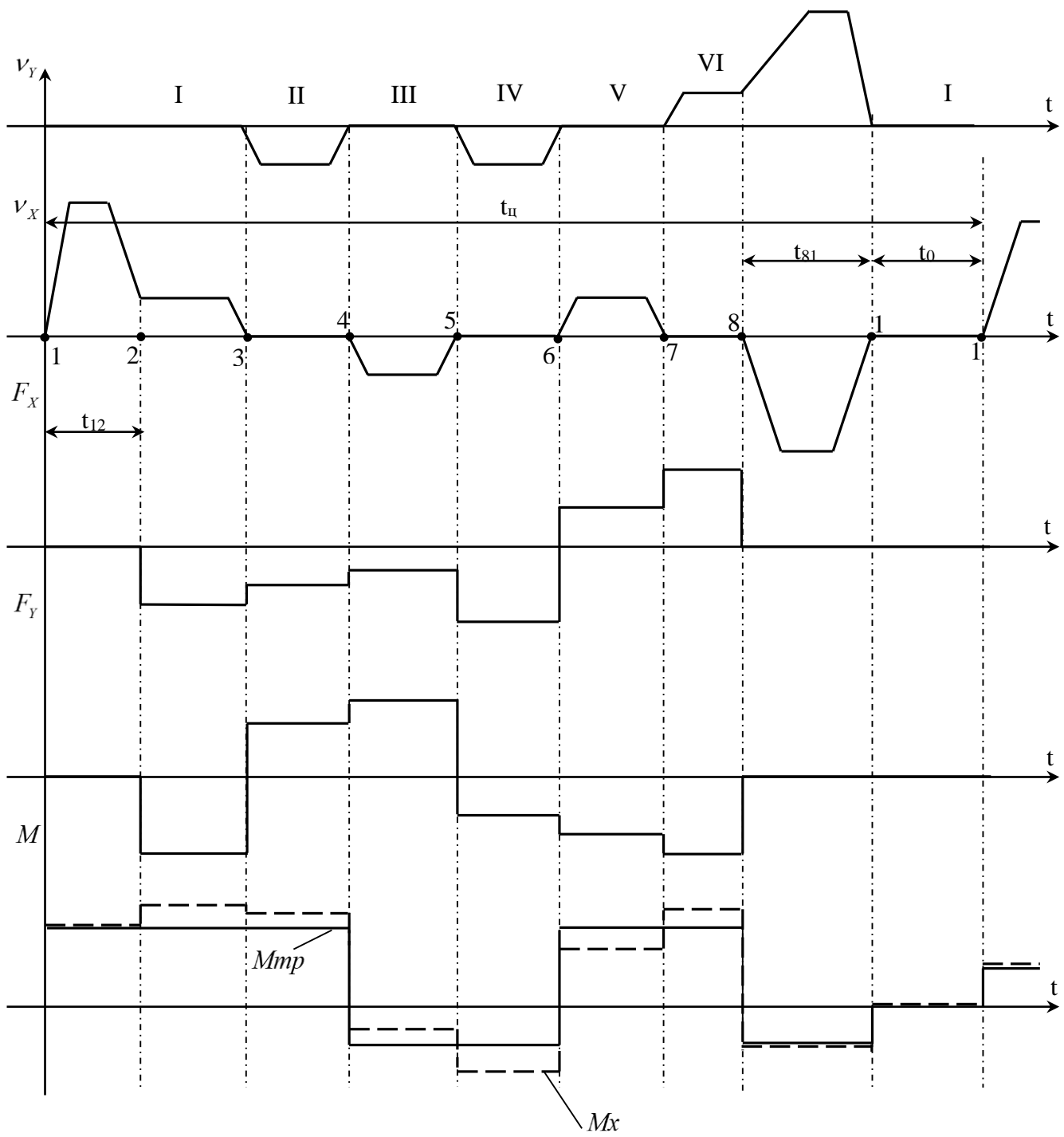


Рис.1.3 Діаграми швидкостей і навантажень приводів подань в час фрезерування

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

2.1 Вибір системи електроприводу

Механізми подань фрезерного верстата пред'являють до систем електроприводу, що забезпечують їх роботу, високі вимоги.

Необхідно забезпечити високу точність і швидкодію відробітку завдань при великому (до 10000) діапазоні регулювання швидкості.

Спеціально для приводів подань верстатів були розроблені серії тихохідних високомоментних двигунів постійного струму зі збудженням від постійних магнітів.

Особливістю цих двигунів є здатність тривало працювати з великим перевантажувальним моментом (до 10 крат) із-за масивного якоря, а також можливість приводити в рух ходовий гвинт верстата, минувши проміжні механічні передачі.

При роботі з перетворювачем тиристора високомоментний двигун забезпечує діапазон регулювання швидкості близько декількох тисяч.

Високомоментний двигун є комплексом пристроїв, в який входять : сам двигун, тахогенератор, електромагнітне гальмо і вимірювальний перетворювач. Це полегшує узгодження і наладку елементів електроприводу, а також монтаж устаткування на верстаті.

До переваг високомоментного двигуна можна віднести і велику допустиму швидкість зростання струму якоря (до 2000 Ін/с). Зростання цього показника не лише полегшує режим роботи двигуна, а і збільшує швидкодію замкнутого контура струму.

Таким чином, зважаючи на високоінтенсивний характер роботи приводу подання верстата з частими пусками і реверсами, вибирається електропривод подання системи : "Керований випрямляч - високомоментний двигун постійного струму".

Необхідні дані для розрахунку приведені в таблицях 2.1 -2.5:

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Таблиця 2.1. Розміри оброблюваної деталі

L,мм	L0,мм	H,мм	h,мм
800	180	1000	180

Таблиця 2.2. Початкові дані для розрахунку приводу подання верстата

Діаметр фрези	D=100 мм
Число зубів фрези	Z=20
Глибина різання	t=18 мм
Подання на зуб	sz=0,2 мм/зуб
Тривалість паузи	t0=4 с
Стійкість фрези	T=180 хв
Прискорення вільного падіння	g=9,81 м/с ²
Коефіцієнт тертя в тих, що направляють	$\mu = 0,1$
Коефіцієнт трення в підшипниках	f1=0,003
Радіус цапфи під підшипником	r=0,05
Кількість підшипників	nп1=4

Таблиця 2.3. Параметри верстата

Крок гвинта пари "гвинт - гайка"	tв=0,03 м
Довжина гвинта	Lв=0,4 м
Діаметр колісної пари "гвинт - гайка"	dв=0,2 м
Маса поступально частин, що рухаються	m=4000 кг
Момент холостого ходу ШВП	Mхх=5,2 Н
Максимальна швидкість двигуна	nmax=1000 об/ хв
ККД черв'ячної передачі	$\eta_B = 0,75$
ККД редуктора	$\eta_P = 0,98$

Таблиця 2.4. Вимоги до приводу подання

					ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Максимальна швидкість робочого ходу	$n_{pmax}=0,05$ м/с
Зусилля різання	$F_p=160000$ Н
Швидкість швидкого ходу	$n_{bx}=0,083$ м/с

2.2 Попередній вибір двигуна

Двигун вибирається виходячи із заданого зусилля на гвинті при робочому поданні, а також максимальній робочій швидкості подання і швидкості швидкого ходу. Передатне відношення редуктора забезпечує відповідність максимальної частоти обертання двигуна і швидкості швидкого ходу супорта.

$$i = \frac{\omega_{Dmax} * t_v}{n_{bx} * 2 * \pi} = \frac{104,667 \cdot 0,03}{0,083 \cdot 2 \cdot 3,14} = 6,024$$

З ряду двигунів вибирають двигун з тривало - допустимим моментом:

$$MDO = \frac{1,3 * F_p * t_v}{2 * \pi * i} = \frac{1,3 \cdot 160000 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024} = 164,94 \text{ Нм}$$

і перевіряють умову забезпечення діапазону робочих швидкостей подань

$$\omega_{DH} = \frac{2 * \pi * n_{pmax} * i}{t_v} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,05}{0,03} = 63,08 \text{ рад/с}$$

По каталогу заздалегідь був вибраний двигун типу ПФВ 160М.

Таблиця 2.5. Параметри ВМД

Опір якірного ланцюга	$R_{\alpha}=0,033$ Ом
Номінальна частота обертання	$n_n=600$ об/хв
Напруга живлення	$U_n=82$ В
Номінальний струм якоря	$I_n=180$ А
Момент інерції двигуна	$J_{dv}=0,246$ кгм ²
Індуктивність якірного ланцюга	$L_{\alpha}=0,348$ мГн
Максимальна швидкість двигуна	$n_{max}=1000$ об/хв
Максимальний момент двигуна	$M_{max}=510$ Нм
Тривало - допустимий момент двигуна	$Md0=176$ Нм
ККД двигуна	$\eta_{dv} = \frac{Md0 \cdot \pi \cdot n_n}{30 \cdot U_n \cdot I_n} = 0,749$

2.3 Розрахунок навантажень приводу фрезерного верстата

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

2.3.1 Швидкість, зусилля і тривалість різання

Швидкість різання (окружна швидкість зубів фрези) для кожного з переходів визначається по емпіричній формулі:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B^{U_v} \cdot Z^p}, \text{ м/с}$$

где $C_v=64,7$; $q_v=0,25$; $m=0,2$; $X_v=0,1$; $Y_v=0,2$; $U_v=0,15$; $p=0$.

B – ширина фрезерування, мм

Визначення швидкості для кожного проходу

Для того, щоб визначити швидкості для кожного проходу, спочатку необхідно визначити ширину фрезерування (B) на ділянках 1 - 6.

$$B_1 = \frac{L_0}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ мм} \quad B_3 = \frac{L_0}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ мм} \quad B_5 = \frac{D}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ мм}$$

$$B_2 = \frac{D}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ мм} \quad B_4 = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ мм} \quad B_6 = \frac{h}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ мм}$$

$$v_1 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_1^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 90^{0,15} \cdot 20^0} = 0,635$$

$$v_2 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_2^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 50^{0,15} \cdot 20^0} = 0,694$$

$$v_3 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_3^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 90^{0,15} \cdot 20^0} = 0,635$$

$$v_4 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_4^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 90^{0,15} \cdot 20^0} = 0,635$$

$$v_5 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_5^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 50^{0,15} \cdot 20^0} = 0,694$$

$$v_6 = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{60 \cdot T^{m_1} \cdot t^{X_v} \cdot S_z^{Y_v} \cdot B_6^{U_v} \cdot Z^p} = \frac{64,7 \cdot 100^{0,25}}{60 \cdot 180^{0,2} \cdot 18^{0,1} \cdot 0,2^{0,2} \cdot 90^{0,15} \cdot 20^0} = 0,635$$

Визначення частоти обертання фрези для кожного проходу

$$\omega_{\phi 1} = \frac{2000 \cdot v_1}{D} = \frac{2000 \cdot 0,635}{100} = 12,702 \text{ рад/с;}$$

$$\omega_{\phi 2} = \frac{2000 \cdot v_2}{D} = \frac{2000 \cdot 0,694}{100} = 13,87 \text{ рад/с;}$$

$$\omega_{\phi 3} = \frac{2000 \cdot v_3}{D} = \frac{2000 \cdot 0,635}{100} = 12,702 \text{ рад/с;}$$

$$\omega\phi_4 = \frac{2000 \cdot v_4}{D} = \frac{2000 \cdot 0,635}{100} = 12,702 \text{ рад/с};$$

$$\omega\phi_5 = \frac{2000 \cdot v_5}{D} = \frac{2000 \cdot 0,694}{100} = 13,87 \text{ рад/с};$$

$$\omega\phi_6 = \frac{2000 \cdot v_6}{D} = \frac{2000 \cdot 0,635}{100} = 12,702 \text{ рад/с}.$$

$$n\phi_1 = \frac{30 \cdot \omega\phi_1}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,702}{3,14} = 121,29 \text{ об/хв};$$

$$n\phi_2 = \frac{30 \cdot \omega\phi_2}{\pi} = \frac{30 \cdot 13,87}{3,14} = 132,47 \text{ об/хв};$$

$$n\phi_3 = \frac{30 \cdot \omega\phi_3}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,702}{3,14} = 121,29 \text{ об/хв};$$

$$n\phi_4 = \frac{30 \cdot \omega\phi_4}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,702}{3,14} = 121,29 \text{ об/хв};$$

$$n\phi_5 = \frac{30 \cdot \omega\phi_5}{\pi} = \frac{30 \cdot 13,87}{3,14} = 132,47 \text{ об/хв};$$

$$n\phi_6 = \frac{30 \cdot \omega\phi_6}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,702}{3,14} = 121,29 \text{ об/хв}.$$

Оборотне подання

$$S = S_z \cdot Z = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ мм/об}$$

Визначення довжин проходу фрези

$$L_1 = H + 0,5 \cdot D = 1000 + 0,5 \cdot 100 = 1,05 \cdot 10^3 \text{ мм};$$

$$L_2 = L_0 - B_1 = 180 - 90 = 90 \text{ мм};$$

$$L_3 = H - (B_4 - 0,5 \cdot D) = 1000 - (90 - 0,5 \cdot 100) = 960 \text{ мм};$$

$$L_4 = L - L_0 + 0,5 \cdot D = 800 - 180 + 0,5 \cdot 100 = 670 \text{ мм};$$

$$L_5 = h - B_4 = 180 - 90 = 90 \text{ мм};$$

$$L_6 = L - L_0 = 800 - 180 = 620 \text{ мм}.$$

Тривалість переходу

$$t_1 = L_1 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{S \cdot \omega\phi_1} = 1050 \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{4 \cdot 12,702} = 129,787 \text{ с};$$

$$t_2 = L_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{S \cdot \omega\phi_2} = 90 \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{4 \cdot 13,87} = 10,186 \text{ с};$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

$$t_3 = L_3 * \frac{2 * \pi}{S * \omega \phi_3} = 960 * \frac{2 * 3,14}{4 * 12,702} = 118,662 \text{ с};$$

$$t_4 = L_4 * \frac{2 * \pi}{S * \omega \phi_4} = 670 * \frac{2 * 3,14}{4 * 12,702} = 82,816 \text{ с};$$

$$t_5 = L_5 * \frac{2 * \pi}{S * \omega \phi_5} = 90 * \frac{2 * 3,14}{4 * 13,87} = 10,186 \text{ с};$$

$$t_6 = L_6 * \frac{2 * \pi}{S * \omega \phi_6} = 620 * \frac{2 * 3,14}{4 * 12,702} = 76,636 \text{ с}.$$

Складове зусилля різання

Тангенціальна складова зусилля різання

$$F_z = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B * Z}{D^{q_f} * n \phi^w}, \text{ де}$$

$C_f=82,5$; $X_f=0,95$; $Y_f=0,8$; $q_f=1,1$; $w=0$; $n=1$ – емпіричні коефіцієнти.

1 перехід

$$F_{z1} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B1^n * Z}{D^{q_f} * n \hat{1}^w} = \frac{10 * 82,5 * 18^{0,95} * 0,2^{0,8} * 90^1 * 20}{100^{1,1} * 121,29} = 4,028 * 10^4 \text{ Í},$$

$$F_{x1} = 0,8 * 4,028 * 10^4 = 3,22 * 10^4 \text{ Н},$$

$$F_{y1} = 0,95 * 4,028 * 10^4 = 3,826 * 10^4 \text{ Н}.$$

2 перехід

$$F_{z2} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B2^n * Z}{D^{q_f} * n \hat{2}^w} = \frac{10 * 82,5 * 18^{0,95} * 0,2^{0,8} * 50^1 * 20}{100^{1,1} * 132,47} = 2,238 * 10^4 \text{ Í}$$

$$F_{x2} = 0,95 * 2,238 * 10^4 = 2,126 * 10^4 \text{ Н},$$

$$F_{y2} = 0,8 * 2,238 * 10^4 = 1,79 * 10^4 \text{ Н}.$$

3 перехід

$$F_{z3} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B3^n * Z}{D^{q_f} * n \hat{3}^w} = \frac{10 * 82,5 * 18^{0,95} * 0,2^{0,8} * 90^1 * 20}{100^{1,1} * 121,29} = 4,028 * 10^4 \text{ Í}$$

$$F_{x3} = -0,3 * 4,028 * 10^4 = -1,208 * 10^4 \text{ Н},$$

$$F_{y3} = 1 * 4,028 * 10^4 = 4,028 * 10^4 \text{ Н}.$$

4 перехід

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

$$F_{z4} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B_4^n * Z}{D^{qf} * n \hat{o} 4^w} = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 18^{0,95} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 90^1 \cdot 20}{100^{1,1} \cdot 121,29} = 4,028 \cdot 10^4 \text{ Í}$$

$$F_{x4} = 1 \cdot 4,028 \cdot 10^4 = 4,028 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

$$F_{y4} = -0,3 \cdot 4,028 \cdot 10^4 = -1,208 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

5 перехід

$$F_{z5} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B_5^n * Z}{D^{qf} * n \hat{o} 5^w} = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 18^{0,95} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 50^1 \cdot 20}{100^{1,1} \cdot 132,47} = 2,238 \cdot 10^4 \text{ Í}$$

$$F_{x5} = 0,3 \cdot 2,238 \cdot 10^4 = 6,713 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

$$F_{y5} = 1 \cdot 2,238 \cdot 10^4 = 2,328 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

6 перехід

$$F_{z6} = \frac{10 * C_f * t^{X_f} * S_z^{Y_f} * B_6^n * Z}{D^{qf} * n \hat{o} 6^w} = \frac{10 \cdot 82,5 \cdot 18^{0,95} \cdot 0,2^{0,8} \cdot 90^1 \cdot 20}{100^{1,1} \cdot 121,29} = 4,028 \cdot 10^4 \text{ Í}$$

$$F_{x6} = 0,8 \cdot 4,028 \cdot 10^4 = 3,222 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

$$F_{y6} = 0,95 \cdot 4,028 \cdot 10^4 = 3,826 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

2.3.2 Навантаження приводу подання

Двигун подань фрезерного верстата працює в трьох режимах: швидкий хід (контакт різця з деталлю відсутній, двигун навантажений моментом тертя в передачі), фрезерування (двигун навантажений моментом від сил тертя і різання), пуск і гальмування (момент двигуна визначається рівнем струму обмеження).

При швидкому ході статичне навантаження визначається силами тертя і різання :

$$M_{б\chi} = M_{trn} + M_n + M_v, \text{ де}$$

M_{trn} - момент від сил тертя в тих, що направляють;

M_n - момент від попереднього натягнення в напологливих підшипниках;

M_v - момент натягнення гвинтової передачі.

$$F_{trn} = \mu * m * g = 0,1 \cdot 4000 \cdot 9,81 = 3,9 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

$$M_{trn} = \frac{F_{trn} * t_v}{2 * \pi * i * \eta_v * \eta_p} = \frac{3,9 \cdot 10^3 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 4,231 \text{ Нм}$$

Момент від попереднього натягнення в напологливих підшипниках гвинта :

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

$$F_{xn} = F_{z4} = 4,028 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

$$F_H = \frac{(F_{xn} + F_{trn})}{3} = \frac{4,028 \cdot 10^4 + 3,924 \cdot 10^3}{3} = 1,473 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

$$M_n = \frac{nn1 * F_H * f1 * r}{i * \eta_p} = \frac{4 \cdot 1,473 \cdot 10^4 \cdot 0,003 \cdot 0,05}{6,024 \cdot 0,98} = 1,497 \text{ Нм},$$

де nn1 – кількість підшипників;

f1 – коефіцієнт тертя в підшипниках;

r – радіус цапфи під підшипником;

F_H – зусилля подання.

Момент від натягнення гвинтової передачі

$$M_v = \frac{M_{xx}}{i * \eta_p} = \frac{5,2}{6,024 \cdot 0,98} = 0,881 \text{ Нм},$$

де M_{xx} – момент холостого ходу.

$$M_{б_x} = M_{trn} + M_n + M_v = 4,231 + 1,497 + 0,881 = 6,61 \text{ Нм}.$$

Момент від сил різання по відповідній координаті:

1 перехід

$$M_{p1} = \frac{F_{x1} * t_v}{2 * \pi * i * \eta_v * \eta_p} = \frac{3,222 \cdot 10^4 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 34,747 \text{ Нм}.$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px1} = M_{б_x} + M_{p1} = 6,61 + 34,747 = 41,356 \text{ Нм}.$$

2 перехід

$$M_{p2} = \frac{F_{x2} * t_v}{2 * \pi * i * \eta_v * \eta_p} = \frac{2,126 \cdot 10^4 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 22,923 \text{ Нм}.$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px2} = M_{б_x} + M_{p2} = 6,61 + 22,923 = 29,533 \text{ Нм}.$$

3 перехід

$$M_{p3} = \frac{F_{x3} * t_v}{2 * \pi * i * \eta_v * \eta_p} = \frac{-1,208 \cdot 10^4 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = -13,03 \text{ Нм}.$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px3} = M_{б_x} + M_{p3} = 6,61 - 13,03 = -6,42 \text{ Нм}.$$

4 перехід

$$M_{p4} = \frac{F_{x4} \cdot t_{\theta}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{\theta} \cdot \eta_p} = \frac{4,028 \cdot 10^4 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 43,433 \text{ Нм.}$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px4} = M_{\theta_x} + M_{p4} = 6,61 + 43,433 = 50,43 \text{ Нм.}$$

5 перехід

$$M_{p5} = \frac{F_{x5} \cdot t_{\theta}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{\theta} \cdot \eta_p} = \frac{6,713 \cdot 10^3 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 7,239 \text{ Нм.}$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px5} = M_{\theta_x} + M_{p5} = 6,61 + 7,239 = 13,849 \text{ Нм.}$$

6 перехід

$$M_{p6} = \frac{F_{x6} \cdot t_{\theta}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{\theta} \cdot \eta_p} = \frac{3,222 \cdot 10^4 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,75 \cdot 0,98} = 34,747 \text{ Нм.}$$

При робочому ході момент рівний:

$$M_{px6} = M_{\theta_x} + M_{p6} = 6,61 + 34,747 = 41,356 \text{ Нм.}$$

Момент інерції ходового гвинта

$$J_{\hat{a}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot d_{\hat{a}}^4 \cdot L_{\theta} \cdot \gamma}{32} + \frac{\pi \cdot (2 \cdot r)^4 \cdot L_{\hat{a}} \cdot \gamma}{32} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \cdot 7,8 \cdot 10^3}{32} + \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 0,05)^4 \cdot 0,4 \cdot 7,8 \cdot 10^3}{32} = 0,153 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

де $\gamma = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^2$ – питома вага оброблюваного матеріалу (стала).

$$L_{\theta} = 0,05$$

Момент інерції електроприводу, приведений до валу двигуна:

$$J_1 = 1,2 \cdot J_{\hat{a}} + \frac{J_{\hat{a}}}{i^2} + \frac{m \cdot t_{\hat{a}}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot i^2} = 1,2 \cdot 0,246 + \frac{0,153}{6,024^2} + \frac{40000 \cdot 0,03^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 6,024^2} = 0,302 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ де}$$

1,2 – коефіцієнт, що враховує момент інерції муфти (шестерні) на валу двигуна.

Рахуючи тривалість розгону і гальмування при швидкому ході на багато меншими тривалості руху, що встановився, тривалість кожного з періодів швидкого ходу можна визначити як:

Тривалість швидкого ходу між точками 1 і 2:

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

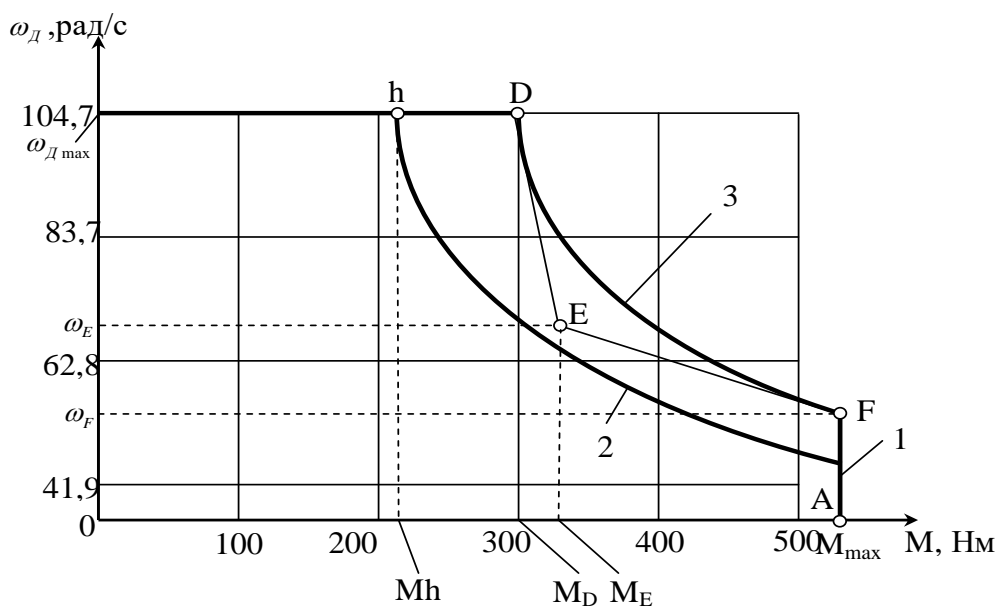
$$t_{12} = \frac{L_{12}}{n b_X} = \frac{0,3}{0,083} = 3,614 \text{ с}$$

Тривалість швидкого ходу між точками 1 і 8:

$$t_{18} = \frac{L_{81}}{n b_X} = \frac{0,48}{0,083} = 5,783 \text{ с}$$

Тривалість пуску і пусковий момент ВМД

Перевантажувальна здатність ВМД залежить від швидкості. А саме, під час пуску і гальмування динамічна механічна характеристика не повинна виходити за межі області, обмеженої максимальним моментом M_{\max} (лінія 1) комутаційної кривої 3, (мал. 2.1). Для обмеження навантаження в динамічних режимах в САР швидкості вводять вузол залежного струмообмеження, який обмежує завдання на струм, апроксимуючи криву 3 ламаною FED.



Мал. 2.1 Криві допустимих моментів для двигуна ПФВ 160М

Початкові дані:

$$\omega_F = 52,3 \text{ рад/с}; \quad \omega_A = 0 \text{ рад/с}; \quad \omega_E = 68,03 \text{ рад/с}; \quad \omega_{D_{\max}} = 104,7 \text{ рад/с};$$

$$M_{\max} = 510 \text{ Нм}; \quad M_h = 220 \text{ Нм}; \quad M_D = 300 \text{ Нм}; \quad M_E = 330 \text{ Нм}; \quad M_C = M b_X = 6,61 \text{ Нм}.$$

Тривалість розгону на ділянках AF, FE, ED :

$$t_{IAF} = J_1 \cdot \frac{\omega_F - \omega_A}{M_{\max} - M_C}; \quad t_{IFE} = T_{FE} \cdot \ln \left(\frac{M_{\max} - M_C}{M_E - M_C} \right);$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

31

$$M_{\dot{Y}\ddot{I}} = \sqrt{\frac{M_{AF}^2 \cdot t_{iAF} + M_{FE}^2 \cdot t_{iFE} + M_{ED}^2 \cdot t_{iED}}{t_{\ddot{I}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{510^2 \cdot 0,031 + 423,202^2 \cdot 0,012 + 315,1^2 \cdot 0,036}{0,079}} = 418,29 \text{ Ї}$$

Еквівалентний момент під час гальмування:

$$M_{\dot{Y}\dot{O}} = \sqrt{\frac{M_{AF}^2 \cdot t_{\dot{O}AF} + M_{FE}^2 \cdot t_{\dot{O}FE} + M_{ED}^2 \cdot t_{\dot{O}ED}}{t_{\dot{O}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{510^2 \cdot 0,031 + 423,202^2 \cdot 0,011 + 315,1^2 \cdot 0,034}{0,076}} = 418,95 \text{ Ї}$$

Тривалість розгону і гальмування при швидкому ході:

$$t_{\dot{D}\dot{A}\dot{O}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot J1 \cdot n\dot{a}_X}{(M_{\dot{Y}\ddot{I}} - M_{\dot{A}\dot{O}}) \cdot t\dot{a}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,083}{(418,292 - 6,61)} = 0,077 \text{ с,}$$

$$t_{\text{ТВХ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot J1 \cdot n\dot{b}_X}{(M_{\dot{ЭТ}} + M_{\text{БХ}}) \cdot t\dot{b}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,083}{(418,292 + 6,61)} = 0,074 \text{ с.}$$

Далі визначаємо тривалість розгону і гальмування на ділянках фрезерування :

Швидкість на ділянках різання :

$$Vn1 = \frac{S \cdot \omega\phi1}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 12,702}{2000 \cdot 3,14} = 8,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$Vn2 = \frac{S \cdot \omega\phi2}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 13,872}{2000 \cdot 3,14} = 8,836 \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$Vn3 = \frac{S \cdot \omega\phi3}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 12,702}{2000 \cdot 3,14} = 8,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$Vn4 = \frac{S \cdot \omega\phi4}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 12,702}{2000 \cdot 3,14} = 8,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$Vn5 = \frac{S \cdot \omega\phi5}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 13,872}{2000 \cdot 3,14} = 8,836 \cdot 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$Vn6 = \frac{S \cdot \omega\phi6}{2000 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 12,702}{2000 \cdot 3,14} = 8,09 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Час розгону і гальмування на робочих ділянках:

$$t_{PP1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn1}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX1}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - 41,356) \cdot 0,03} = 8,176 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{PP2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn2}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX2}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,836 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - 29,533) \cdot 0,03} = 8,658 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{PP3} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn3}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX3}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - (-6,42)) \cdot 0,03} = 7,256 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{PP4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn4}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX4}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - 50,043) \cdot 0,03} = 8,369 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{PP5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn5}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX5}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,836 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - 13,849) \cdot 0,03} = 8,323 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{PP6} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn6}{(M_{\text{ЭП}} - M_{pX6}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,292 - 41,356) \cdot 0,03} = 8,176 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn1}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX1}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + 41,356) \cdot 0,03} = 6,695 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn2}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX2}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,836 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + 29,533) \cdot 0,03} = 7,505 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP3} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn3}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX3}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + (-6,42)) \cdot 0,03} = 7,471 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn4}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX4}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + 50,043) \cdot 0,03} = 6,571 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn5}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX5}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,836 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + 13,849) \cdot 0,03} = 7,777 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

$$t_{TP6} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i \cdot J1 \cdot Vn6}{(M_{\text{ЭТ}} + M_{pX6}) \cdot t\epsilon} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,024 \cdot 0,302 \cdot 8,09 \cdot 10^{-3}}{(418,95 + 41,356) \cdot 0,03} = 6,695 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Тривалість циклу обробки деталі :

$$t = t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 = 129,787 + 10,186 + 118,662 + 82,816 + 10,186 + 76,636 \\ = 428,272 \text{ ñ}$$

$$t_{\text{Ц}} = t0 + ti + t12 + t81 = 4 + 428,272 + 3,614 + 5,783 = 441,67 \text{ с.}$$

Тривалість усіх розгонів і гальмувань при швидкому ході за один цикл:

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

$$K1 = (t_{PBX} + t_{TBX}) \cdot 2 = (0,077 + 0,074) \cdot 2 = 0,302 \text{ с,}$$

Тривалість часу розгонів і гальмувань на усіх ділянках різання за один цикл:

$$\begin{aligned} K211 &= t_{PP1} + t_{TP1} + t_{PP2} + t_{TP2} + t_{PP3} + t_{TP3} + t_{PP4} + t_{TP4} + t_{PP5} + t_{TP5} + t_{PP6} + t_{TP6} = \\ &= (8,176 + 8,658 + 7,256 + 8,369 + 8,323 + 8,176 + 6,695 + 7,505 + 7,471 + 6,571 + \\ &+ 7,777 + 6,695) \cdot 10^{-3} = 0,092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Kmt &= Mpx1^2 \cdot t1 + Mpx2^2 \cdot t2 + Mpx3^2 \cdot t3 + Mpx4^2 \cdot t4 + Mpx5^2 \cdot t5 + Mpx6^2 \cdot t6 = \\ &= 41,356^2 \cdot 129,787 + 29,533^2 \cdot 10,186 + (-6,42)^2 \cdot 118,662 + 50,043^2 \cdot 82,816 + \\ &+ 13,849^2 \cdot 10,186 + 41,356^2 \cdot 76,636 = 5,762 \cdot 10^5 \end{aligned}$$

Еквівалентний момент:

$$\begin{aligned} M_{\text{э}} &= \sqrt{\frac{M_{\text{эл}}^2 \cdot 2 \cdot t_{PBX} + M_{\text{эл}}^2 \cdot 2 \cdot t_{TBX} + M_{\text{max}} \cdot K211 + Kmt + M_{\text{БХ}}^2 \cdot (t12 + t81)}{t_{\text{ц}}}} = \\ &= \sqrt{\frac{418,29^2 \cdot 2 \cdot 0,077 + 418,95^2 \cdot 2 \cdot 0,074 + 510 \cdot 0,092 + 5,762 \cdot 10^5 +}{441,67}} \quad \mathbf{2.4} \\ &= \sqrt{\frac{+6,61^2 \cdot (3,614 + 5,783)}{}} = 37,756 \text{ Нм} \end{aligned}$$

Перевірка заздалегідь вибраного двигуна

Критеріями перевірки двигуна подання є нагрів і тривалість пуску.

Двигун не нагрівається, якщо $M_{\text{э}} \leq Md0$. ($37,756 \leq 176$)

Умова виконується

Тривалість кожного з пусків не повинна перевищувати 0,2 с.

2.5 Вибір силових елементів електроприводу

Вибір потужності і комплектного електроприводу і силового трансформатора.

Комплектний електропривод вибирається після вибору двигуна по номінальному струму I_{dn} і напрузі якоря U_{dn} :

Для комплектного електроприводу з ВМД:

$$I_{dn} \geq I_{яН}$$

$$U_{dn} \geq U_{н} \cdot \frac{n_{\text{max}}}{n_{н}} = \frac{82 \cdot 1000}{600} = 136,667 \text{ В.}$$

Вибираємо комплектний електропривод типу КТЕ- VI.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Номинальний струм і напруга ТП для приводу подань були вибрані:

$$U_{dn} = 230\text{В}, \quad I_{dn} = 200\text{А}.$$

Схема з'єднання електроприводів тиристорів постійного струму показана на мал. 2.2. Силова схема реверсивного випрямляча тиристора для ланцюга якоря зображена на мал. 2.3.

Вибір типу силового трансформатора робиться по потужності S_T , а також номінальній напрузі його вторинної обмотки U_2 з умови:

$$U_{2л} \geq \frac{U_{dn}}{1,35} = \frac{230}{1,35} = 170,37\text{В},$$

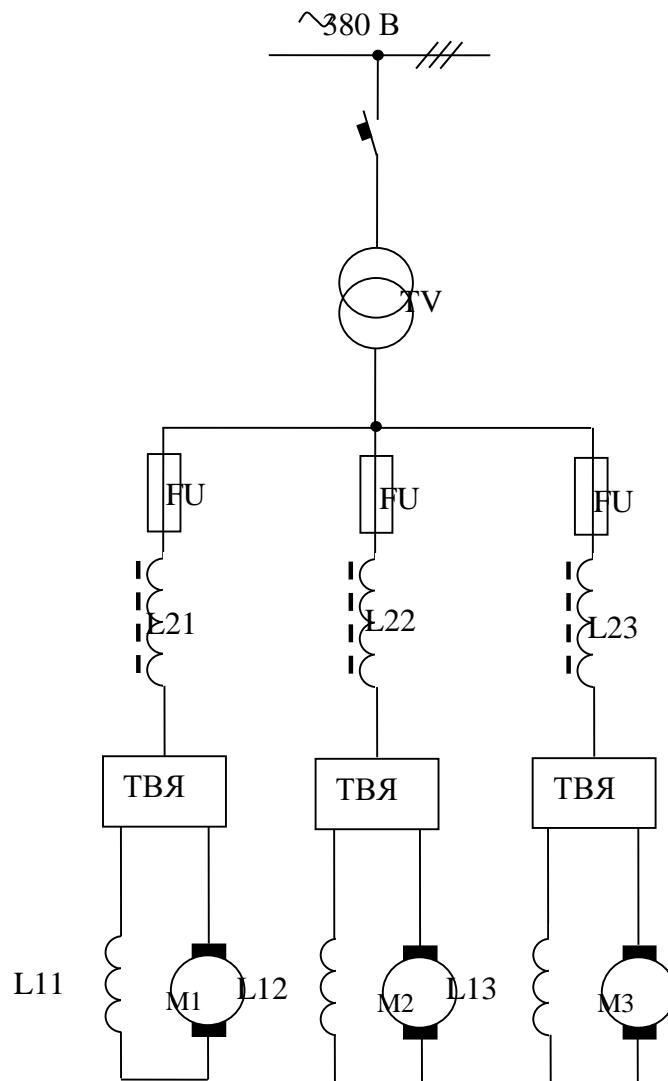
$$S_T \geq 1,4 \cdot n_n \cdot K_c \cdot U_{2л} \cdot I_{dn},$$

де $n_n=3$ – кількість приводів подань; K_c - коефіцієнт попиту, що враховує неодноразовність роботи приводів подань ($K_c=0,65$).

$$S_T \geq 1,4 \cdot n_n \cdot K_c \cdot U_{2л} \cdot I_{dn} = 1,4 \cdot 3 \cdot 0,65 \cdot 170,37 \cdot 200 = 9,302 \cdot 10^4 \text{ ВА}$$

По каталогу був вибраний трансформатор: **ТСЗ – 100/0,66.**

Номинальна потужність	$S_T=100000 \text{ ВА}$
Номинальна напруга первинної обмотки	$U_{1л}=380 \text{ В}$
Номинальна напруга вторинної обмотки	$U_{2л}=230 \text{ В}$
Потужність короткого замикання	$\Delta P_{кз}=1500 \text{ Вт}$
Напруга короткого замикання	$u_k=4,5 \%$



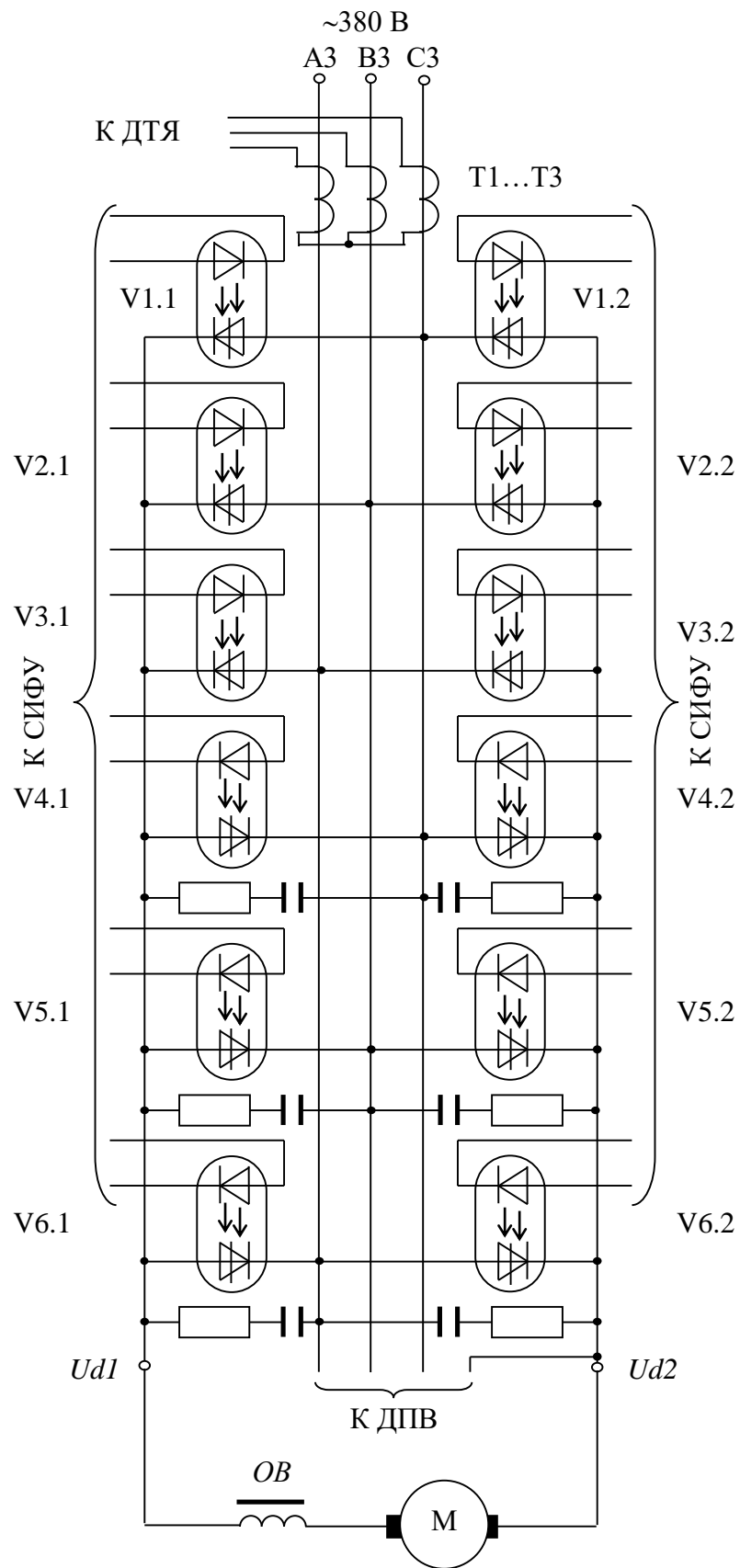
Мал. 2.2.Схема включення електроприводів тиристорів постійного струму
(приводів подань).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

37



Мал. 2.3 Силовая схема реверсивного выпрямляча тиристора
для ланцюга якоря

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

38

По каталогу був вибраний мережевий реактор

Номінальний струм, А	Активний опір, мГн	Індуктивність реактора, Ом
200	0,17	0,0061

- Дроселі у вентильному електроприводі виконують наступні функції:
- зменшують зону переривчастих струмів;
- згладжують пульсації випрямленого струму;

обмежують струм через вентилі в перший напівперіод живлячої напруги при короткому замиканні на стороні випрямленого струму.

У реверсивному вентильному електроприводі на дроселі додатково покладається завдання обмеження швидкості наростання аварійного струму при перекиданні інвертора.

Розрахунок необхідної величини індуктивності дроселя виконується виходячи з умови виконання кожної з перерахованих функцій.

Обмеження зони переривчастих струмів

Для отримання гранично - переривчастого режиму при заданому значенні кута регулювання в ланцюг випрямленого струму необхідно включити індуктивність L_d , значення якої можна визначити за виразом :

$$L_d = \frac{1}{\omega} * \left(\frac{U_{d0}}{I_{d_{ГР}}} * k_{Г} - 2 * X_{a\phi} \right),$$

де $p=6$, $\omega = 314$.

$$I_{2\phi} = \frac{S_{Г}}{\sqrt{3} \cdot U_{2л}} = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251,022 \text{ А},$$

$$K_{\Sigma} = \left[1 - \frac{\pi}{p} * \cot\left(\frac{\pi}{p}\right) \right] * \sin(\alpha) = \left[1 - \frac{3,14}{6} \cdot \left(\frac{3,14}{6}\right) \right] \cdot \sin(30^0) = 0,047,$$

$$I_{d_{ГР}} = 0,1 \cdot I_{dn} = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ А},$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,791 \text{ В},$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$Z_T = \frac{uk * U_{2\phi}}{100 * I_{2\phi}} = \frac{4,5 \cdot 132,791}{100 \cdot 251,022} = 0,024 \text{ Ом},$$

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3}}{3 * I_{2\phi}} = \frac{1500}{3 \cdot 251,022} = 7,935 \cdot 10^3 \text{ Ом},$$

$$X_{a\phi} = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{5,667 \cdot 10^{-4} - 6,296 \cdot 10^{-5}} = 0,022 \text{ Ом},$$

$$U_{d0} = U_{2л} * 1,35 = 230 \cdot 1,35 = 310,5 \text{ В},$$

$$L_d = \frac{1}{\omega} * \left(\frac{U_{d0}}{I_{d_{ГР}}} * K_2 - 2 * X_{a\phi} \right) - \frac{L_p * 2}{1000} = \frac{1}{314} \cdot \left(\frac{310,5}{20} \cdot 0,047 - 2 \cdot 0,022 \right) - \frac{0,17 \cdot 2}{1000} =$$

$$= 1,819 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Знаючи індуктивність якоря двигуна Ля, можна визначити чи потрібний додатковий дросель для отримання заданий початковий - безперервного струму і яка його індуктивність:

$$L_{дР} = L_d * 1000 - L_{я} = 1,819 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 - 0,348 = 1,471 \text{ мГн},$$

Згладжування пульсацій випрямленого струму

У симетричній бруківці схемі амплітудні значення гармонійних складових випрямленої напруги U_{dnm} пов'язані з його середнім значенням U_{d0} і кутом регулювання перетворювача таким чином:

$$U_{dnm} = \frac{2 * \cos(\alpha * \text{deg}) * U_{d0}}{\hat{E}a^2 * \delta^2 - 1} * \sqrt{1 + \hat{E}a^2 \cdot \delta^2 \cdot (\tan(\alpha * \text{deg}))^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot \cos(30^0) \cdot 310,5}{0,047^2 \cdot 6^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + 0,047^2 \cdot 6^2 \cdot (\tan(30^0))^2} = 55,402 \text{ А}$$

де $K_{Г}=1$, $i_l=10\%$, $\alpha = 30$.

У симетричній бруківці схемі найбільшу амплітуду має основна гармоніка $K_{Г}=1$. Амплітуди гармонік більш високої кратності значно менше, а дія дроселя на них ефективніша, тому розрахунок індуктивності дроселя ведеться тільки по основній гармоніці.

$$L_d = \frac{U_{dnm} * 100}{\sqrt{2} * K_2 * p * \omega * i_l * I_{dн}} = \frac{55,402 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 0,047 \cdot 6 \cdot 314 \cdot 10 \cdot 200} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$L_{дР} = L_d * 1000 - L_{я} = 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 - 0,348 = 0,692 \text{ мГн}.$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

Обмеження струму через вентилі при короткому замиканні на стороні постійного струму

При короткому замиканні на стороні постійного струму дросель повинен обмежувати швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для вентилів значення до спрацьовування захисних пристроїв (від моменту перевищення струму установки захисного пристрою до початку розбіжності контактів і утворення електричної дуги).

Обмеження струму через вентилі може бути отримане за рахунок індуктивності розсіяння обмоток трансформатора і індуктивності в ланцюзі постійного струму.

Індуктивність дроселя визначається по наступній наближеній формулі:

$$L_{др} = \frac{2,1 * U_{2л}}{\omega * (I_{доп} - I_{нач})} - \frac{2 * X_{аф}}{\omega} - 2 * L_p = \frac{2,1 \cdot 230}{314 \cdot (2000 - 200)} - \frac{2 \cdot 0,022}{314} - 2 \cdot 0,17 = -0,339 \text{ Гн}$$

Обмеження струму при перекиданні інвертора

При однофазному перекиданні в мостовій схемі якір двигуна закорачивається через вентилі .

Індуктивність реактора, необхідна для обмеження аварійного струму на час спрацьовування захисту, може бути визначена з наближеного вираження:

$$L_d = \frac{0,01 * R_{я}}{\ln \left[\frac{\frac{E_{нач}}{R_{я}} - I_{нач}}{\frac{E_{нач}}{R_{я}} - I_{доп}} \right]} = \frac{0,01 \cdot 0,033}{\ln \left[\frac{\frac{230}{0,033} - 200}{\frac{230}{0,033} - 2000} \right]} = 1,068 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

де $I_{доп}$ – максимально допустимий впродовж одного напівперіоду струм вентилів ($I_{доп} = 10 * I_{дн} = 2000 \text{ А}$) : для сучасних вентилів значення $I_{доп}$ знаходиться в діапазоні $(10.15) I_{дн}$; $I_{нач}$ - струм навантаження у момент короткого замикання ($I_{нач} = I_{дн} = 200 \text{ А}$).

$$L_{др} = L_d * 1000 - L_{я} = 1,068 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 - 0,348 = 0,72 \text{ мГн.}$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

Виходячи з розрахунків індуктивностей дроселів, робимо висновок, що установку дроселя потрібно, з індуктивністю: $L_{dr}=1,462$ мГн.

Тип дроселя ФРОС 65/0,5 У3 з $L_{dr}=1,5$ мГн, $R_{dr}=0,0068$ Ом.

2.6 Розрахунок параметрів САР і об'єкту управління

2.6.1 Привід тиристора постійного струму

У цьому пункті дипломного проекту визначаються параметри об'єкту управління, необхідні для розрахунку системи регулювання електроприводом : активні опори, індуктивності і електромагнітні постійні часу якірного ланцюга, постійна електромеханічна часу, коефіцієнти передачі датчиків зворотних зв'язків.

$$L_T = \frac{Xa\phi}{\omega} = \frac{0,022}{314} = 7,148 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.}$$

Опір, обумовлений перекриттям вентилів :

$$R_\gamma = p * \frac{Xa\phi}{2 * \pi} = \frac{6 \cdot 0,022}{2 \cdot 3,14} = 0,021 \text{ Ом,}$$

де p – пульсність випрямляча (для трифазної бруківки схеми випрямляча $p=6$).

Активний опір, індуктивність і електромагнітна постійна якірному ланцюгу, приведені до температури обмоток 90 градусів:

$$R_\Sigma = (R_\gamma + 2 * r_T + 2 * r_p + R_{др}) * [1 + (90 - 20) * \alpha] + R_\gamma = \\ = (0,033 + 2 \cdot 7,935 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 6,1 \cdot 10^{-3} + 6,8 \cdot 10^{-3}) \cdot [1 + (90 - 20) \cdot 0,004] + 0,021 = 0,108 \text{ Ом}$$

$$L_\Sigma = \frac{L_\gamma}{1000} + \frac{2 * L_p}{1000} + \frac{L_{др}}{1000} + 2 * L_T = \frac{0,348}{1000} + \frac{2 \cdot 0,17}{1000} + \frac{1,5}{1000} + 2 \cdot 7,148 \cdot 10^{-5} = 2,331 \cdot 10^{-3}$$

$$T = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{2,331 \cdot 10^{-3}}{0,108} = 0,022 \text{ с,}$$

α - температурний коефіцієнт опору для міді (0,004);

Коефіцієнт моменту для високомоментного двигуна:

$$k_\phi = \frac{Md0}{Id0} = \frac{176}{180} = 0,978.$$

Коефіцієнт передачі випрямляча тиристора з пилкоподібною опорною напругою в СИФУ:

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$K_{в\gamma} = \frac{U_{d0} * \pi}{U_{опт} * 2} = \frac{310,5 * 3,14}{10 * 2} = 48,773,$$

где $U_{d0} = kU * U_{пит} = 1,35 * 230 = 310,5$ В, $kU = 1,35$ - для трифазної бруківки схеми

$$U_{пит} = U_{2л} = 230 \text{ В},$$

$U_{опт} = 10$ - амплітуда опорної напруги (8.12 В).

2.6.2 Параметри САР одинзонного електроприводу з ВМД

Початковими даними для синтезу регуляторів є параметри об'єкту управління, необхідна резонансна частота замкнутого контура швидкості $\square p$ і коефіцієнти А, В, З, що характеризують форму перехідного процесу.

Функціональна схема САР приведена на мал. 2.4, структурна - на мал. 2.5 Система регулювання швидкості - двоконтурна, з внутрішнім контуром струму і пропорційним регулятором струму. Вузол залежного струмообмеження УЗТ забезпечує обмеження рівня струмообмеження залежно від швидкості, згідно перевантажувальної здатності ВМД. Нелінійна ланка НЗ призначена для компенсації нелінійності статичної характеристики випрямляча тиристора і контура струму в зоні переривчастих струмів. Перемикач характеристик ПХ забезпечує незмінну полярність завдання на струм при реверсі випрямляча тиристора. Блок логіки БЛ забезпечує роздільне управління групами реверсивного випрямляча. Після реверсу вихідного сигналу регулятора швидкості РС і замикання групи тиристорів, що працювала раніше, ТБ дає команду на перемикач каналів СИФУ і ПХ, здійснюючи тим самим роздільне управління ТБ.

Датчик провідності вентилів ДПВ контролює стан тиристорів і при замиканні усіх тиристорів формує дозволяючий сигнал на реверс комплектів. Сигнал позитивного зворотного зв'язку за швидкістю подається на вхід НЗ, призначений для компенсації внутрішньому негативному зворотному зв'язку по ЭДС в двигуні.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Для стежачого приводу подань :

A=0,823; B=0,25; C=0,7; $\omega_p=230$; $K_{рт}=1$.

Бажана постійна часу замкнутого контура струму ланцюга якоря :

$$T_C = \frac{C}{\omega_p} = \frac{0,7}{230} = 3,043 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Коефіцієнт передачі датчика струму якоря :

$$K_{дтя} = \frac{3 * K\Phi}{M_{\max}} = \frac{3 \cdot 0,978}{510} = 5,752 \cdot 10^{-3},$$

Інтенсивність зворотного зв'язку по струму:

$$K_i = \frac{R_{\text{э}}}{K_{дтя} * K_{\text{в\text{я}}} * K_{\text{рт}}} * \left(\frac{T}{T_C} - 1 \right) = \frac{0,108}{5,752 \cdot 10^{-3} \cdot 48,773 \cdot 1} \cdot \left(\frac{0,022}{3,043 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) =$$
$$= 2,344$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Коефіцієнт передачі замкнутого контура струму :

$$K_T = \frac{K_{в\alpha}}{R_{\Sigma} + K_{\Delta T\alpha} * K_i * K_{в\alpha} * K_{р\tau}} = \frac{48,773}{0,108 + 5,752 \cdot 10^{-3} \cdot 2,344 \cdot 48,773 \cdot 1} = 63,682,$$

$$I_{MAX} = \frac{M_{max}}{K_{\Phi}} = \frac{510}{0,978} = 521,591 \text{ А},$$

$$\omega_{ДВ max} = \frac{\pi * 2000}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209,44 \text{ рад/с},$$

$K_{\Delta c} = 0,287$ - коефіцієнт передачі датчика швидкості (таблиця 8.2).

Обмеження регулятора швидкості :

$$U_{PCmax} = \frac{I_{MAX}}{K_T} = \frac{521,591}{63,682} = 8,191 \text{ В}.$$

Максимальне завдання на швидкість:

$$U_{3Cmax} = 10 \text{ В}.$$

Ланка, що коригує :

$$K_{\omega} = \frac{U_{3Cmax}}{K_{\Delta c} * \omega_{ДВ max}} = \frac{10}{0,287 \cdot 104,667} = 0,333.$$

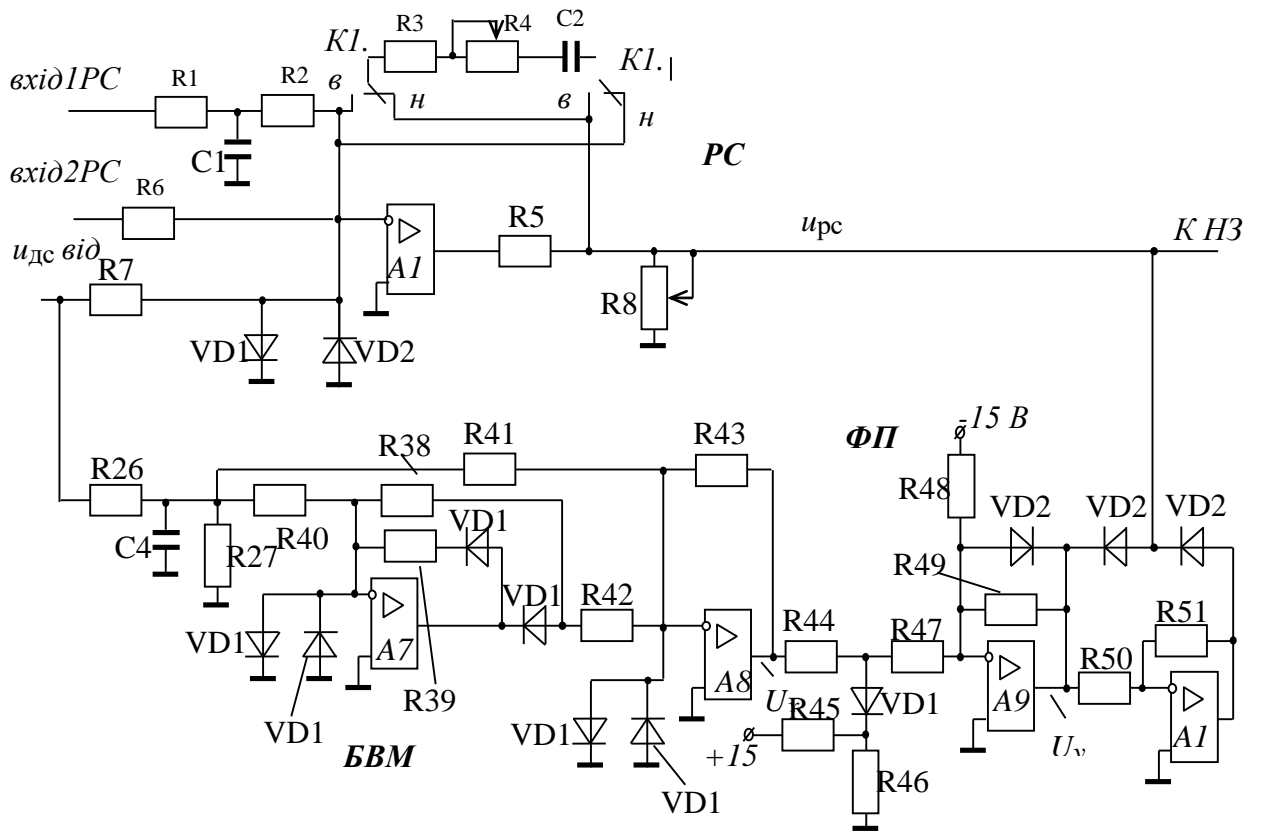
Розраховуємо параметри регулятора швидкості :

$$K_{pc} = \frac{A * J_1}{K_T * T_c * K_{\Delta c} * K_{\Phi} * K_{\omega}} = \frac{0,823 \cdot 0,302}{63,682 \cdot 3,043 \cdot 10^{-3} \cdot 0,287 \cdot 0,978 \cdot 0,333} = 13,724$$

$$T_{pc} = \frac{A * T_c}{B} = \frac{0,823 \cdot 3,043 \cdot 10^{-3}}{0,25} = 0,01 \text{ с}.$$

Коефіцієнт передачі позитивного зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_e = \frac{K_{\Phi}}{K_{\Delta c} * K_{в\alpha} * K_{р\tau}} = \frac{0,978}{0,287 \cdot 48,773 \cdot 1} = 0,07$$



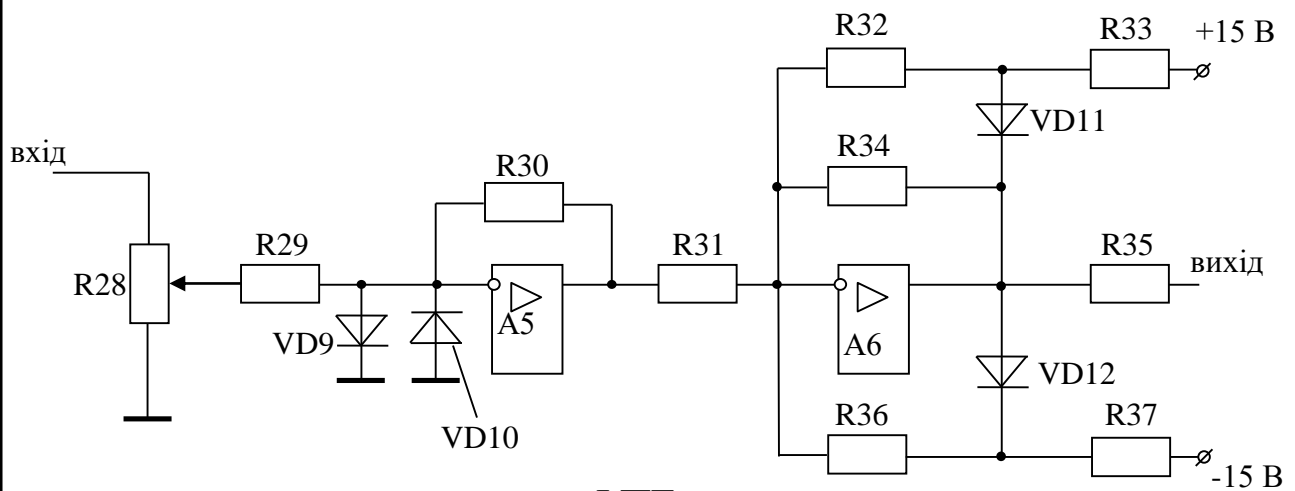
Мал. 2.7 Регулятор швидкості і вузол залежного струмообмеження

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

48



ФПЕ

Мал. 2.8 Функціональний перетворювач ЕДС

Розрахунок елементів принципової схеми САР.

Привласнюємо $R24 = 47 \text{ кОм}$, $R25 = R24$,

$$R_i = \frac{R25}{K_i} = \frac{47}{2,344} = 20,05 \text{ кОм},$$

$$R_9 = \frac{R25}{K_e} = \frac{47}{0,07} = 672,854 \text{ кОм}.$$

Параметри регулятора швидкості :

$$R_{3C} = 100 \text{ кОм},$$

$$R3 + R4 = K_{pc} \cdot R_{3C} = 13,724 \cdot 100 = 1,372 \cdot 10^3 \text{ кОм},$$

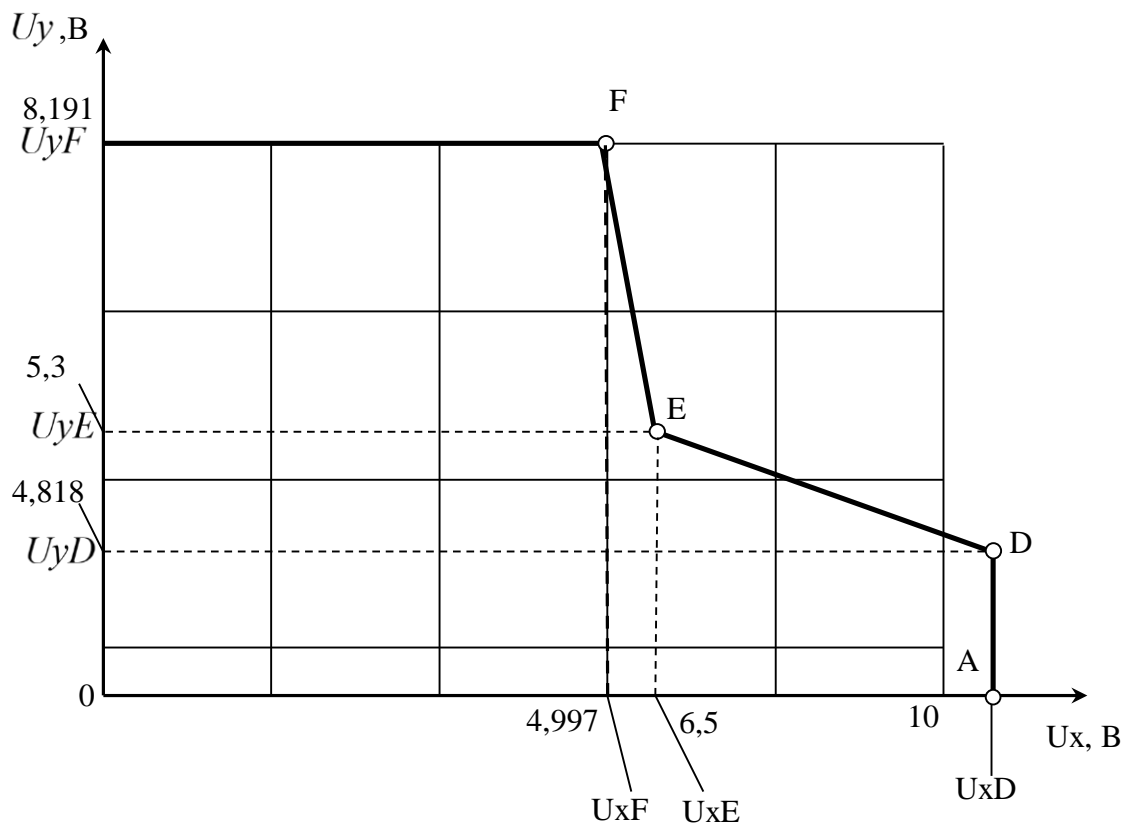
$$\beta = 2.$$

Номинали елементів зворотного зв'язку рівні:

$$C2 = \frac{\beta^2 \cdot T_{pc}}{R3} = \frac{4 \cdot 0,01}{1,372 \cdot 10^3} = 2,92 \cdot 10^{-5} \text{ мкФ},$$

$$U_{3CM} = 10 \text{ В}, \quad U_{ДСМ} = K_{\delta c} \cdot \omega_{Д\max} = 0,287 \cdot 104,6 = 30,039 \text{ В},$$

$$R\omega = \frac{R_{3C} \cdot U_{ДСМ}}{U_{3CM}} = \frac{100 \cdot 30,039}{10} = 300,393 \text{ кОм},$$



Мал. 2.9 До розрахунку вузла залежного струмообмеження (ВЗС).

Для синтезу параметрів ВЗС використовуваний апроксимацію комутаційної кривої ВМД (мал. 2.1). Саме цю комутаційну криву апроксимує статична характеристика (мал. 2.9) функціонального перетворювача (ФП), який входить до складу ВЗС(мал. 2.7). Як видно з схеми, напруга зміщення у ФП дорівнює $U_{см}=15В$. Опором R14 задаємося. Вхідна і вихідна напруга ФП для опорних точок D, E, F обчислюються по приведених нижче формулах.

$$U_{НАС} = 8 \text{ В,}$$

$$K_{бвм} = \frac{U_{PCmax} \cdot K\Phi \cdot K_m}{M_{max}} = \frac{8,191 \cdot 0,978 \cdot 1}{510} = 1,$$

$K_{бвм}$ - коефіцієнт передачі блоку виділення модулів (БВМ). Він має бути таким, щоб вихідна напруга БВМ при максимальному моменті не перевищувала напругу насичення ($U_{нас}=8 \text{ В}$) підсилювача А1 регулятора швидкості.

$$U_{xF} = \omega_F \cdot K_{дс} \cdot K\omega \cdot K_{бвм} = 52,3 \cdot 0,287 \cdot 0,333 \cdot 1 = 4,997 \text{ В,}$$

$$U_{xE} = \omega_E \cdot K_{дс} \cdot K\omega \cdot K_{бвм} = 68,03 \cdot 0,287 \cdot 0,333 \cdot 1 = 6,5 \text{ В,}$$

$$U_{xD} = \omega_{Dmax} \cdot K_{дс} \cdot K\omega \cdot K_{бвм} = 104,6 \cdot 0,287 \cdot 0,333 \cdot 1 = 10 \text{ В.}$$

$$MF = M_{max};$$

$$ME = 330 \text{ Нм;}$$

$$MD = 300 \text{ Нм,}$$

$$R_6 = 2,7 \text{ кОм},$$

$$U_{HAC} = 15 \text{ В},$$

$$R_8 = \frac{U_{yF} \cdot R_6}{U_{HAC} - U_{yF}} = \frac{3 \cdot 2,7}{15 - 3} = 3,248 \text{ кОм}.$$

Вихідний сигнал РС при цьому:

$$u_{PC} = \frac{U_{HAC} \cdot R_8}{R_6 + R_8} = \frac{15 \cdot 3,248}{2,7 + 3,248} = 8,191 \text{ В}.$$

$$u_{PC} = U_{yF}$$

Опори в ланцюзі інвертора А5 мають бути однакові ($R_{50}=R_{51}=20 \text{ кОм}$). Більшість опорів, які входять до складу БВМ, приймаються також одного номінала ($R_{40}=R_{39}=R_{42}=22 \text{ кОм}$), тільки:

$$R_{40} = 22 \text{ кОм},$$

$$R_{41} = 2 \cdot R_{40} = 2 \cdot 22 = 44 \text{ кОм},$$

$$R_{43} = 2 \cdot K_{BVM} \cdot R_{40} = 2 \cdot 1 \cdot 22 = 44 \text{ кОм}.$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

Метою досліджень динаміки розробленої системи управління електроприводом подання є перевірка якості перехідних процесів в системі автоматичного регулювання в характерних для цього електроприводу режимах. Оскільки при синтезі регуляторів САР були прийняті ряд допущень, розрахунок перехідних процесів повинен довести правомірність цих допущень і продемонструвати задовільну якість перехідних процесів при прийнятих параметрах регуляторів.

Структурна схема системи автоматичного регулювання електроприводу подання приведена на малюнку 2.5.

Найбільш зручним з точки зору технічної реалізації є структурне моделювання з використанням передатних функцій досліджуваного об'єкту. Одним з широко вживаних сучасних пакетів, що реалізують структурне моделювання, є MATLAB.

Виходячи із структурної схеми САР, розрахованих параметрів електроприводу і регуляторів, розроблена математична модель електроприводу подання фрезерного верстата стосовно додатка Simulink пакету MATLAB.

Схема моделі електроприводу тиристора з ВМД при дослідженні динаміки приведена на малюнку 3.1.

В якості параметрів моделі підставлені розраховані в другому розділі коефіцієнти регуляторів і об'єкту управління. На вхід моделі подаються завдання на швидкість і величину струму навантаження. Блок виділення знаку швидкості дозволяє реалізувати реактивний характер струму навантаження.

За допомогою осцилографа знімаються графіки швидкості і струму двигуна.

У моделі відповідні блоки враховують наявність обмеження завдання на величину струму на виході ПІ регулятора швидкості. Також врахований вплив внутрішнього негативного зворотного зв'язку по ЕДС і сигналу, компенсуючого цей зв'язок.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

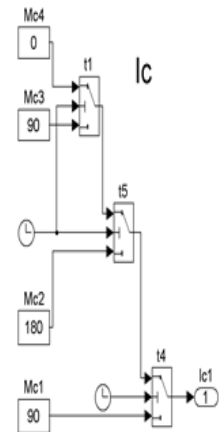
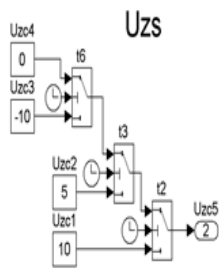
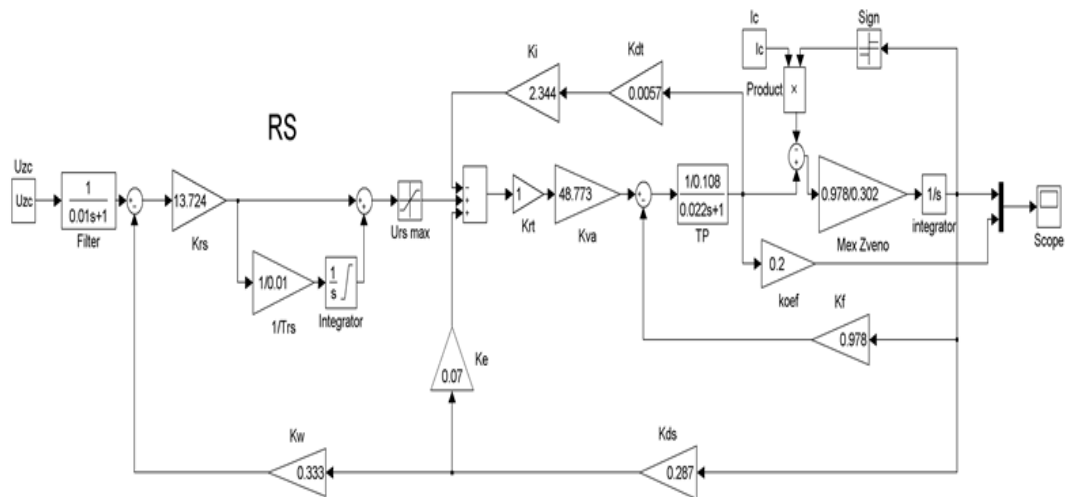
Були досліджені типи для цього електроприводу подання режими роботи :

1. Пуск до швидкості швидкого ходу з невеликим моментом навантаження, обумовленою наявністю сил тертя в механічній передачі;
2. Гальмування до робочої швидкості подання;
3. Накидання навантаження до рівня, що відповідає моменту різання при збереженні робочої швидкості подання;
4. Реверс двигуна до швидкості швидкого ходу у зворотному напрямі;
5. Зупинка приводу при збереженні моменту навантаження сил тертя.

Також була змодельована ситуація, коли замість навантаження J_n , подавалося навантаження $2J_n$, тобто збільшувалася вага деталі в два рази. При цьому електропривод мав достатню швидкодію (точність підтримки заданого значення швидкості при різних значеннях моменту опору висока), коливальна струму і швидкості при виході на значення, що встановилося, знаходилася в допустимих межах, значення струму в перехідних процесах не перевищувало максимально допустимий рівень.

Представлені результати підтверджують правильність зроблених розрахунків параметрів електроприводу і налаштувань регуляторів. Якість перехідних процесів задовольняє вимогам, що пред'являються до приводів подань фрезерних верстатів.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55



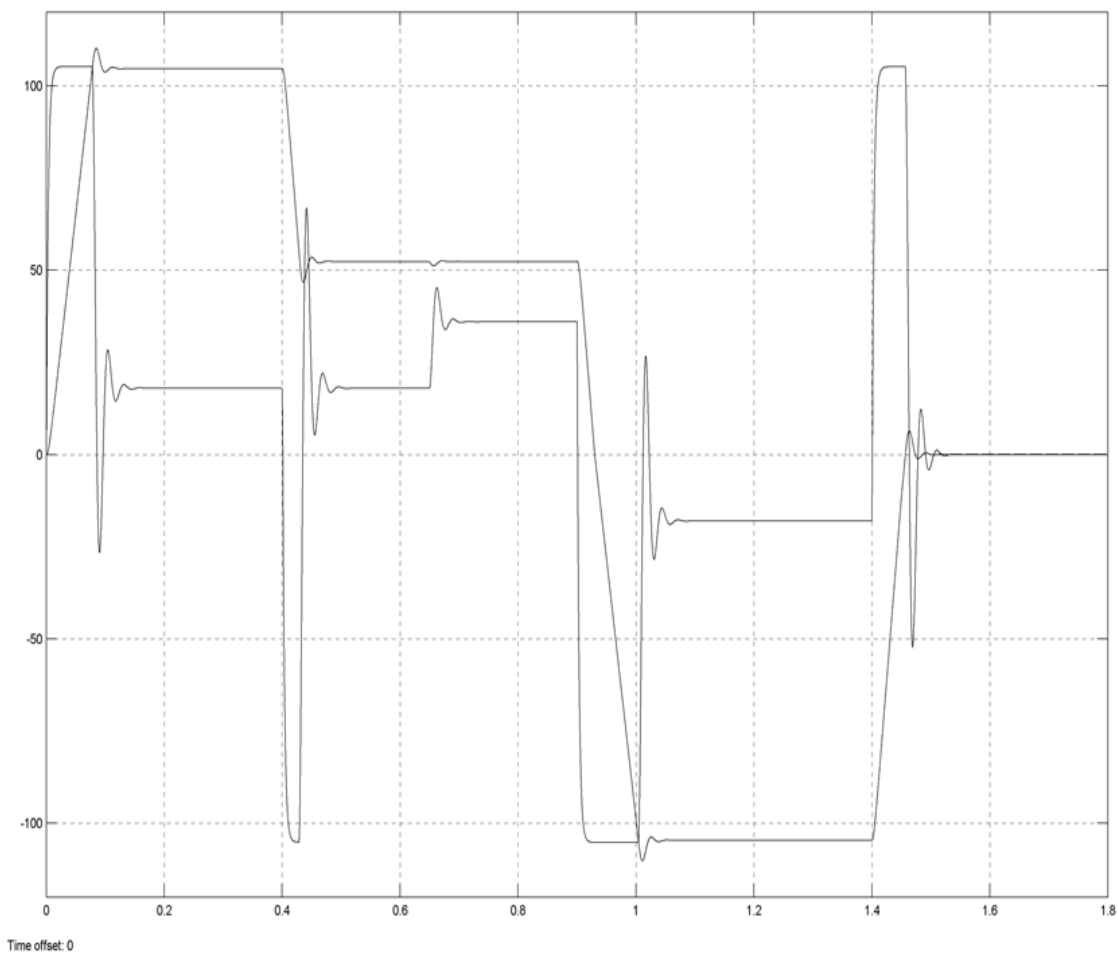
Мал. 3.1 Модель одинзонного електроприводу з ВМД в пакеті MATLAB

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

56



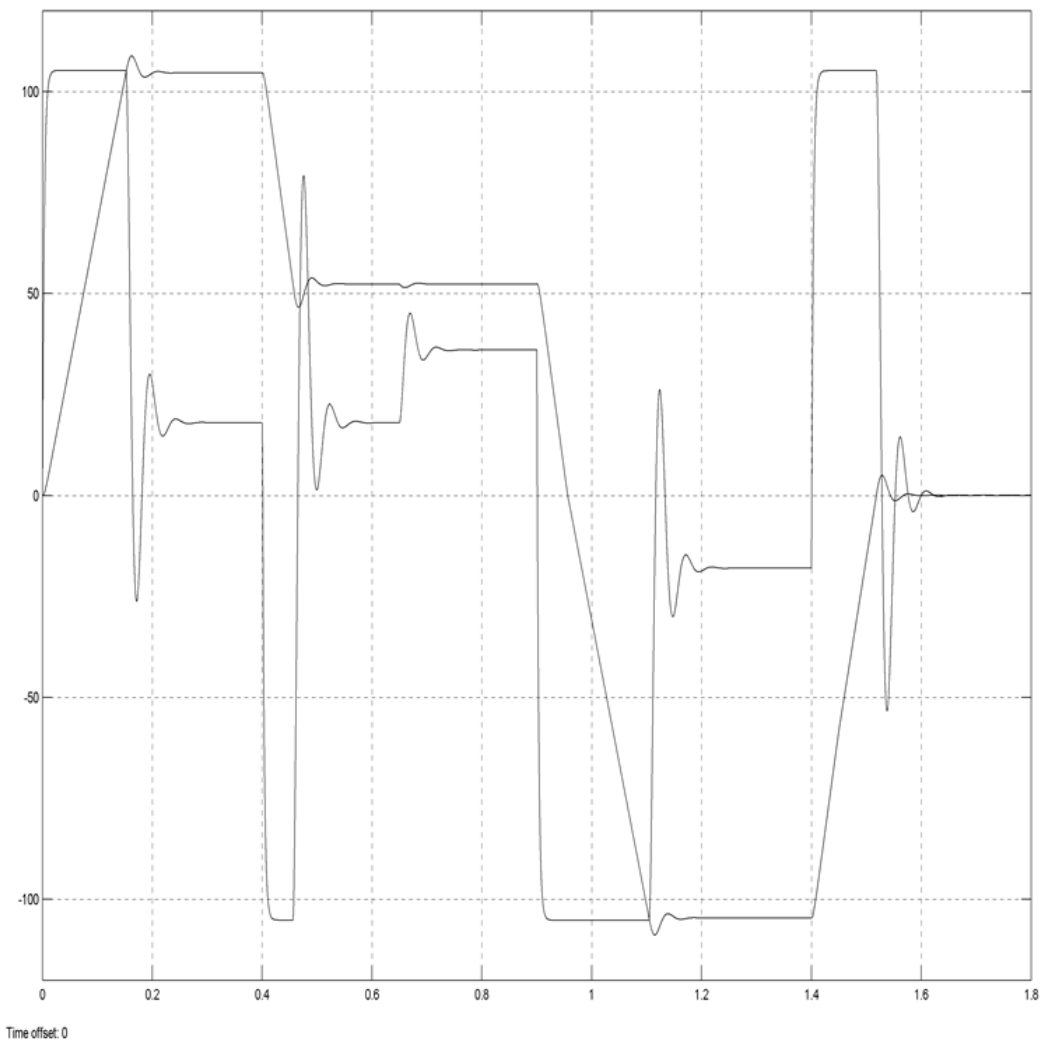
Мал. 3.2 Графіків перехідних процесів при $J=J_n$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

57



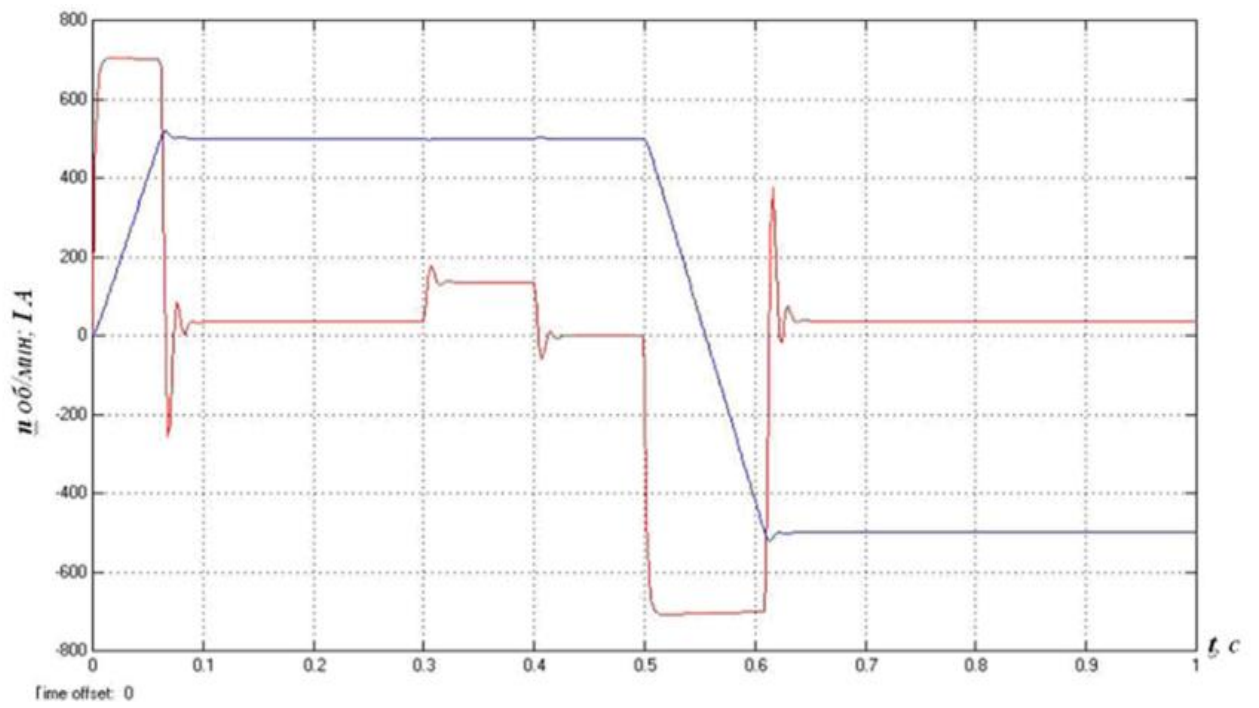
Мал. 3.3 Графіків перехідних процесів при $J=2jн$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

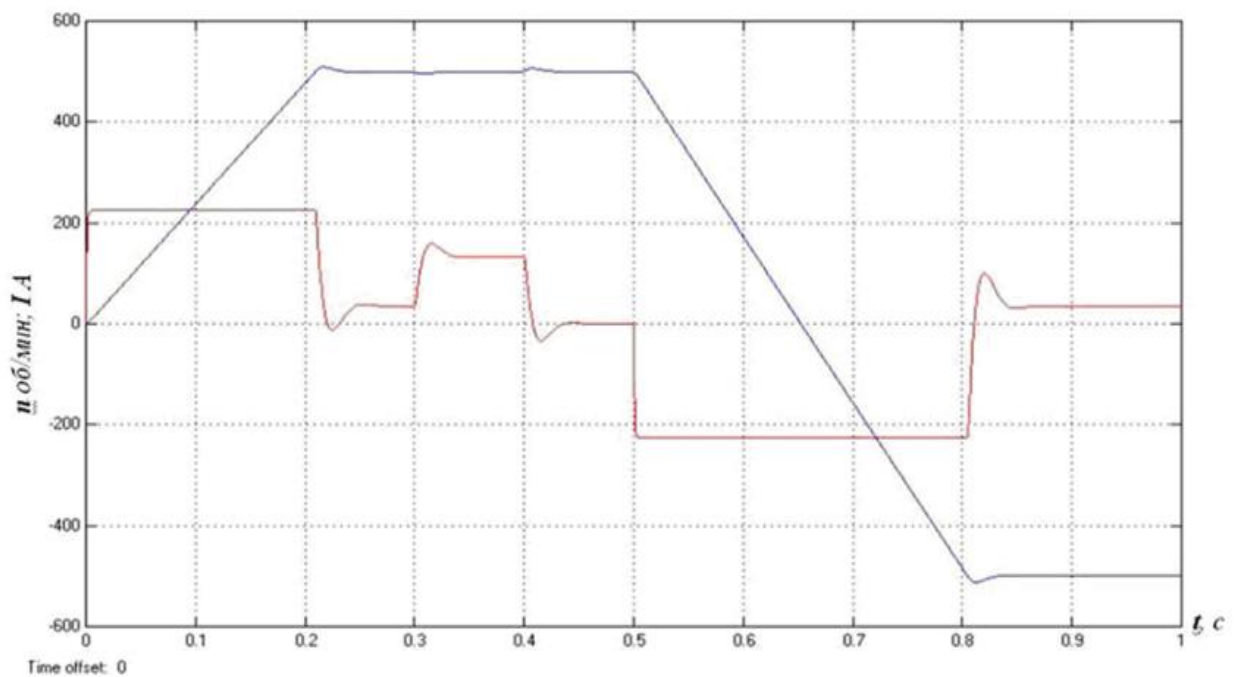
ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

58



Мал. 3.4 Графік перехідних процесів зі зменшенням K_i



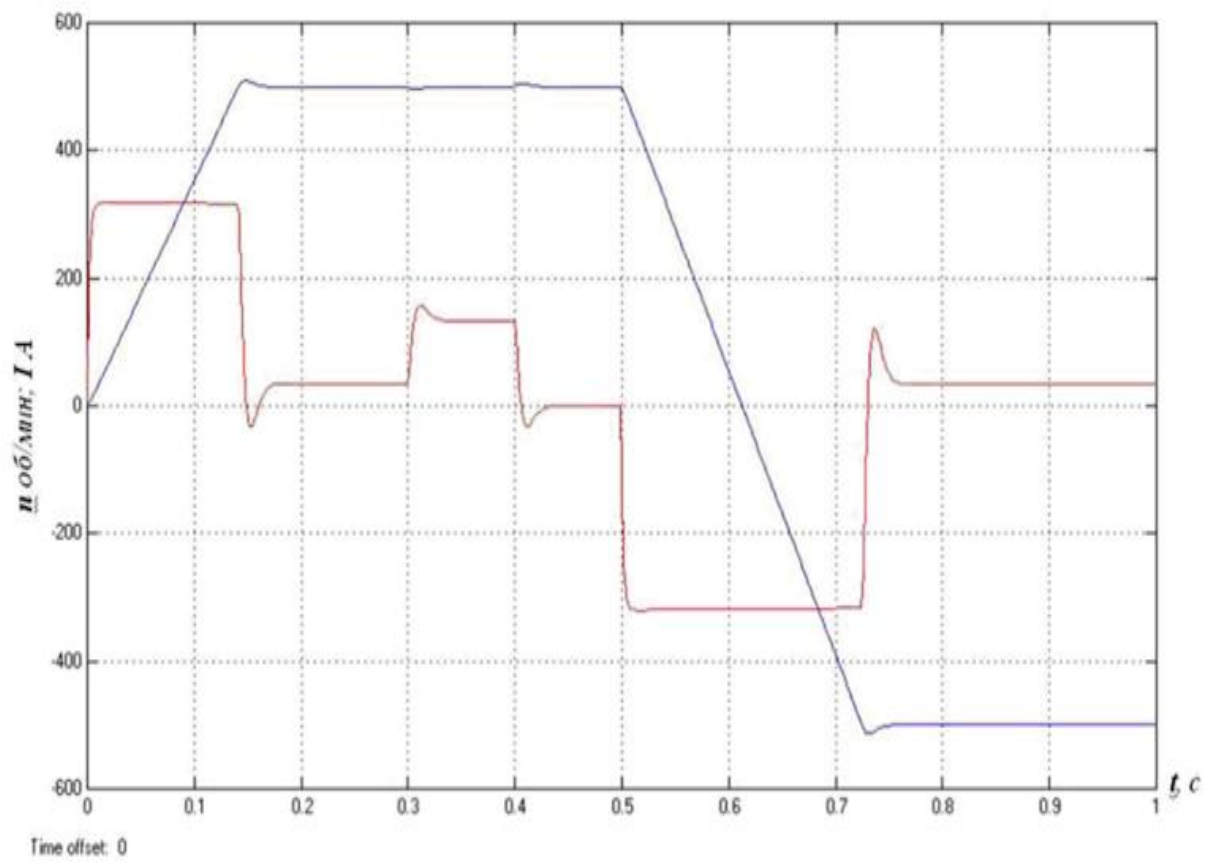
Мал. 3.5 Графік перехідних процесів зі збільшенням K_i

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

59



Мал. 3.6 Графік перехідних процесів з накиданням навантаження

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ

Лист

60

Справа. №	Перв. примен.
-----------	---------------

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв №	Инд. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

Розділ 4

Охорона праці

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Нужнов В.С			Охорона праці	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Колб А.А				Л		
Т.								
Н.		Казачковський						
Утв.								
						141-16-4		

4.1 Інженерно-технічні заходи по охороні праці

4.1.1 Обґрунтування класу приміщення по небезпеці враження електричним струмом

Розглянемо питання техніки безпеки і охорони праці стосовно фрезерного верстата 6М610Ф11 в умовах ВАТ "Днепротяжбуммаш" им.Артема.

Верстат розташований в цеху № 2. Метеорологічні умови в приміщенні характеризуються наступними параметрами:

- відносна вологість повітря 50-70 %;
- швидкість руху повітря не перевищує 0.2 м/с;
- теплове випромінювання від електроустаткування є незначним;
- обігрів приміщення здійснюється від центральної системи опалювання заводу;
- у холодні і перехідні періоди температура знижується до 10°C, в жаркі місяці піднімається до 25°C;

В процесі роботи устаткування відсутнє виділення токсичного або вибухового пилу, отруйної, горючої, вибухової пари або газів. Робота верстата супроводжується виникненням електромагнітного шуму низької інтенсивності, механічного шуму. Поли в цеху бетонні.

Згідно з нормуванням метеорологічних умов цех відноситься до виробничих приміщень з легкою категорією роботи.

З точки зору безпеки поразки електричним струмом цех відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою і характеризується наявністю можливості одночасного дотику людини до тих, що мають з'єднання із землею корпусам устаткування, металевим конструкціям будівлі з одного боку і до токоведучих частин електроустаткування нормально або що випадково знаходиться під напругою - з іншого боку. Також враховується те, що бетонна підлога проводить струм і в атмосфері цеху може знаходитися струмопровідний пил.

4.1.2 Обґрунтування режиму нейтралі живлячих мереж на об'єкті

Електроустаткування отримує живлення від трифазної чотирьо-провідної мережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю напругою до 380В. Згідно

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

ПУЕ цю схему слід застосовувати для великих підприємств з протяжними мережами напругою до 1000 В, що мають велику місткість і низький рівень опору ізоляції. У такій мережі основною захисною мірою є занулення, а не заземлення, тобто при замиканні на корпус відбувається відключення пошкоджених електроустановок струмовим захистом.

4.1.3 Заходи по електробезпеці

- для попередження замикання на землю і коротких замикань необхідно проводити контроль ізоляції. Ізоляцію перевіряють на міцність підвищеною напругою за допомогою мегомметра (M1101), який вибирається на напругу рівне номінальному або трохи більше;
- захист від випадкового дотику до токоведучої частини здійснюється розташуванням їх в недоступних місцях або застосуванням сітчастого обгороджування, на верстаті токоведучі частини розташовані в спеціальній шафі, що закривається на ключ;
- корпус верстата і металевих струмопровідних частин може виявитися під напругою при замиканні на корпус, тому необхідно прокладати шину, сполучену з низькоомним контуром заземлення для приєднання дротів заземлення верстата. Опір контура заземлення не повинен перевищувати 40м.
- перед оглядом або ремонтом верстата необхідно вимкнути ввідний автомат і вивісити попереджувальний напис "Не включати - ремонт, Не включати - наладка";
- персонал, допущений у встановленому заводом порядку до роботи на верстаті, а також до його наладки та ремонту, зобов'язаний:
 - а) отримати інструктаж по техніці безпеки відповідно до заводських інструкцій;
 - б) ознакомиться з правилами експлуатації і ремонту верстата, а також з експлуатаційною документацією, що додається до пристроїв;
 - в) ознакомиться з "Правилами технічної експлуатації верстатів з ЧПУ".

4.1.4 Заходи по охороні праці

Для забезпечення безпеки роботи необхідно:

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

- ремінна передача приводу головного руху повинна закриватися кожухами, що оберігають від травмування при роботі головного приводу;
- зовнішні торці протекторів каретки і супорта забарвлюються в жовтий колір;
- зона обробки захищається рухливим обгороджуванням з листової сталі, що має оглядове вікно з прозорого матеріалу. Верстат також має бути оснащений блокуванням, що допускає включення обертання шпинделя тільки в закритому положенні рухливого обгороджування;
- органи управління затискними механізованими пристроями (затиск-розтиск оброблюваних заготівель в затискних патронах, підведення-відведення пиноли задньої бабки) оснащуються блокуваннями, що унеможливають подання команд на введення їх в дію при включеному приводі головного руху;
- руків'я і інші органи управління верстатів забезпечуються надійними фіксаторами, що не допускають мимовільних переміщень органів управління;
- а електрошафі встановлюється знак напруги по ГОСТ 12.4.027-76 [7];
- ввідні вимикачі мають покажчик у вигляді миготливого пристрою, що показує стан його контактів;
- на верстатах є кнопка "Стоп" (аварійна) з грибоподібним штовхальником збільшеного розміру, встановлена на панелі, закріпленій на каретці верстата;
- шафи електроустаткування і клемні коробки мають виконання по мірі захищеності IP54 по ГОСТ 14254-80 [7];
- на верстатах застосовується перемикач "Стоп-подачі" і "Стоп-шпинделя", що дає можливість операторові при необхідності послідовно зупинити подання і обертання шпинделя без відключення верстата;
- переміщення каретки і супорта обмежуються в крайніх положеннях блоками путніх кінцевих вимикачів, що дають послідовно команди на останов подання і на аварійне відключення верстата;

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

- при обробці нової деталі необхідно провести попередню обробку програми без різання;
- для прибирання стружки необхідно використати спеціальні металеві щітки;
- спочатку верстат включається на малу швидкість для перевірки надійності кріплення деталі;
- деталь при відрізанні різцем не можна підтримувати руками, а слід використати спеціальні дерев'яні прокладення.

4.1.5 Пожежна безпека

Згідно ПУЕ електромашинні приміщення відносно пожежної небезпеки слід відносити до виробництв категорії Г (відповідно до вимог СН і П П-М. 2-72). Виробництва категорії Г характеризуються наявністю речовин і матеріалів в пальному, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується випромінюванням тепла, іскр і полум'я; твердих, рідких і газоподібних речовин, які спалюються або утилізувалися в якості палива.

Цех має бути обладнаний телефонним зв'язком і пожежною сигналізацією, а також в приміщенні повинні знаходитися первинні засоби огнетушення - ящик з сухим піском і ручні углекислотні вогнегасники типів ОУ- 2, ОУ- 5, ОУ- 8. Такі вогнегасники призначені для гасіння невеликих вогнищ усіх видів займань. У цеху слід застосовувати тільки захищені електропроводки (дротом марки ВРГ, кабелем або дротом ПР і ПВ в тонкостінних сталевих трубках). Сполучні і відгалужувальні коробки мають бути пиленепроникними. Допускається відкрита установка на захищених сталевими сітками ділянках КТП з сухими трансформаторами.

4.2 Розрахунок штучного освітлення

Якість інформації, що отримується людиною через зоровий канал, багато в чому залежить від освітлення. Незадовільне освітлення може спотворити інформацію, крім того, воно стомлює не лише зір, але викликає стомлення організму в цілому. Неправильне освітлення може також бути причиною травматизму : погано освітлені небезпечні зони, сліпучі лампи і відблиски від них, різкі тіні погіршують або викликають повну втрату орієнтації працюючих.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

Мета цього розрахунку полягає в наступному: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

Початкові дані: висота приміщення $H=10\text{м}$, довжина приміщення $A=40\text{м}$, ширина приміщення $B=24\text{м}$. Цех відноситься до виробничих приміщень з повітряним простором, який містить в робочій зоні менше 1мг/м^3 пилу, диму, кіптяви.

Розрахунок освітлення здійснимий методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Це приміщення має бічні вікна, відноситься до 4 розряду із зоровою роботою - середній точності, розмір об'єкту розрізнення $0,5\text{-}1\text{мм}$. При малому контрасті і темному фоні необхідна освітленість при загальному освітленні - 300лк .

В якості джерела світла вибираємо газорозрядні лампи. Використовуватимемо світильники з дугоразрядними лампами РСР05/Г03.

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad [1]$$

де: F – необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику, лм;

E - нормована мінімальна освітленість, лк;

S –освітлювана площа, м^2 ;

k - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт мінімальної освітленості (при оптимальних стосунках відстані між світильниками до розрахункової висоти для ДРЛ $z=1.15$);

N - число світильників в приміщенні;

η -коефіцієнт використання світлового потоку.

Набуваємо наступних значень: $E=300\text{лк}$; $k=1.5$; $z=1.15$, при загальному освітленні. Освітлювану площу приміщення визначимо по формулі:

$$S = A \cdot B,$$

де: S – освітлювана площа, м^2 ;

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$A=40$ – довжина приміщення, м;

$B=24$ – ширина приміщення, м;

$$S = 40 \cdot 24 = 960 \text{ м}^2.$$

Розрахункова висота підвісу h світильників зазвичай задається розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення λ між світильниками L до розрахункової висоти підвісу h приймається залежно від типової кривої сили світла світильника. В даному випадку для світильників з газорозрядними лампами рекомендоване значення $\lambda=1$ (при глибокій типовій кривій).

Визначимо розрахункову висоту підвісу по формулі:

$$h = H - h_{св} - h_{рп},$$

де: h – розрахункова висота підвісу, м;

$H=10$ – висота приміщення, м;

$h_{св}=1$ – висота звісу світильника (від перекриття), м;

$h_{рп}=0.8$ – висота робочої поверхності над полом, м.

$$h = 10 - 1 - 0.8 = 8.2 \text{ м};$$

Відстань між рядами світильників визначаємо з формули:

$$L_{рсв} = \lambda \cdot h,$$

$$L_{ррс} = 1 \cdot 8.2 = 8.2 \text{ м};$$

Число світильників в приміщенні:

$$N = \frac{S}{L_{ррс}^2} = \frac{960}{8.2^2} = 14.27 \approx 15 \text{ шт.}$$

Відстань між крайніми світильниками і стіною :

$$l = 0.45 \cdot L_{ррс} = 0.45 \cdot 8.2 = 3.69 \approx 4 \text{ м.}$$

Для визначення коефіцієнта використання знайдемо індекс приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

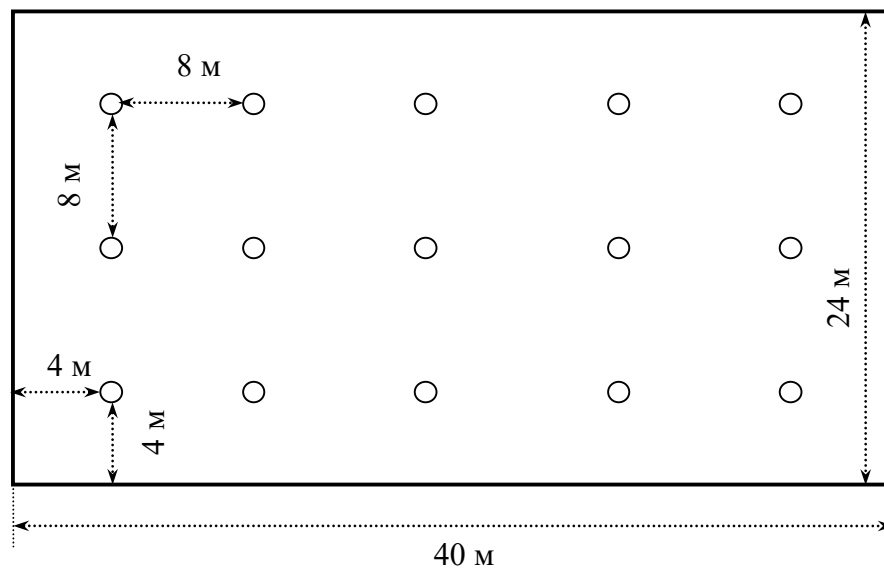
$$i = \frac{40 \cdot 24}{8.2 \cdot (40 + 24)} = 1.83 \approx 2$$

Коефіцієнти відображення поверхонь цеху : стелі -- $\rho_p=70\%$, стін - $\rho_c=50\%$, пола - $\rho_r=10\%$. По отриманих значеннях i і p визначимо величину коефіцієнта використання світлового потоку для РСП05/Г03. Для цього світильника $\eta=74\%$.

По формулі [1] визначимо необхідний світловий потік в кожному світильнику:

$$F = \frac{300 \cdot 960 \cdot 1.5 \cdot 1.15}{15 \cdot 0.74} = 44756.76 \text{ лм.}$$

Розташування світильників в приміщенні цеху приведене на малюнку 4.1.



Малюнок 4.1 Розташування світильників в цеху

Вибираємо лампу ДРЛ1000.

Короткі технічні характеристики вибраної лампи :

потужність–1000Вт;

напруга –145В;

світловий потік після 100 годин горіння-50000лм.

Відхилення розрахункової освітленості від нормованої складає:

$$\Delta = \frac{50000 - 44756.76}{50000} \cdot 100 = 10.5 \%$$

Відхилення знаходиться в допустимих межах, звідси можна зробити висновок, що лампа ДРЛ1000 задовольняє умовам і може бути використана в електромеханічному цеху в якості джерела світла.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв №

Ине. № дубл.

Подп. и дата

Инв. № подл.

Розділ 5

Техніко-економічне обґрунтування

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Разраб.		Нужнов В.С		
Пров.		Колб А.А		
Т.				
Н.		Казачковський		
Утв.				

--	--	--

--	--	--

--	--	--	--	--

Техніко-економічне
обґрунтування

Лит.	Лист	Листов
Л		
141-16-4		

Високий рівень енерговитрат на одиницю ВВП на тлі дефіциту енергоносіїв в Україні, визначає актуальність проектування і впровадження енергозбережних технологій споживання, в першу чергу електроенергії.

Тому метою цього розділу є обґрунтування доцільності впровадження об'єкту проектування, із застосуванням якого зменшуються витрати електроенергії. Це дозволить заощадити засоби підприємства на придбання електричної енергії.

Об'єктом проектування є заміна приводу подовжнього подання фрезерного верстата 6М610Ф11 на економічніший.

При розрахунку витрат на впровадження цього електроприводу розглядаємо наступні питання:

1) розрахунок капітальних витрат на придбання і монтаж електротехнічного устаткування;

2) розрахунок річних експлуатаційних витрат на зміст і обслуговування об'єкту проектування;

5.1 Розрахунок капітальних витрат

До впровадження проектного варіанту на верстаті 6М610Ф11 як привід подовжнього подання використовувався вітчизняний привід "БТУ - 3601". Розрахунки спеціальної частини цього проекту показують, що можливе застосування системи УП-ВМД меншій потужності з високомоментним двигуном ПФВ 160М.

Проектні капіталовкладення в устаткування і монтаж-налагоджувальні роботи узяті на основі цін прейскуранта на електроустаткування підприємства "Днепротяжбуммаш".

(dneprotyazhbummash.uaprom.net)

Розрахунок капітальних витрат оформляється у вигляді зведення капітальних витрат по розділах (таблиця. 5.1.).

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Капітальні витрати (Кпр) на здійснення проектного варіанту складають:

$$K_{пр} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k Ц_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_d + Z_{ін}, \quad (5.1)$$

де

$K_{об}(Ц_i)$ – вартість придбання устаткування за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k – кількість необхідних комплектуючих елементів;

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

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n – витрати на налагоджувальні роботи;

Z_d – витрати на демонтажні роботи;

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

Таблиця 5.1 Зведення капітальних витрат

№	Устаткування:	Кількість:	Ціна за одиницу, грн.	Сума, грн.
1.	Електропривод: КТЕ- VI	1	41024	41024
2.	Двигун: ПФВ 160М	1	42710	42710
ВСЬОГО				83734

Транспортні витрати включені у вартість електроустаткування.

Згідно з Галузевою угодою між Міністерством палива і енергетики України, і профспілкою працівників енергетичної і електромеханічної промисловості рік мінімальний розмір місячної тарифної ставки працівникам, що виконують некваліфіковану роботу (тобто 1-го розряду), встановлюється на рівні не менше 125% від законодавчо встановленої мінімальної заробітної плати, яка на 1 січня 2020 року складає 4723 грн

Коефіцієнти визначаються згідно з доповненнями №3-37 до Галузевого договору співвідношень місячних тарифних ставок і посадових окладів до

мінімальної місячної тарифної ставки працівника, який виконує некваліфіковану роботу.

$K_{т3} = 1,45$ грн; $K_{т4} = 1,62$ грн; $K_{т6} = 2,16$ грн.

Місячна тарифна ставка монтажника 1-го розряду :

$$T_{см1} = 4723 \cdot 125\% = 5903,75 \text{ грн};$$

Місячна тарифна ставка того, що налагоджує 3-го розряду :

$$T_{см3} = 5903,75 \cdot 1,45 = 8\,560 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка того, що налагоджує 3-го розряду :

$$a_3 = 8\,560 / 160 = 53,5 \text{ грн/год};$$

Місячна тарифна ставка монтажника 4-го розряду :

$$T_{см4} = 5903,75 \cdot 1,62 = 9\,564 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду :

$$a_4 = 9\,564 / 160 = 59,8 \text{ грн/год};$$

Місячна тарифна ставка того, що налагоджує 6-го розряду :

$$T_{см6} = 4723 \cdot 2,16 = 10\,201 \text{ грн};$$

Годинна тарифна ставка того, що налагоджує 6-го розряду :

$$a_6 = 10\,201 / 160 = 63,8 \text{ грн/год}.$$

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

Монтажні роботи:

$$Z_m = \sum (Ч \cdot t \cdot a_4) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{ін}, \quad (5.2)$$

де

$Ч=2$ – кількість робітників, задіяних в монтажі, чол.;

$t=14$ – час на здійснення монтажу, годину.;

$a_4=59,8$ – годинна тарифна ставка монтажника 4-го розряду, грн/годину;

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

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		72

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

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

$$Z_m = 2 \cdot 14 \cdot 59,8 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 2\,359,39 \text{ грн.}$$

Налагоджувальні роботи:

$$Z_n = \sum (Ч \cdot t \cdot a_6) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{ін}, \quad (5.3)$$

де

$Ч=2$ – кількість робітників, задіяних в наладці, чол.;

$t=6$ – час на здійснення монтажу, годину.;

$a_6=63,8$ – годинна тарифна ставка того, що налагоджує 6-го розряду, грн/годину;

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

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

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

$$Z_n = 2 \cdot 6 \cdot 63,8 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 1\,078,80 \text{ грн.}$$

Демонтажні роботи:

$$Z_d = \sum (Ч \cdot t \cdot a_3) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{ін}, \quad (5.4)$$

де

$Ч=2$ – кількість робітників, задіяних в наладці, чол.;

$t=3$ – час на здійснення монтажу, годину.;

$a_3=53,5$ – годинна тарифна ставка того, що налагоджує 3-го розряду, грн/годину;

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

$K_d=1,1$ – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

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

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73

$$Зд = 2 \cdot 3 \cdot 53,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 452,32 \text{ грн.}$$

Таким чином, капітальні витрати складуть:

$$Кпр = Коб + Зм + Зн + Зд;$$

$$Кпр = 83734 + 2\,359,39 + 1\,078,80 + 452,32 = 87\,624,51 \text{ грн.}$$

5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

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

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться : амортизаційні відрахування (Са);

- заробітна плата обслуговуючого персоналу (Сз);
- відрахування на єдиний соціальний внесок (Сс);
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування і мереж (Ст);
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (Се);
- інші експлуатаційні витрати (Сін).

Отже , повна вартість річних експлуатаційних витрат складає:

$$С = Са + Сз + Сс + Ст + Се + Сін, \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Оскільки 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:

$$С = Са + Ст + Се, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2.1 Амортизаційні відрахування

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

$$C_a = K_{\text{пр}} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (5.7)$$

де H_a – норма амортизації для змінного устаткування (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 варіанту складає:

$$H_a = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\% \quad (5.8)$$

Річні відрахування на амортизацію складають:

$$C_a = 87\,624,51 \cdot 0,2 = 17\,524,902 \text{ грн.}$$

5.2.2 Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам, і можуть визначатися за фактичними даними підприємства. Дані приведені станом на 01.01.2020. У таблиці 5.4 приведені річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, які розраховуються по формулі:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\sum i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T\Phi \right), \quad \text{грн} \quad (5.9)$$

де

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

n – число приладів, що підлягають ремонту, шт;

R_i – годинна тарифна ставка робітників, що роблять ремонт, грн/годину;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, година/од;

m – число ремонтів в рік;

R_{Σ} – сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування;

S_i – вартість однотипних змінюваних елементів, грн;

Π_i – кількість однотипних змінюваних елементів, шт;

T_i – середній термін служби деталей цього типу, година;

T_{ϕ} – кількість годин роботи електроустаткування в рік, годину.

Таблиця 5.4 Витрати на технічний ремонт

	Од. виміру	Кількість
n	шт.	1
R_i	грн/год	59,8
t_i	год/од	7
m		2
R_Σ		3
S1	грн.	54
Π1	шт.	4
T1	год.	1000
S2	грн.	75
Π2	шт.	2
T2	год.	1000
T_φ	год	2000
Ст1	грн	2943,6
Ст2	грн	2811,6
Ст	грн	5755,2

$$C_{m1} = 59,8 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 3 + \frac{54 \cdot 4}{1000} \cdot 2000 = 2943,6 \text{ грн};$$

$$C_{m2} = 59,8 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 3 + \frac{75 \cdot 2}{1000} \cdot 2000 = 2811,6 \text{ грн};$$

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

$$C_T = C_{T1} + C_{T2} = 2943,6 + 2811,6 = 5755,2 \text{ грн}$$

5.2.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту по формулі :

$$C_e = W_T \cdot C_e, \quad (5.10)$$

де

W_T – кількість спожитої в рік електроенергії, кВт·г;

$C_e = 2,37$ – тариф на електроенергію, грн/кВт·г.

Тариф на електроенергію для підприємств (Для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,37 грн. за кВт з ПДВ.)

Споживана електроенергія визначається по формулі:

$$W_T = \frac{\sum P \cdot K_z \cdot K_o \cdot T}{\eta \cdot \cos \varphi}, \text{ кВт}\cdot\text{г}, \quad (5.11)$$

де

$\sum P$ – потужність електроустаткування, кВт;

$K_z = 0,65$ – коефіцієнт завантаження устаткування;

$K_o = 0,65$ – коефіцієнт одночасної роботи;

$T = 8 \text{ годин} \cdot 26 \text{ днів} \cdot 12 \text{ місяців} = 2496 \text{ ч}$, – номінальний фонд робочого часу;

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

$\cos\varphi = 0,92$ – коефіцієнт, що враховує ефективність використання потужності.

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

Річні витрати на електроенергію складають:

$$C_e = 13134,29 \cdot 2,37 = 31\,128,26 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_t + C_e$$

$$C = 17524,902 + 5755,2 + 31128,26 = 54\,408,36 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 Річних експлуатаційних витрат

п/п	Найменування статей витрат	Сума витрат, грн.
	Амортизаційні відрахування	
	Витрати на техобслуговування	
	Вартість споживаної енергії	
	Всього	

Таблиця 5.6 Капітальних і експлуатаційних витрат

Вид витрат	Вартість, грн
Капітальні витрати	87 624,51
Експлуатаційні витрати	54 408,36
Сума	142 032,87

Висновок

Об'єктом детальної розробки був електропривод подовжнього подання фрезерного верстата 6М610Ф11.

Метою роботи була розробка високоточного глибокорегулюемого автоматизованого електроприводу.

Відповідно до зроблених розрахунків навантажень приводу подань вибрані елементи силового ланцюга (високомоментний двигун постійного струму ПФВ 160М, комплектний реверсивний електропривод тиристора з роздільним управлінням). Розраховані параметри астатичної одинзонної системи регулювання швидкості. Розроблена модель електроприводу і з використанням додатка Simulink пакету MATLAB, здійснений розрахунок перехідних процесів в типових для цього електроприводу режимах: пуск до швидкості швидкого ходу, гальмування до робочої швидкості, накидання навантаження, реверс, зупинка приводу. Отримані графіки підтверджують правильність зроблених розрахунків налаштувань регуляторів. Якість перехідних процесів задовольняє вимогам, що пред'являються.

Проаналізовані небезпечні і шкідливі чинники, розроблені заходи по охороні праці. Зроблений розрахунок системи штучного освітлення.

Зроблений розрахунок капітальних і експлуатаційних витрат.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

Список використаної літератури

1. Керівництво по експлуатації патронно-центрового токарного верстата з числовим програмним управлінням і регульованим приводом подань 16К20Ф3С32. - 1983.
2. Блок приладовий. Технічний опис 3.088.012 ТЕ. - 1983.
3. Курсовий проект з дисципліни "Електропривід у гнучкому виробництві". Методичні вказівки для студ. спец. 7.092203 Електромеханічні системи автоматизації та електропривід / Казачковський М. М., Савченко С. Б. - Дніпропетровськ.: НГУ, 2004. с.
4. Князевський Б.А., Липкин Б.Ю. Електропостачання промислових підприємств : Підручник. - 2-е видавництво, перероб. і доп. - М.: Вища школа, 1979. - 431с.
5. Довідник по проектуванню електропостачання, ліній електропередачі і мереж. - М.: Енергія, 1974.
6. Правила улаштування електроустановок. К.: Наука, 2002.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів. М., Атомиздат, 1974.
8. Виробничі будівлі промислових підприємств. Норми проектування. СН і ПІ І – М. 2-72. М., Стройиздат, 1973.
9. Усатенко С. Т., Каченюк Т. К., Терехова М. В. Виконання електричних схем по ЕСКД. Довідник. - М.: Видавництво стандартів, 1992.

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>80</i>

ВІДГУКИ ПО РОЗДІЛАМ ТА ПІДРОЗДІЛАМ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Відгук

Про дипломний проект, студента групи 141-16-4 Нужнова В.С

Дипломний проект на тему "Електропривод подовжнього переміщення столу фрезерно-розточувального верстата", наданий на сторінках комп'ютерного тексту, виконаний в повному об'ємі відповідно до завдання на дипломне проектування, відповідній спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка "

У технологічній частині дипломного проекту, представлений опис верстата, його технічні дані, технічна характеристика електроустаткування верстата, а так-же параметри і режими різання при обробці деталей.

На підставі цього сформульовані основні вимоги до автоматизованого електроприводу.

У розділі "Автоматизований" електропривод, представлений вибір системи електроприводу і її обґрунтування.

Зроблений розрахунок потужності електродвигуна і перевірка його по нагріву. Досить повно зроблений вибір силових елементів електроприводу, а також розрахунок параметрів САР і об'єкту управління.

У розділі "Дослідження динаміки електроприводу" показані графіки перехідного процесу які відповідають нормованим показникам.

Істотних зауважень немає.

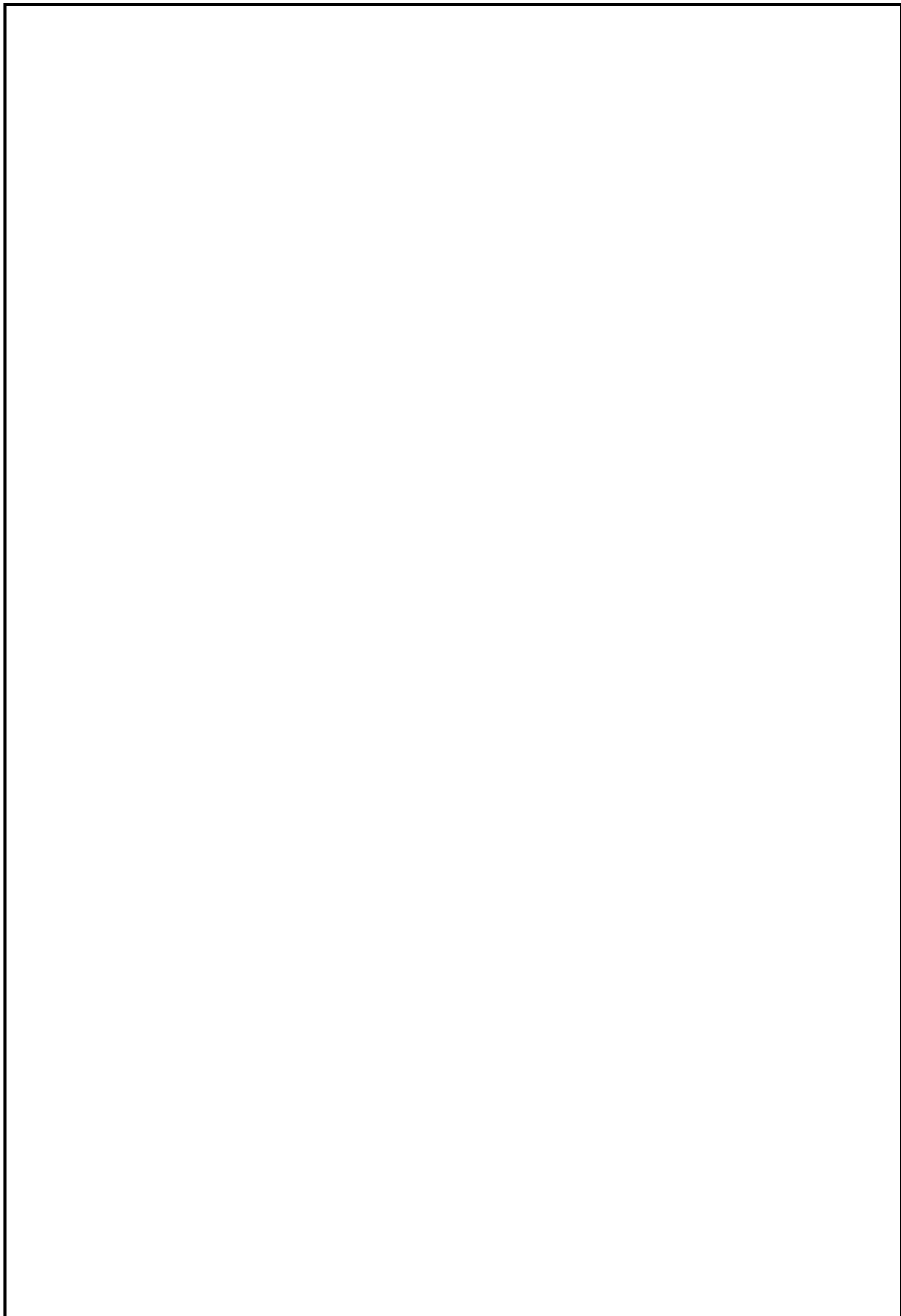
В цілому дипломний проект задовольняє пред'явленим вимогам, що заслуговує оцінки "Добре" = (80), а студент Нужнов В.С привласнення йому кваліфікації "Бакалавр" з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Керівник дипломного проекту

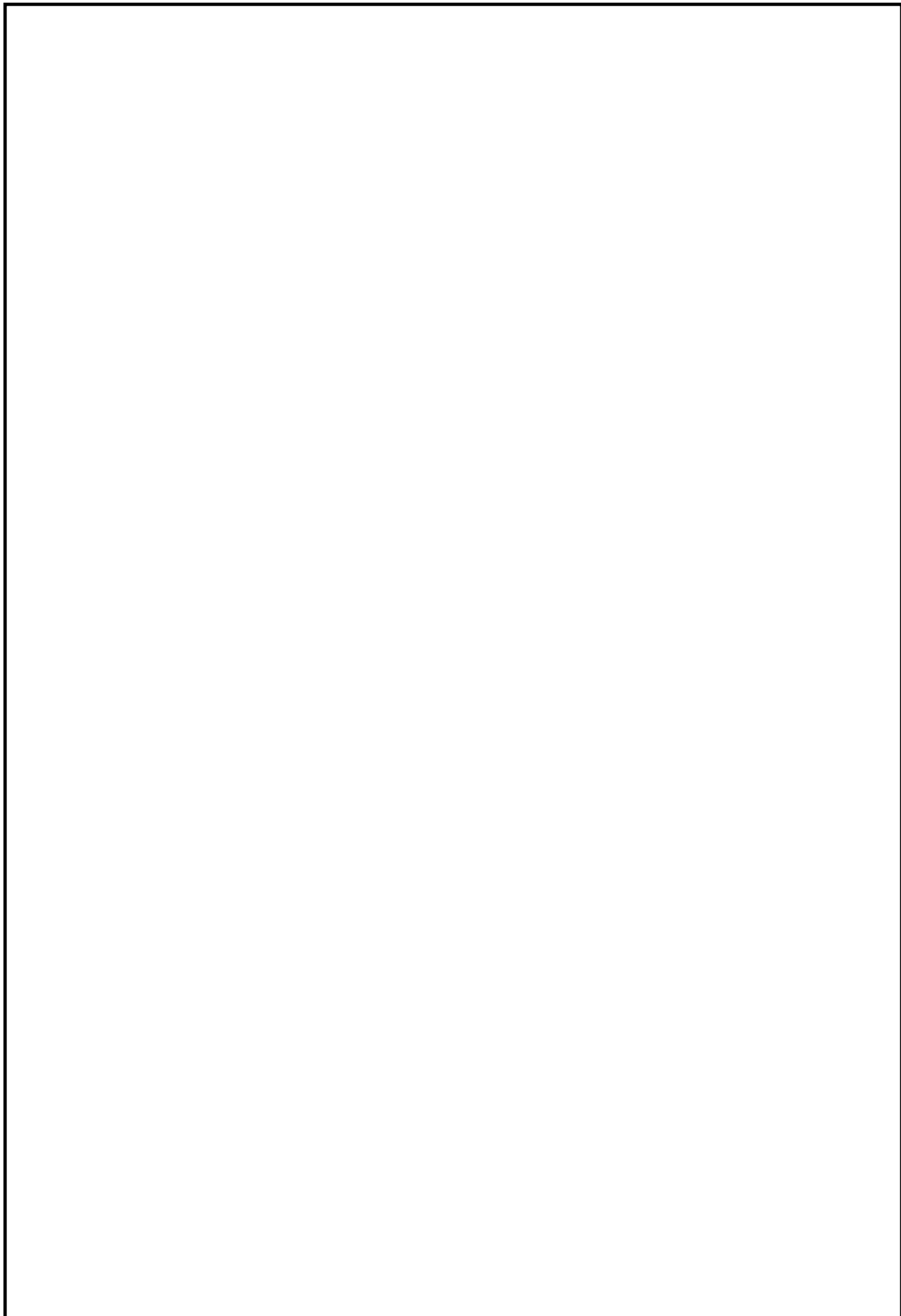
Проф Колб А.А

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>

					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>82</i>



					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>83</i>



					<i>ЕП.ПД.20.15.1.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>84</i>