

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**

студента Воронков Олександр Олександрович

(ПІБ)

академічної групи ЕТФ -141-18ск-3

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

Спеціалізації Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Електропривод головного руху поздовжньо-стругального верстату»»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Казачковський М.М.			
розділів:				
Технологічна частина	Казачковський М.М.			
Автоматизований електропривод	Казачковський М.М.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економі- чне обґрунтування	Тимошенко Н.В.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер				
----------------	--	--	--	--

Дніпро

2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

електропривода

\_\_\_\_\_

(повна назва)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеня бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Воронкову О.О. академічної групи ЕТФ -141-18ск-3

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації<sup>1</sup> Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Електропривод головного руху поздовжньо-стругального верстату»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	Основні відомості про технологічний процес та загальну конструкцію верстата	20.01.2021- 24.02.2021
Автоматизований електропривод	Розрахунок діаграми швидкостей та навантажень та перевірка попередньо вибраного двигуна.	24.04.2021- 25.05.2021
Охорона праці	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу.	25.05.2021- 31.05.2021
Техніко-економічне обґрунтування	Здійснення розрахунку капітальних та експлуатаційних витрат.	01.06.2021- 05.06.2021

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 20.01.2021

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

17.06.2021

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

Воронков О.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

В даній кваліфікаційній роботі було описано роботу автоматизації головного руху повздовжньо-стругального верстата.

Мета даної роботи полягає у розробці й дослідженні системи автоматичного регулювання процесом обробки деталі на стругальному верстаті. А також розрахунку діаграми статичних зусиль та швидкості стругання та вибору двигуна головного руху та комплектного електропривода ЭПУ2-2-34-40Д.

У розділі охорона праці розглядав аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу та заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих факторів. Протипожежна система та розрахунок штучного освітлення.

В даній частині економічного обґрунтування провів розрахунок річних експлуатаційних та капітальних затрат споживача.

## **Abstract**

In this qualification paper, the work of automating the main movement of a longitudinal planing machine was described.

The purpose of this work is to develop and study a system for automatic control of the part processing process on a planing machine. As well as calculating the diagram of static forces and planing speed and selecting the main motor and complete electric drive EPU2-2-34-4OD.

In the section labor protection, he considered the analysis of dangerous and harmful production factors of the technological process and measures to eliminate dangerous and harmful factors. Fire Protection System and calculation of artificial lighting.

In this part of the economic justification, I calculated the annual operating and capital costs of the consumer.

## ЗМІСТ

Реферат.....	3
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Технологічна частина .....	8
1.1 Основні відомості про технологічний процес та загальну конструкцію верстата. ....	9
1.2 Принцип роботи та особливості конструкції верстата.....	10
1.3 Технічні вимоги до автоматизації процесу обробки деталі на повздовжньо-стругальному верстаті.....	11
1.4 Вихідні дані для проектування.....	12
РОЗДІЛ 2. Попередній вибір двигуна та передаточного числа.....	15
2.1 Вибір Елементів Силового Кола.....	18
2.2 Розрахунок Параметрів параметрів об'єкта керування.....	21
2.3 Параметри САР двозонного електропривода.....	21
РОЗДІЛ 3. Охорона праці.....	33
Вступ.....	33
3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників.....	33
3.2 Техніка безпеки.....	34
3.3 Пожежна безпека.....	34
3.4 Розрахунок штучного освітлення цеху.....	35
РОЗДІЛ 4. Техніко-економічне обґрунтування.....	38
Вступ.....	38
4.1 Розрахунок капітальних витрат.....	39
4.2. Визначення експлуатаційних витрат.....	41
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	41

4.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати .....	43
4.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	45
4.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	46
4.2.5. Визначення інших витрат.....	47
Висновки.....	47
Список використаної літератури.....	49

## Вступ.

Сучасний металоріжучий верстат обладнаний складною системою автоматизованого електроприводу, що включає в себе багато електричних машин, як генератори, так і двигуни, різні підсилюючі та перетворюючі устрої, багаточисленну апаратуру.

В сучасних важких та унікальних верстатах число електричних машин досягає декількох десятків. Такі верстати – це високо розвинуті машини, що включають у себе велику кількість механізмів й використовують механічні, електричні, електронні, гідравлічні, пневматичні й інші методи здійснення рухів й керування циклом.

Велике поширення отримали верстати із програмним керуванням, у тому числі багатоцільові, що забезпечують високу мобільність виробництва, точність й продуктивність обробки. Автоматика все ширше застосовується не лише для підвищення продуктивності процесу обробки, але й для отримання його високих якісних показників.

Швидкий розвиток техніки викликало появу досить складних й різних систем комплексної автоматизації у верстатобудуванні, таких, як системи слідкуючого електропривода, програмні, самоналагоджувальні системи та ін.

Пошук доцільних рішень являє собою нелегку технічну й економічну задачу. Найбільш складною ця задача стає при виборі систем електропривода й способу регулювання швидкості механізму верстата. Виникає необхідність технічних й економічних розрахунків систем автоматизованого електропривода.

Бурний технічний прогрес останніх років дає можливість сучасним електричним системам задовільняти майже будь-яким технічним вимогам. Нові безконтактні елементи, також як і магнітні й напівпровідникові підсилювачі, тверді некеровані й керовані вентиля й інші елементи автоматики, дозволяють створювати достатньо надійні системи комплексної автоматизації.

## 1. Технологічна частина

Темою даного дипломного проекту вибрана робота по автоматизації роботи головного руху повздовжньо-стругального верстата. Стругальні верстати призначені для обробки різцями площин й фасонних лінійчатих поверхонь. Призначення раціонального режиму різання при роботі на стругальних верстатах полягає у виборі найбільш вигідного сполучення глибини різання, подачі й швидкості різання (числа подвійних ходів за хвилину), що забезпечує для даних організаційно-технічних виробничих умов найбільшу продуктивність праці й найменшу вартість операції.

Мета даної роботи полягає у розробці й дослідженню системи автоматичного регулювання процесом обробки деталі на стругальному верстаті.

Даний дипломний проект не вносить змін в технологічний процес з точки зору заміни технологічного обладнання, а також заміни його параметрів. Необхідність модернізації системи автоматичного керування електропривода верстата продиктована, перш за все, економічними міркуваннями та впровадженням сучасних систем автоматичного керування (САК).

У верстата старої конструкції в якості двигуна головного руху використовувався двигун постійного струму. Актуальність даної роботи полягає у прийнятті рішення про проектування електропривода на базі асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором, як найбільш дешевого й надійного в роботі, й схеми керування із використанням цифроаналогових елементів. Система керування електропривода верстата являє собою систему автоматичного регулювання швидкості обертання приводу головного руху верстата на базі амплітудно-частотного керування. Основними задачами, які вирішує система керування електропривода стругального верстата, є регулювання швидкості обробки деталі й підтримання її із заданою точністю.

До якості регулювання швидкості обробки деталі пред'являються підвищені вимоги, оскільки саме від цього параметра залежать показники якості продукції, що випускається, насамперед шорсткість оброблювальної поверхні.



## 1.1. Основні відомості про технологічний процес та загальну конструкцію верстата.

Опис технологічного процесу обробки деталі на повздовжньо-стругальному верстаті:

Стругальні верстати призначені для обробки різцями площин та фасонних лінійчатих поверхонь. Вони поділяються на поперечно-стругальні, повздовжньо-стругальні та довбіжні. Перші застосовуються при виготовленні мілких та середніх за розмірами деталей, другі для порівняно великих або для одночасного стругання декількох деталей середнього розміру. Довбіжні верстати використовують для обробки шпоночних пазів, канавок, фасонних поверхонь невеликої довжини. Верстати мають робочий хід, під час якого відбувається різання, та зворотний хід, коли інструмент повертається у вихідне положення.

У звичайних конструкціях повздовжньо-стругальних верстатів деталь встановлюють на столі, що має зворотно-поступальний рух, а супорти із різцями закріплюють на нерухомих стійках. При такій конструкції довжина стругання не впливає на величину й характер зусиль, що виникають у супортах та стійках верстата. Оскільки супорти мають лише рух подачі, зручно обробляти деталь одночасно декількома інструментами, що дуже важливо для обробки крупногабаритних деталей. Таким чином, дана компоновка верстата більш підходить для обробки деталей великих розмірів.

Якщо ширина деталей невелика, то застосовують одностоечні верстати. У цьому випадку траверса та стійка працюють як незамкнена (статично визначена) рама. Зусилля різання вигинають її у просторі й скручують. Згибаючі й крутячі моменти й відповідно деформація тим більше, чим ширше деталь, що обробляється. Тому більш широке застосування отримали двохстоечні повздовжньо-стругальні верстати, у яких супорти розміщені на траверсі й стійках, що утворюють жорстку рамну конструкцію (портал).

Верстати універсальні повздовжньо-стругальні моделі 7A210 призначені для обробки методом стругання різних поверхонь із прямолінійчастими утворюючими на крупногабаритних виробках індивідуального, мілкосерійного й серійного виробництва у металооброблюючій промисловості. На верстатах цієї моделі можуть бути оброблені горизонтальні, вертикальні й похилі площини, а також повздовжні пази різного профілю із чорних та кольорових металів або

деяких видів пластмас. Верстати також можуть бути використані для відділочної обробки поверхонь виробів.

При заданому верстаті, інструменті й технічних умовах на обробку призначення режиму різання проводиться у такій послідовності:

Призначається глибина різання й число проходів.

Призначається подача, яка перевіряється на міцність державки різця й міцність пластинки твердого сплаву.

Визначається швидкість різання, що допустима заданим періодом стійкості ріжучого інструмента, тяглова сила й потужність, які потрібні для різання.

Вибраний режим різання коректується за паспортними даними верстата.

Глибина різання й число проходів передвизначаються припуском на обробку й потужністю верстата. При черновому струганні слід пориватися до того, щоб зняти увесь припуск на обробку за один прохід. Поділ припуску на чорнову й напівчистову обробку доцільно проводити із таким розрахунком, щоб число проходів було мінімальним. При струганні під наступне шліфування й для досягнення напівчистових поверхонь глибину різання слід встановлювати не більш як 3 мм. При струганні широким різцем у залежності від його ширини глибина різання приймається 0,2 – 0,5 мм. [4]

Чим більше величина подачі, тим більш продукційно працює верстат.

## 1.2 Принцип роботи та особливості конструкції верстата

Виріб, що оброблюється на верстаті, встановлюється й кріпиться на столі, що має повздовжнє переміщення за напрямляючими станини. Цикли зворотно-поступального руху столу із періодичною подачею супортів на початку робочого ходу, відводом ріжучого інструменту у кінці робочого ходу й поверненням ріжучого інструменту в робоче положення на початку робочого ходу столу здійснюється у автоматичному режимі. Рух столу у напрямку порталу верстата – робочий хід. Рух столу в протилежному напрямку – зворотний хід. [3]

Станина має дві основні напрямляючі – плоску та V-подібну, а також дві додаткові напрямляючі для чотирьох піджимних планок, що закріплені на кінцях столу, і які забезпечують стійкий примолінійний зворотно-поступальний рух столу. Направляючі столу мають протизадирні пластмасові накладки.

Для попередження сходу столу зі станини (у випадку виходу рейки привода столу із зачеплення з рейковою шестернею в результаті відмов у роботі механізму реверса й кінцевих вимикачів аварійного останова столу) на кінцях станини встановлені блоки різців, а до столу прикріплені упори. Гальмування столу у цьому аварійному випадку досягається за рахунок різання планки під дією одного із цих упорів.

На передньому торці столу прикріплений щиток, що запобігає напрямляючі станини від попадання туди стружки при різанні. Також для попередження попадання стружки й бруду під напрямляючі столу на торцях його напрямляючих встановлені скребки.

Закріплений на супортах ріжучий інструмент може бути встановлений за допомогою повороту супорта, різцедержача на супорті й самого інструменту на різцедержачі під будь-яким кутом до верхньої або бокової поверхні виробу, що обробляється, у площині, яка перпендикулярна напрямку руху столу.

Вибором відповідного виду різців, кута їх встановлення, а також напрямку подачі супорта або його повзуна на виробі можна обробити: горизонтальні, вертикальні, й похилі плоскі поверхні, різні повздовжні пази на цих поверхнях, а також фасонні поверхні із прямолінійною повздовжньою утворюючою.

Привод столу здійснюється від асинхронного електродвигуна із короткозамкнутим ротором через двохдіпазонну коробку швидкостей. Рух столу забезпечує плавне врізання різця у виріб на початку робочого ходу й уповільнений вихід його із виробу у кінці робочого ходу. Швидкість зворотного ходу столу регулюється незалежно від швидкості робочого ходу.

Вибір довжини ходу столу й положень точок реверса столу відносно леза ріжучого інструмента здійснюється за допомогою сельсинів із підвісного пульта керування. Направляючі станини забезпечують стійкий прямолінійний зворотно-поступальний рух столу, запобігаючи його від можливих бокових здвигів у процесі різання.

Механізми подачі забезпечують широкий діапазон періодичних подач супортів, а також незалежні установочні переміщення кожного із супортів. Вибір напрямку руху кожного супорта одnorукояточний. Керування основними рухами верстата здійснюється із підвісного пульта.

### 1.3 Технічні вимоги до автоматизації процесу обробки деталі на повздовжньо-стругальному верстаті.

З точки зору автоматизації процесу обробки деталі на вказаному типі верстата основними вимогами до технологічного процесу є отримання заданої шорсткості поверхні. Цю задачу вирішує система автоматизації верстата. Діапазон регулювання головних приводів повздовжньо-стругальних верстатів, як приводів, що здійснюють зворотно-поступальний рух є порівняно невеликим, а саме (10-30):1. У нашому випадку має місце діапазон 25:1.

Параметрична схема обробки заготовки, яка отримується на основі досвіду експлуатації представлена на рисунку 2.3

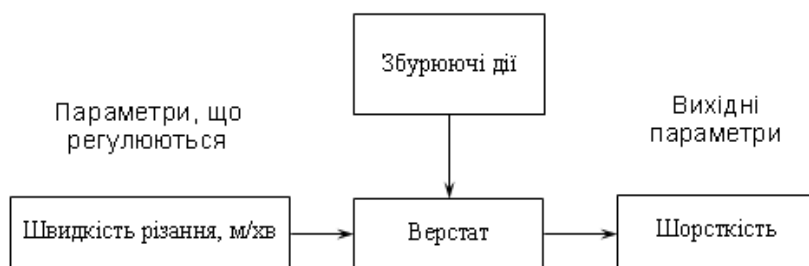


Рис. 1.1 Параметрична схема обробки деталі

#### 1.4 Вихідні дані для проектування.

Діаграми статичного зусилля стругання  $F_{cc}$  та швидкості столу  $v_c$  наведені на рис. 1, а параметри діаграм – у табл. 1. Тривалість циклу обробки деталі  $T$ . На інтервалах  $t_2$  та  $t_9$  має місце стругання зі швидкістю різання  $v_2$ , на інтервалі  $t_7$  – поперечна подача столу, на інтервалах  $t_4 \dots t_6$  та  $t_{11} \dots t_{13}$  – зворотній хід столу зі швидкістю  $v_4$ , протягом часу  $t_{14}$  здійснюється заміна деталі.

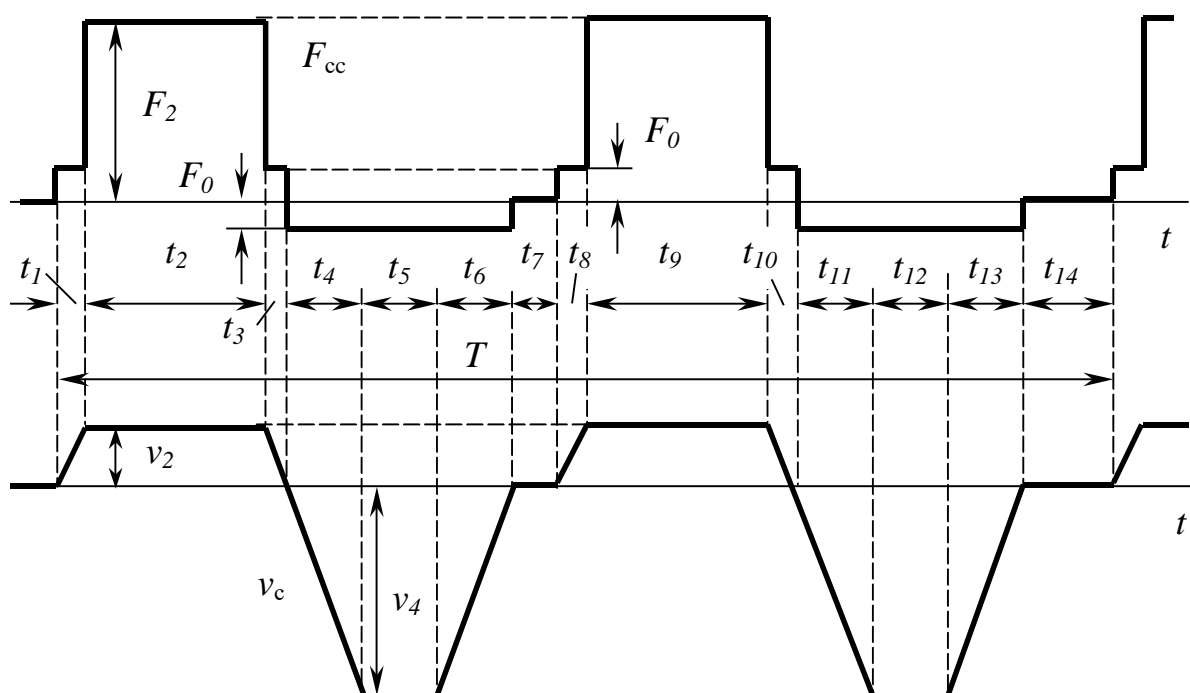


Рис. 1.2 Діаграми статичних зусиль та швидкості стругання

Кінематичну схему приводу головного руху показано на рис. 2. Зубчасті пари передачі – циліндричні (кількість зубів зубчастих коліс також зведено до табл. 1). На вихідному валі III розташовано зубчасту шестерню діаметром  $d_k$ , яке має зчеплення з зубчастою рейкою, жорстко пов'язаною зі столом. Завдяки цьому обертальний рух шестерні перетворюється на поступальний рух рейки та столу. У табл. 1 також наведені маси оброблюваної деталі  $m_{дет}$  та столу  $m_{ст}$  і сумарний момент інерції зубчастої передачі  $J_{пер}$ , зведений до валу I. Живлення верстату здійснюється від промислової мережі  $3 \times 0,4$  кВ.

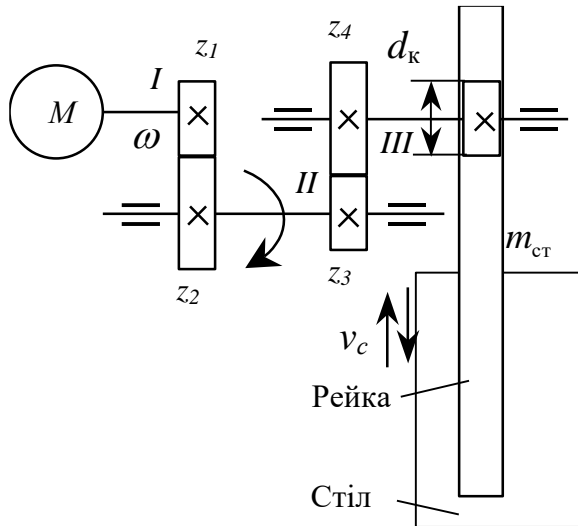


Рис. 1.3 Кінематична схема приводу головного руху стругального верстату

Таблиця 1

Вихідні дані

Параметр № варіанту	Значення			
	1	2	3	4
$d_k$ , мм	105			
$z_1$	48			
$z_2$	48			
$z_3$	45			
$z_4$	45			
$t_1$ , с	0,5			
$t_2$ , с	25			

$t_3, c$	25			
$t_4, c$	2,5			
$t_5, c$	5			
$t_6, c$	2,5			
$t_7, c$	1			
$t_8, c$	0,5			
$t_9, c$	25			
$t_{10}, c$	25			
$t_{11}, c$	2,5			
$t_{12}, c$	5			
$t_{13}, c$	2,5			
$t_{14}, c$	12			
$F_0, H$	300			
$F_2, H$	4000			
$v_2, M/c$	0,08			
$v_4, M/c$	0,2			
$m_{дет}, кг$	50			
$m_{ст}, кг$	500			
$J_{пер}, зведений до валу I, кгм^2$	0,0003			
Система електроприводу	КВ-Д (двобонний)			

Таблиця 1.2

Коефіцієнти корисної дії передач

Тип передачі	Величина
Зубчаста: конічна	0,96...0,97
циліндрична	0,98...0,99
черв'ячна	0,7...0,8
Ремінна	0,92...0,95
Кулько-гвинтова: без натягу	0,95
з натягом	0,85...0,9

Таблиця 3

Коефіцієнти тертя

Вузол	Величина
Напрявні опори: ковзання	0,1
кочення	0,005...0,01

## 2 Попередній вибір двигуна та передаточного числа.

Передатне число механічної передачі

$$i = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{48}{48} \cdot \frac{45}{45} = 1$$

ККД передачі

$$\eta = \eta_{21} \eta_{43} \eta_{кр} = 0,985 \cdot 0,985 \cdot 0,985 = 0,956$$

Розрахуємо статичні моменти на валі двигуна:

$$M_{c0} = \frac{F_0 d_k}{2 \cdot i \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 0,105}{2 \cdot 1 \cdot 0,956} = 16,5 \text{ Н}$$

$$M_{c2} = \frac{F_2 d_k}{2 \cdot i \cdot \eta} = \frac{4000 \cdot 0,105}{2 \cdot 1 \cdot 0,956} = 220 \text{ Н}$$

Швидкості валу двигуна

$$\omega_2 = \frac{v_2 \cdot 2 \cdot i}{d_k} = \frac{0,08 \cdot 2 \cdot 1}{0,105} = 1,52 \text{ рад/с}$$

$$n_2 = \frac{30 \cdot \omega_2}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,52}{3,14} = 14,52 \text{ об/хв}$$

$$\omega_4 = \frac{v_4 \cdot 2 \cdot i}{d_k} = \frac{0,2 \cdot 2 \cdot 1}{0,105} = 3,81 \text{ рад/с}$$

$$n_4 = \frac{30 \cdot \omega_4}{\pi} = \frac{30 \cdot 3,81}{3,14} = 36,4 \text{ об/хв}$$

Середньоквадратичний статичний момент на валі двигуна

$$M_{сск} = \sqrt{\frac{16,5^2 \cdot 0,5 + 220^2 \cdot 25 + 16,5^2 \cdot 25 + 16,5^2 \cdot 2,5 + 16,5^2 \cdot 5 + 16,5^2 \cdot 2,5 + 16,5^2 \cdot 0,5 + 220^2 \cdot 25 + 16,5^2 \cdot 25 + 16,5^2 \cdot 2,5 + 16,5^2 \cdot 5 + 16,5^2 \cdot 2,5}{0,5 + 25 + 25 + 2,5 + 5 + 2,5 + 1 + 0,5 + 25 + 25 + 2,5 + 5 + 2,5 + 12}}$$

$$= 125,0 \text{ Нм}$$

Двигун обираємо за моментом та швидкістю:

$$M_H > M_{сск}$$

$$n_{max} > n_4$$

Параметри двигуна головного руху.

Таблиця 2.1

Тип	P <sub>н</sub> , кВт	Частота обертання, об/хв		ККД %	Опори обмоток, Ом (за 15° С)			Індуктивності обмоток		Момент інерції, кгм <sup>2</sup>
		ном.	макс.		R <sub>я</sub>	R <sub>дп</sub>	R <sub>з</sub>	Л <sub>я</sub> +Л <sub>д</sub> , п, мГн	Л <sub>з</sub> , Гн	
2ПФ200L Г	15	800	1850	83,5	0,5	0,264	42	18,6	21,8	0,3

Примітки: 1. Номінальні напруги обмотки якоря – 440 В, обмотки збудження – 220 В.

2. Допустиме перевантаження за струмом тривалістю 10 с –  $3I_{ян}$ , тривалістю 60с– $2I_{ян}$

$$\text{Номінальний момент двигуна } M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H} = 9550 \frac{15}{800} = 179,1 \text{ Нм} > 125 \text{ Нм}$$

Номінальний струм двигуна

$$I_{ян} = \frac{P_H}{U_{ян} \eta_H} = \frac{15000}{440 \cdot 0,835} = 40,8 \text{ А}$$

Момент інерції поступальних мас, зведений до валу двигуна

$$J_{п} = \frac{(m_{ст} + m_{дет}) \cdot d_K^2}{4 \cdot i^2 \cdot \eta^2} = \frac{(500 + 50) \cdot 0,105^2}{4 \cdot 1 \cdot 0,956^2} = 1,65 \text{ кгм}^2$$

Сумарний момент інерції електропривода

$$J = J_{дв} + J_{пер} + J_{п} = 0,3 + 0,0003 + 1,65 = 1,95 \text{ кгм}^2$$

Динамічні моменти

$$M_{j1} = J \frac{\omega_{кін} - \omega_{поч}}{t_1} = 1,95 \frac{\omega_2 - 0}{t_1} = 1,95 \frac{1,52 - 0}{0,5} = 5,93 \text{ Нм}$$

$$M_{j3} = J \frac{\omega_{кін} - \omega_{поч}}{t_3} = 1,95 \frac{0 - \omega_2}{t_3} = 1,95 \frac{0 - 1,52}{25} = -0,119 \text{ Нм}$$

$$M_{j4} = J \frac{\omega_{кін} - \omega_{поч}}{t_4} = 1,95 \frac{\omega_4 - 0}{t_4} = 1,95 \frac{-3,81 - 0}{2,5} = -2,97 \text{ Нм}$$



$$M_{j6} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{t_6} = 1,95 \frac{\omega_4 - 0}{t_6} = 1,95 \frac{3,81 - 0}{2,5} = 2,97 \text{ Нм}$$

$$M_{j8} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{t_8} = 1,95 \frac{\omega_2 - 0}{t_9} = 1,95 \frac{1,52 - 0}{25} = 0,119 \text{ Нм}$$

$$M_{j10} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{t_{10}} = 1,95 \frac{0 - \omega_2}{t_{10}} = 1,95 \frac{0 - 1,52}{25} = -0,119 \text{ Нм}$$

$$M_{j11} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{t_{11}} = 1,95 \frac{\omega_4 - 0}{t_{11}} = 1,95 \frac{3,81 - 0}{2,5} = 2,97 \text{ Нм}$$

$$M_{j13} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{t_{13}} = 1,95 \frac{\omega_4 - 0}{t_{13}} = 1,95 \frac{3,81 - 0}{2,5} = 2,97 \text{ Нм}$$

Повні моменти двигуна на інтервалах часу

$$M_1 = M_{c1} + M_{j1} = 16,5 + 5,93 = 22,43 \text{ Нм}$$

$$M_2 = M_{c2} = 220 \text{ Нм}$$

$$M_3 = M_{c3} + M_{j3} = 16,5 - 0,119 = 16,38 \text{ Нм}$$

$$M_4 = M_{c4} + M_{j4} = -16,5 - 2,97 = -19,47 \text{ Нм}$$

$$M_5 = -M_{c0} = -16,5 \text{ Нм}$$

$$M_6 = M_{c6} + M_{j6} = -16,5 + 2,97 = -13,53 \text{ Нм}$$

$$M_7 = 0 \text{ Нм}$$

$$M_8 = M_{c8} + M_{j8} = 16,5 + 0,119 = 16,62 \text{ Нм}$$

$$M_9 = M_{c2} = 220 \text{ Нм}$$

$$M_{10} = M_{c10} + M_{j10} = 16,5 - 0,119 = 16,38 \text{ Нм}$$

$$M_{11} = M_{c11} + M_{j11} = -16,5 - 2,97 = -19,47 \text{ Нм}$$

$$M_{12} = -M_{c0} = -16,5 \text{ Нм}$$

$$M_{13} = M_{c13} + M_{j13} = -16,5 + 2,97 = -13,53 \text{ Нм}$$

$$M_{14} = 0 \text{ Нм}$$

Еквівалентний момент двигуна

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4 + M_5^2 \cdot t_5 + M_6^2 \cdot t_6 + M_8^2 \cdot t_8 + M_{10}^2 \cdot t_{10} + M_9^2 \cdot t_9 + M_{11}^2 \cdot t_{11} + M_{12}^2 \cdot t_{12} + M_{13}^2 \cdot t_{13}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{13} + t_{14}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{22,43^2 \cdot 0,5 + 220^2 \cdot 25 + 16,38^2 \cdot 25 + 19,47^2 \cdot 2,5 + 16,5^2 \cdot 5 + 13,53^2 \cdot 2,5 + 16,62^2 \cdot 0,5 + 220^2 \cdot 25 + 16,38^2 \cdot 25 + 19,47^2 \cdot 2,5 + 16,5^2 \cdot 5 + 13,53^2 \cdot 2,5}{0,5 + 25 + 25 + 2,5 + 5 + 2,5 + 1 + 0,5 + 25 + 25 + 2,5 + 5 + 2,5 + 12}} = 134,92 \text{ Нм}$$

Перевірка двигуна на нагрів.

Якщо:  $M_e < M_H$  то двигун пройшов перевірку на нагрів

$$134,92 \text{ Нм} < 179,1 \text{ Нм}$$

## 2.1 Вибір Елементів Силового Кола

Для верстатів з ЧПК вітчизняною промисловістю випускається гамма комплектних тиристорних електроприводів постійного струму (серії ЕПУ1, ЕТУ3601, ЕТУ2, БТУ3601 тощо), до складу яких входять тиристорні випрямлячі (ТВ) для кола якоря (у разі необхідності – і для кола збудження), необхідний набір регуляторів та датчиків, силові трансформатори або мережні реактори, згладжувальний дросель (якщо потрібно), блок захистів, блокувань та сигналізації. Номінали ТВ узгоджені з параметрами вітчизняних двигунів.

Обираємо комплектний електропривод ЕПУ2-2-34-4ОД

Таблиця 2.2

Тип електропривода			Напруга живлячої мережі для блоків керування	Тип та параметри блока керування БС				
				Тип	Параметри кола якоря		Параметри кола збудження	
1	2	3	4		5	$I_H, A$	$U_H, B$	$I_H, A$
					6	7	8	9

ЭПУ2-2	34	4ОД	380-440	БС3403...Д	25	460	5	220
--------	----	-----	---------	------------	----	-----	---	-----

Номінальні струми та напруги ТВ для приводів подач. Таблица 2.3

$I_{дн}, Н$	11	11	25	25	25	50	50	50	100	100	100	200	200
$U_{дн}, Н$	115	230	115	230	460	115	230	460	115	230	460	230	460

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

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

$$50A \geq 40,8 A; 460V \geq 440 V$$

Номінальні струми і напруги ТВ для кіл якоря та збудження приводу головного руху

Таблица 2.4

Коло якоря		Коло збудження	
$I_{дн}, А$	$U_{дн}, В$	$I_{дн}, А$	$U_{дн}, В$
25	460	5	220
50	460	10	220
100	460	10	220
200	460	20	220
400	460	20	220
630	460	20	220

Схема силових кіл ТВ комплектних тиристорних електроприводів подач наведена на рис. 2.3. Номінальні струми і напруги ТВ для кіл якоря та збудження приводу головного руху подані у табл. 2.4

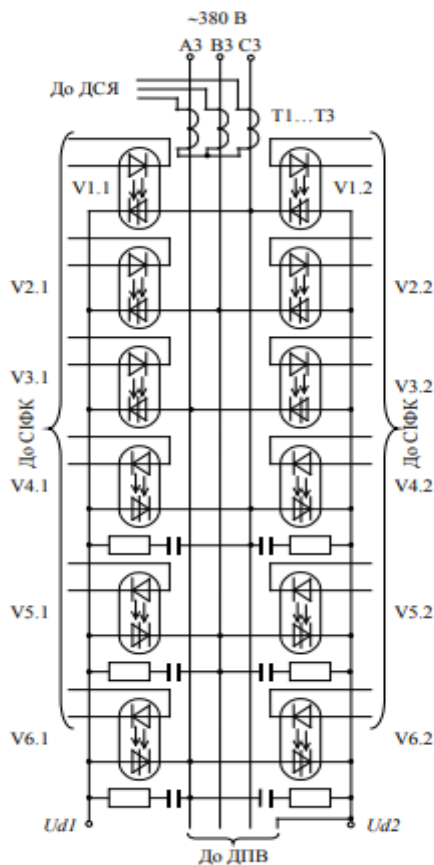


Рис. 2 Силовая схема реверсивного тиристорного выпрямляча для кола якоря.

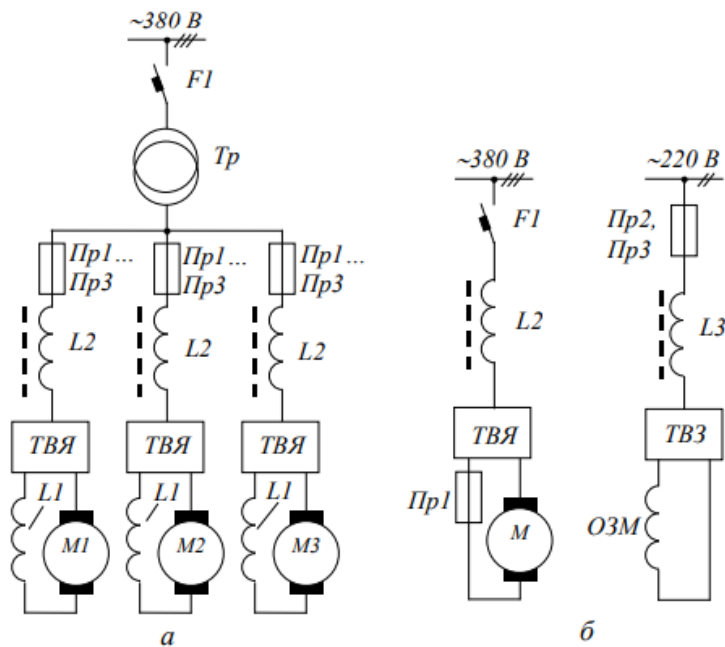


Рис. 2.1 Схеми вмикання тиристорних електроприводів постійного струму (а – подач, б – головного руху)

Параметри мережних реакторів

Таблиця 2.5

$I_H, A$	50
$L_p, мГн$	0,66

$r_p, \text{ Ом}$	0,0064
-------------------	--------

## 2.2 Розрахунок Параметрів об'єкта керування

Опір, обумовлений перекриттям вентилів

$$R_J = \frac{6 \cdot X_p}{2\pi}$$

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

$$X_p = \omega \cdot L_p$$

$$X_p = 314 \cdot 0,00066 = 2,07 \text{ Ом}$$

$$R_\gamma = \frac{6 \cdot 314}{2\pi} = 6 \text{ Ом}$$

Активний опір, індуктивність та електромагнітна стала якірного кола, зведені до температури обмоток  $90^\circ$ .

$$R_e = (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + 2r_p)[1 + (90 - t_0^0)\alpha] + R_\gamma$$

де  $\alpha=0,004$  – температурний коефіцієнт опору для міді;  $t_0^0$  – температура “холодної” обмотки. Де  $R_{\text{сд}}$  – активний опір та індуктивність згладжувального дроселя у колі випрямленого струму. Де  $L_p, r_p$  – опір та індуктивність мережних реакторів.

$$R_e = (0,5 + 0,264 + 2 \cdot 0,0064)[1 + (90 - 20^0)0,004] + 6 = 6,99 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт моменту для двигуна з електромагнітним збудженням.

$$k\Phi = M_{\text{н}}/I_{\text{н}}, \text{ Нм/А}$$

$$k\Phi = \frac{179,1}{40,8} = 4,38$$

## 2.3 Параметри САР двозонного електропривода.

Функціональна схема САР двозонного електроприводу.

Для електроприводів головного руху характерні наявність задавача інтенсивності на вході РШ, відсутність адаптації контуру швидкості до зміни потоку та контуру напруги якоря – до зміни швидкості. Регулятор ЕРС або напруги якоря – звичайно інтегральний. Компенсацію внутрішнього зворотного зв'язку за проти-ЕРС здійснено за допомогою сигналу датчика напруги.

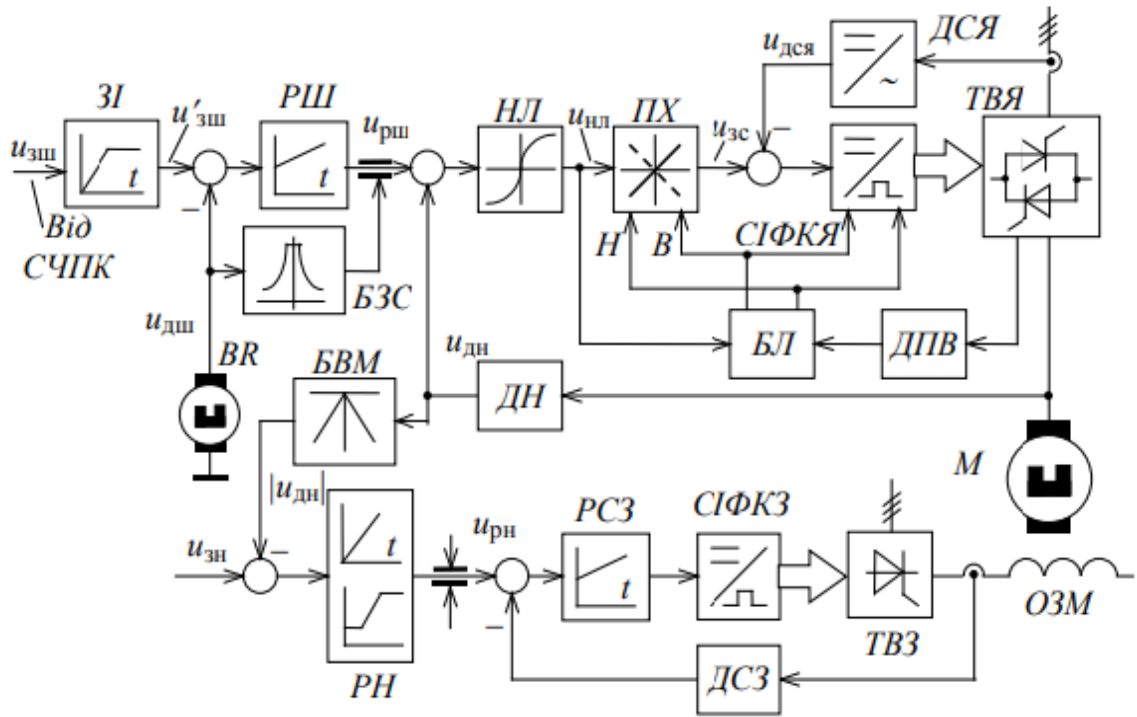


Рис.2.2 Функціональна схема двозонного електропривода постійного струму механізму головного руху.

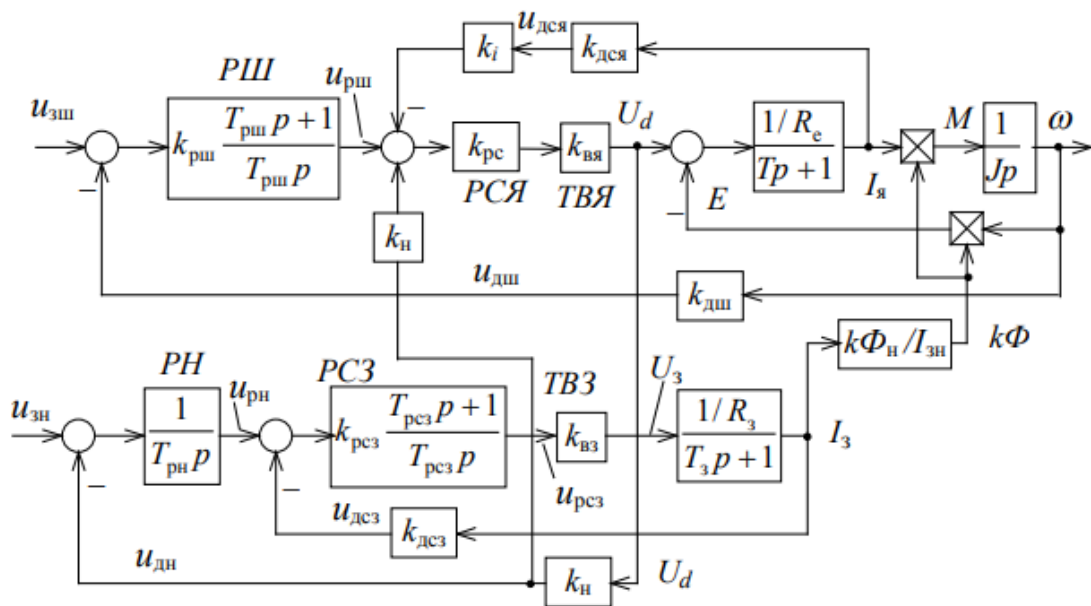


Рис 2.3 Структурна схема двозонного електропривода постійного струму механізму головного руху.

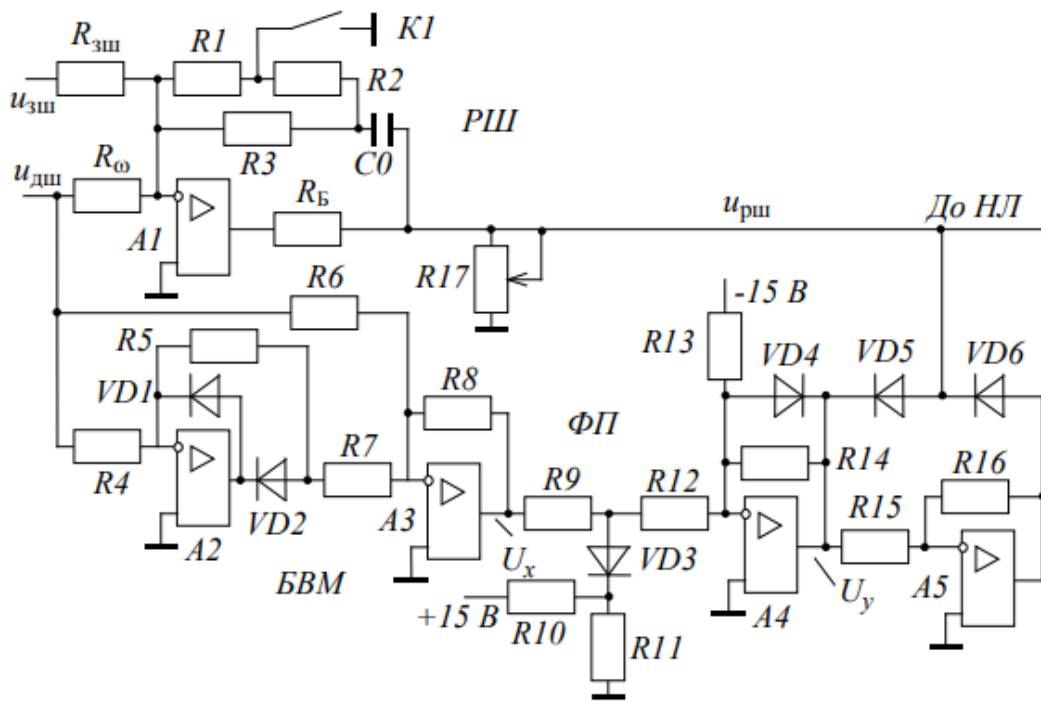


Рис.2.4 Регулятор швидкості та вузол залежного струмообмеження.

Бажана стала часу замкненого контуру струму якоря.

$$T_c = \frac{C}{\Omega_p}, c$$

$$T_c = \frac{1,1}{115} = 0,009$$

Інтенсивність зворотного зв'язку за струмом.

$$k_i = \frac{R_e}{k_{дся} k_{вя}} \left( \frac{T}{T_c} - 1 \right).$$

$$T = L_e / R_e$$

$$T = \frac{0,66}{6,99} = 0,094$$

$$k_i = \frac{6,99}{0,2 \cdot 62,2} \left( \frac{0,094}{0,009} - 1 \right) = 5,3$$

Коефіцієнт замкненого контуру струму.

$$k_c = \frac{k_{вя}}{R_e + k_{вя} k_i k_{дся}},$$

Де  $k_{дся} = (3 \dots 6)/I_{max0}$  – коефіцієнт передачі датчика струму якоря, В/А.

$$k_c = \frac{62,2}{0,66 + 62,2 \cdot 0,0798 \cdot 0,2} = 37,6$$

Передатна функція та параметри регулятора швидкості.

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

$$k_{рш} = \frac{AJ}{k_c T_c k_{дш} k\Phi};$$

$$T_{рш} = \frac{AT_c}{B}, \text{ с,}$$

Де  $k_{дш}$  – коефіцієнт передачі датчика швидкості (табл. 2.6).

$$k_{рш} = \frac{1,54 \cdot 1,95}{37,6 \cdot 0,009 \cdot 0,315 \cdot 4,38} = 6,43$$

Таблиця 2.6

Тип двигуна	Тахогенератор		
	Тип	$k_{дш}$ , В-с	Опір навантаження, Ом, не менше
2ПФ	ТС1	0,315	2
ДР	ТС1-м	0,0955	1,25
ДПУ, 2ПБВ	ТП80	0,191	10
ПБВ	ТС1-1м	0,191	4
ДК1	ТГ1	0,287	1
ДВУ, 2ДВУ	ТС1-71	0,0239	20

$$T_{рш} \frac{1,54 \cdot 0,009}{0,44} = 0,031$$

$$W_{рш}(p) = 6,43 \frac{0,031 + 1}{0,031} = 213,8$$

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

$$R19 = \frac{R31}{k_n} = \frac{47}{0,0798} = 588,9$$

Контакт К1 у колі зворотного зв'язку регулятора швидкості (РШ) забезпечує зміну параметрів РШ залежно від рівня швидкості. За швидкості, меншій третини номінальної, К1 увімкнено, що збільшує резонансну частоту контуру швидкості та його швидкодію. Параметри РШ при цьому.

$$k_{рш} = R3/R_{зш} \quad (8.9)$$



$$k_{\text{рш}} = \frac{21}{28} = 0,75$$

$$T_{\text{рш}} = R2 \cdot C0 = 20 \cdot 1,1 = 22 \quad (8.10)$$

За більших швидкостей К1 розімкнений, а параметри РШ дорівнюють.

$$k'_{\text{рш}} = \frac{R1+R2}{R1+R2+R3} \cdot \frac{R3}{R_{\text{зш}}} = \frac{k_{\text{рш}}}{\beta}; \quad (8.11)$$

$$T'_{\text{рш}} = \frac{R1+R2}{R1+R2+R3} \cdot R3 \cdot C0 = \frac{R3 \cdot C}{\beta}, \quad (8.12)$$

$$\text{Де } \beta = \frac{R1+R2+R3}{R1+R2}.$$

$$k'_{\text{рш}} = \frac{18+20}{18+20+21} \cdot \frac{21}{28} = \frac{0,75}{0,64}$$

$$T'_{\text{рш}} = \frac{18+20}{18+20+21} \cdot 21 \cdot 15 = \frac{21 \cdot 0,7}{0,64}$$

Зміна лише резонансної частоти контуру  $\Omega_r$  без зміни коефіцієнтів форми А, В, С означає тільки зміну масштабу часу з тим самим перерегулюванням.

$$T'_{\text{рш}} = T_{\text{рш}} \beta,$$

$$T'_{\text{рш}} = 22 \cdot 2,5 = 55$$

Величину коефіцієнта  $\beta$  слід брати в межах 2...3. Виходячи з виразів (8.9)–(8.13), номінали елементів зворотного зв'язку РШ дорівнюють.

$$R_{\omega} = R_{\text{зш}} \cdot \frac{U_{\text{дшт}}}{U_{\text{зшт}}};$$

$$R_{\omega} = \frac{28 \cdot 43,97}{10} = 123.11$$

$$R3 = k_{\text{рш}} \cdot R_{\text{зш}}$$

$$R3 = 0,75 \cdot 28 = 21$$

$$C0 = \frac{\beta^2 T_{\text{рш}}}{R3};$$

$$C0 = \frac{0,64^2 \cdot 22}{21} = 0,42$$

$$R2 = \frac{T_{\text{рш}}}{C0} = \frac{R3}{\beta^2};$$

$$R2 = \frac{22}{0,42} = \frac{21}{0,41}$$

$$R1 = \frac{R2(\beta^2\beta + 1)}{\beta - 1},$$

$$R1 = \frac{20(0,64^2 \cdot 0,64 + 1)}{1 - 0,64} = 70,1$$

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

Переводимо обороти в хвилину [об/хв] в радіани в секунду [рад/сек]

$$U_{дшт} = 0,227 \cdot 193,73 = 43,97$$

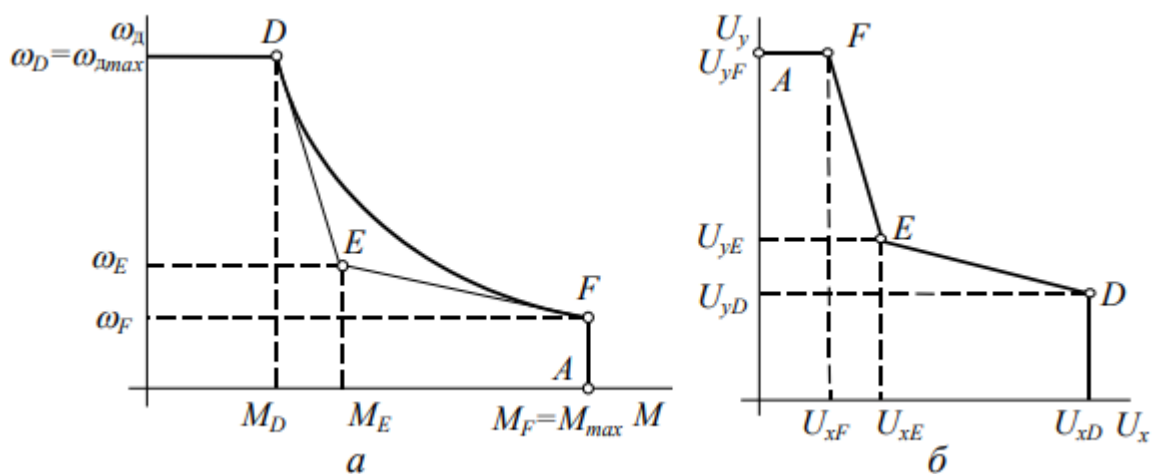


Рис. 2.5 До розрахунку вузла залежного струмообмеження.

Для синтезу параметрів вузла залежного струмообмеження за методикою [7] використаємо апроксимацію комутаційної кривої ВМД, зроблену в п. 4.4. Саме цю комутаційну криву (рис. 2.5а) апроксимує статична характеристика (рис. 2.5б) функціонального перетворювача (ФП), який входить до складу вузла залежного струмообмеження (рис. 2.4). Як видно зі схеми, напруги зміщення у ФП дорівнюють  $U_{зм} = \pm 15\text{ В}$ . Опором R14 задаємось. Вхідні та вихідні напруги ФП для опорних точок D, E, F розраховують за виразами

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

$$k_{БВМ} < \frac{U_{нас}k\Phi}{k_{дся}M_{max}} = \frac{10 \cdot 4,38}{0,2 \cdot 358,2} = 0,61$$

$$M_D = M_H = 4179,1 \text{ Нм}$$

$$M_E = 1,2M_H = 1,2 \cdot 179,1 = 214,9 \text{ Нм}$$

$$M_F = M_{max} = 2M_H = 2 \cdot 179,1 = 358,2 \text{ Нм}$$

$$\omega_D = \omega_{dmax} = \frac{3,14 \cdot 1850}{30} = 193,6 \text{ рад/с}$$

$$\omega_E = 100 \text{ рад/с}$$

$$\omega_F = \omega_H = \frac{3,14 \cdot 800}{30} = 83,7 \text{ рад/с}$$

$$U_{xD} = \omega_D k_{дш} k_{БВМ} = 193,6 \cdot 0,315 \cdot 0,5 = 30,5$$

$$U_{xE} = \omega_E k_{дш} k_{БВМ} = 100 \cdot 0,315 \cdot 0,5 = 15,75$$

$$U_{xF} = \omega_F k_{дш} k_{БВМ} = 83,7 \cdot 0,315 \cdot 0,5 = 13,2$$

$$U_{yD} = \frac{k_{дся} M_D}{k\Phi} = \frac{0,2 \cdot 4179,1}{4,38} = 190,8$$

$$U_{yE} = \frac{k_{дся} M_E}{k\Phi} = \frac{0,2 \cdot 214,9}{4,38} = 9,8$$

$$U_{yF} = \frac{k_{дся} M_F}{k\Phi} = \frac{0,2 \cdot 358,2}{4,38} = 16,3$$

Коефіцієнти передачі ФП на ділянках ED та EF (з урахуванням знаку)

$$k_{ED} = \frac{U_{yE} - U_{yD}}{U_{xE} - U_{xD}} = \frac{9,8 - 190,8}{15,75 - 30,5} = 12,2$$

$$k_{FE} = \frac{U_{yF} - U_{yE}}{U_{xF} - U_{xE}} = \frac{16,3 - 9,8}{13,2 - 15,75} = -2,54$$

Сума опорів на вході підсилювача А4.

$$R_{12} + R_9 = -R_{14}/k_{FE},$$

$$11 + 9 = \frac{-20}{-2,54} = 7,87$$

звідки, задавшись одним з них (не більшим від суми), знаходять другий. Опір одного з резисторів подільника.

$$R_{11} = \frac{k_{ED} R_{12} \cdot R_9}{R_{14} + k_{ED} (R_{12} + R_9)} ;$$

$$R_{11} \frac{12,2 \cdot 11 \cdot 9}{20 + 12,2(11 + 9)} = 4,57$$

Інший з них.

$$R10 = \frac{U_{зм}R11(R12 + R9)}{U_{xE}R12} - R11.$$

$$R10 = \frac{15 \cdot 4,57(11 + 9)}{15,75 \cdot 11} - 4,57 = 3,34$$

Опір у колі зміщення.-

$$R13 = \frac{U_{зм}R14}{U_{yF} - U_{xF}k_{EF}};$$

$$R13 = \frac{15 \cdot 20}{16,3 - 13,2 \cdot 2,54} = -17,41$$

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

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

$$u_{рш} = U_{yF} = \frac{10 \cdot 5}{2,7 + 5} = 6,5$$

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

$$R17 \geq \frac{U_{yF} R_B}{U_{нас} - U_{yF}};$$

Опори в колі інвертора А5 повинні бути однаковими ( $R15=R16$ ). Більшість опорів, які входять до складу БВМ, приймаються також одного номіналу ( $R4=R5=R7=22$  кОм), тільки  $R6=2 \cdot R4=44$  кОм, а  $R8 = 2k_{БВМ}R4$

$$R8 = 2 \cdot 0,5 \cdot 22 = 22$$

де  $k_H = \frac{1}{k_{в\text{я}}k_{дн}} = \frac{1}{62,2 \cdot 0,227} = 0,0708$  – коефіцієнт позитивного зворотного зв'язку за напругою;

$$k_{дн} = \frac{10}{U_{я}} = \frac{10}{440} = 0,227 \text{ – коефіцієнт передачі датчика напруги якоря.}$$

$$k_{в\text{я}} = \frac{U_{d0\pi}}{U_{опт}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 3,14}{10} = 62,2 \text{ Коефіцієнт передачі тиристорного випрямляча з пилкоподібною опорною напругою в СІФК.}$$

Де  $U_{d0} = k_u U_{ж}$  – максимальне можлива середня випрямлена напруга випрямляча.  $U_{ж}$  – діюча лінійна напруга живлення випрямляча (для

трансформаторних схем – напруга вторинної обмотки трансформатора, для безтрансформаторних – напруга мережі);  $k_u$  – коефіцієнт схеми (для однофазної мостової 0,9; для трифазної нульової 0,667; для трифазної мостової 1,35);  $U_{опт}$  – амплітуда опорної напруги СІФК (звичайно 8...12 В).

$$U_{d0} = k_u U_{ж} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В}$$

$$k_{дн} = \frac{10}{440} = 0,022$$

$$k_{в\dot{я}} = \frac{513 \cdot 3,14}{10} = 161,1$$

$$k_{н} = \frac{1}{0,022 \cdot 161,1} = 0,282$$

Оскільки форми кривих допустимого моменту перевантаження двигуна у другій зоні та ВМД подібні, методики розрахунку вузлів залежного струмообмеження також аналогічні. За швидкості, меншій номінальній допустимий момент.

$$M_{доп} = M_{маx} = 2M_{н} = 2 \cdot 179,1 = 358,2 \text{ Нм}$$

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

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

$$\text{Тому } \omega_F = \omega_{дн}, M_F = 2M_{н}, \omega_D = \omega_{дмаx}, M_D = 2M_{н} \omega_{дн} / \omega_{дмаx};$$

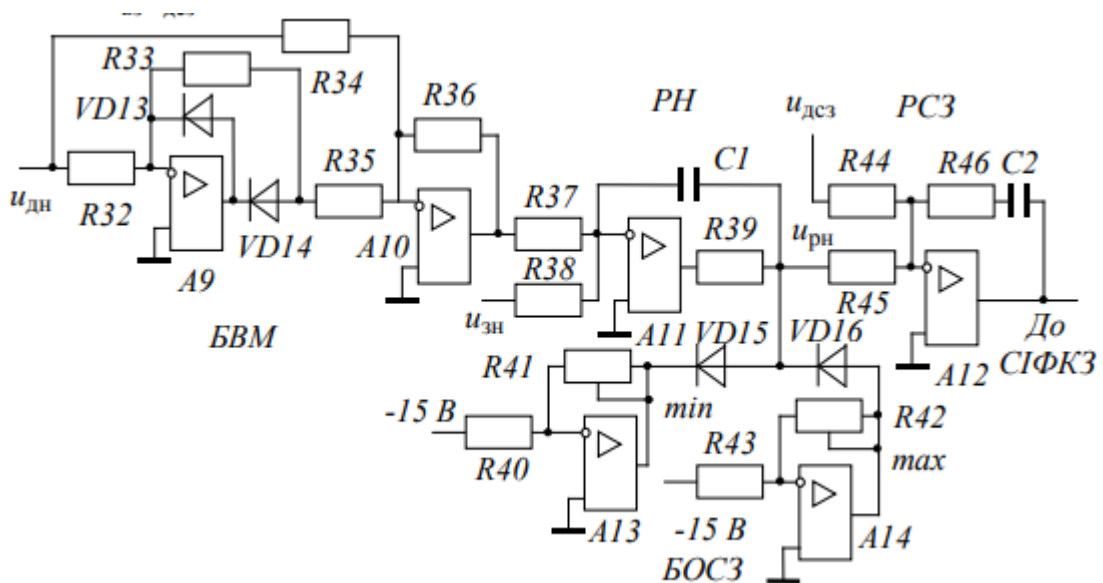


Рис. 2.6 Принципова схема регуляторів напруги та струму збудження.

Передатна функція регулятора струму збудження має вигляд.

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

параметри якої вибираються, як:

$$T_{\text{рсз}} = T_3 = \frac{L_3}{R_3} = \frac{21,8}{42} = 0,519 \text{ с};$$

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

$k_{\text{вз}} = \frac{U_{\text{до}\pi}}{U_{\text{опв}}} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 3,14}{10} = 62,17$ ; – коефіцієнт передачі тиристорного збудника;  $\omega_p$  – резонансна частота замкненого контуру струму збудження,

$k_{\text{дсз}} = \frac{3}{I_{\text{зн}}} = \frac{3 \cdot 42}{220} = 0,573$ ; – коефіцієнт передачі датчика струму збудження, В/А;  $I_{\text{зн}}$  – номінальний струм збудження, А.

$$k_{\text{рсз}} = \frac{0,015 \cdot 42 \cdot 25}{62,17 \cdot 0,573} = 0,442;$$

Тоді стала часу та коефіцієнт передачі замкненого контуру струму збудження будуть.

$$T_{\text{сз}} = \frac{1}{\omega_p}, \text{ с};$$

$$k_{\text{сз}} = \frac{1}{k_{\text{дсз}}};$$

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

$$k_{\text{сз}} = \frac{1}{13,6} = 0,07;$$

Стала часу інтегрального регулятора напруги.

$$T_{\text{рн}} = \frac{a_{\text{н}} T_{\text{сз}} k_{\text{дн}} k_3}{k_{\text{сз}}} \text{ с};$$

Де  $a_{\text{н}}$  – коефіцієнт настроювання контуру напруги;  $k_3 = \frac{\Delta E}{\Delta I_3} = \frac{k_{\Phi_{\text{н}}} \omega_{\text{д max}}}{I_{\text{зн}}}$  – коефіцієнт передачі каналу збудження за максимальної швидкості;  $k_{\Phi_{\text{н}}} = M_{\text{н}}/I_{\text{н}}$

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

$$a_n = \frac{\delta \tau_n}{D_\Phi} = \frac{0,1 \cdot 0,558}{2,31} = 0,0245$$

Де  $\delta$  – допустиме відносне перерегулювання за ЕРС (звичайно 0,1);  $\tau_n = \frac{J \omega_n}{M_n T_3} = \frac{1,95 \cdot 800 \cdot 3,14}{30 \cdot 179,1 \cdot 0,519} = 0,558$  с – відносна тривалість розгону до номінальної швидкості;  $D_\Phi = \frac{\omega_{d \max}}{\omega_{дн}} = \frac{1850}{800} = 2,31$  – діапазон регулювання швидкості зміною потоку.

$$\tau_n = \frac{1,95 \cdot 25}{179,1 \cdot 0,519} = 0,524;$$

$$D_\Phi = \frac{83,7}{358,2} = 0,23;$$

$$a_n = \frac{0,1 \cdot 0,524}{0,23} = 0,22;$$

$$k_3 = \frac{4,38 \cdot 83,7}{220} = 1,66;$$

$$T_{рн} = \frac{0,22 \cdot 0,04 \cdot 0,022 \cdot 13,6}{0,07} = 0,037;$$

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

R37 = R45, то номінали інших елементів регуляторів будуть.

$$R37 = R38 \frac{U_{днт}}{u_{зн}} = R38;$$

$$C1 = \frac{T_{рн}}{R38};$$

$$R44 = R45 \frac{U_{дез \max}}{U_{рн \max}} = R45 \frac{U_{дез \max}}{U_{нас}} = R45 \frac{3}{8};$$

$$R46 = \frac{k_{рез}}{R45};$$

$$C2 = T_{pc3}/R46;$$

Де  $U_{дн\ max} = 10В$ ,  $U_{дез\ max} = 3В$ ,  $U_{рн\ max} = U_{нас} = 8В$  — відповідно максимально можливі напруги датчика напруги, датчика струму збудження, регулятора напруги (дорівнює напрузі насичення підсилювача А11).

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

$$I_{зн} = U_{зн}/R_3;$$

$$I_{з\ min} = I_{зн} \cdot n_{дн}/n_{д\ max};$$

$$U_{рн\ max} = k_{дсз} \cdot I_{зн};$$

$$U_{рн\ min} = k_{дсз} \cdot I_{з\ min};$$

$$I_{зн} = \frac{10}{42} = 0,23;$$

$$I_{з\ min} = \frac{0,23 \cdot 800}{1850} = 0,09;$$

$$U_{рн\ max} = 25 \cdot 0,23 = 5,75;$$

$$U_{рн\ min} = 15 \cdot 0,23 = 3,45;$$

Задавшись вхідними опорами інверторів А13 та А14 визначають опори в каналах їх зворотних зв'язків.

$$R41 = U_{рн\ min} R40/15;$$

$$R42 = U_{рн\ max} R43/15;$$

$$R41 = \frac{3,45 \cdot 10}{15} = 2.3$$

$$R42 = \frac{5,75 \cdot 12}{15} = 4.6$$

Опори блока виділення модуля розраховуються так само, як і опори БВМ на рис. 7 з тією лише різницею, що  $k_{БВМ} = 1$ .



# Охорона праці.

## Вступ.

У даній дипломній роботі розглядається реалізація електропривода головного руху поздовжньо-стругального верстату за системи двигунів головного руху.

У попередніх розділах було обрано двигун та електропривод а також було розраховано момент інерції, динамічні моменти, та середньоквадратичного повного моменту двигуна (з урахуванням динамічних моментів), перевірка двигуна по нагріванню.

У даному розділі розглядають шкідливі чинники проекту, приводяться засоби мінімізації небезпечних чинників, заходи з протипожежної безпеки при роботі з електроприводом.

### **3.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу.**

Поздовжньо-стругальні (поперечно)-стругальні верстати призначені для обробки різцями плоских горизонтальних і вертикальних поверхонь деталей великої довжини. На поперечно- стругальних верстатах обробляють невеликі деталі.

Сучасні металорізальні верстати - це високорозвинені машини, що включають велике число механізмів і використовують механічні, електронні, гідравлічні, пневматичні та інші методи здійснення рухів і управління циклом. За конструкцією і призначенням важко знайти більш різноманітні машини, ніж металорізальні верстати. На них обробляють всілякі деталі - від найдрібніших елементів годинників і приладів до деталей, розміри яких сягають багатьох метрів, - турбін, прокатних станів, теплоходів.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори: рухомі машини і механізми, частини виробничого обладнання, що рухаються, вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються, підвищений рівень шуму на робочому місці.

Характерною особливістю стругальних верстатів є: головним рухом являється зворотно-поступове переміщення різця або деталі і здійснення переривчатої подачі після кожного одинарного або подвійного робочого ходу.

Необхідні технічні заходи, які в першу чергу передбачають міри захисту працівника від нанесення травм при транспортуванні, закріпленні заготовок, встановленні та знятті різців, допоміжних пристосувань.

При обробці на верстаті виробів, що мають значну висоту, робоче місце слід обладнати помостом відповідної висоти, але не вище дзеркала столу.

Основним джерелом безпеки при роботі на поздовжньо-стругальному верстаті є робочий стіл, на якому закріплена заготовка і який рухається в напрямку портала верстата, де нерухомо закріплені різці, що знімають стружку із заготовки. Під час свого руху стіл може нанести травму працівникові, тому слід дотримуватися дистанції відносно столу, слідкувати, щоб одяг працівника

не зачепилася за заготовку чи стіл під час руху останнього. Небезпеку також являє собою й стружка, що знімається із заготовки. На підлозі попереду та зліва від верстата вкладені дерев'яні підніжні решітки, що запобігають ноги стругальщика від холодної підлоги та по можливості посковзнутись на підлозі. В простір між рейками решітки падають випадкові предмети та стружка, що також усуває перепони при переміщеннях працівника.

### **3.2 Заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих факторів**

1. Засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний (ГОСТ 12.4.109-82); захисні окуляри (ГОСТ 12.4.013-85); засоби захисту органів слуху.
2. На стругальних деревообробних верстатах ножові вали повинні бути збалансовані, мати циліндричну форму, а також пристрої для швидкого та надійного закріплення ножів на ножовому валу - для запобігання вильоту ножів.
3. Вставні стружколамачі повинні щільно прилягати до поверхні ножів по всій їхній довжині, бути однакової форми і не мати вироблених та вищерблених ділянок.
4. Механізм подавання заготовок повинен бути заблокований з ножовими валами верстата так, щоб зупинення будь – якого з них викликало зупинку механізму подавання оброблювального матеріалу.
5. У разі стругання на верстаті з ручним подаванням заготовок найменша довжина оброблюваного матеріалу повинна на 100 мм перевищувати відстань між осями подавальних пристроїв.

Подавальні механізми необхідно закривати щитками або кожухами, а неробочу частину нижніх ножових валів – висувним огороженням відповідно до ширини оброблювального матеріалу.

До самостійної роботи на стругальних верстатах допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, інструктажі з охорони праці, стажування і мають посвідчення для роботи на верстатах.

Леза ножів не повинні виступати за краї стружколамачів більше ніж на 1,5 мм і повинні описувати коло одного діаметра.

### **3.3 Протипожежна система.**

Пожежна небезпека електроустановок обумовлена наявністю в електрообладнанні, яке застосовується, горючих ізоляційних матеріалів. Горючої є ізоляція обмоток електричних машин, трансформаторів, різних електромагнітів (контактори, реле, контрольно-вимірювальні прилади). Ізоляція паперовомасяляних конденсаторів також є горючою. Небезпечною щодо пожежі також є ізоляція проводів (гума, папір, поліетилен і ін.) і кабелів. Різного роду лаки та компаунди, ізоляційне (трансформаторне) масло, бітум, каніфоль, сірка

та ряд інших електроізоляційних і конструкційних матеріалів є горючими та пожежонебезпечними.

Найбільшу пожежну небезпеку представляють маслonaповнені апарати — трансформатори, бакові вимикачі високої напруги, а також кабелі з паперовою ізоляцією, просоченою маслoканіфолевою сумішшю.

Засоби гасіння пожеж:

Залежно від обставин, гасіння пожежі можна здійснити такими способами:

- усунути доступ в зону горіння окиснювача;
- охолодити зону горіння до температури нижче температури самозагорання;
- розбавити горючі речовини негорючими;
- інтенсивно гальмувати швидкість хімічних реакцій у полум'ї;
- механічно відірвати полум'я струменем газів та води.

### 3.4 Розрахунок штучного освітлення.

У даному дипломному проєкті проводиться дослідження електропривода поздовжньо-стругального верстату за системи двигунів головного руху.

Вхідними даними слугують розміри та тип приміщення, характеристика зорової роботи для проєктного технологічного процесу. Розміри приміщення зведені до табл. 3.1.

У даному дипломному проєкті буде проводитись розрахунок методом коефіцієнта використання.

Параметр	Умовне позначення	Розміри	Одиниці виміру
Довжина	A	8	М
Ширина	B	6	М
Висота	H	4	М
Площа	S	48	М <sup>2</sup>

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta}, \text{ де}$$

$E$  — нормована мінімальна освітленість, [лк];

$S$  — освітлювана площа, [м<sup>2</sup>];

$k$  — коефіцієнт запасу;

$z$  — коефіцієнт мінімальної освітленості;

$N$  — число світильників у приміщенні;

$\eta$  — коефіцієнт використання світлового потоку.

Величина  $E$  приймається відповідно до “Норм освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях”. Для даного приміщення обираємо норму V розряду. При загальному освітленні приймаємо  $E = 150$  лк.

Площа приміщення приймається  $S = 48$  м<sup>2</sup>, згідно табл. 4.1.

Відповідно до табл. 5.4 [11], для суспільних приміщень з світильниками з газорозрядними лампами приймаємо коефіцієнт запасу  $k = 1.3$ .

Коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп приймаємо  $z = 1.1$ .

Розрахункова висота підвісу  $h$  світильників задається, як правило, розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу приймається по табл. 5.5 [11].

$$\lambda = \frac{L}{h}, \text{ де}$$

$L$  — відстань між світильниками з крапковими джерелами світла, [м];

$h$  — розрахункова висота, [м].

У відповідності до ДСТ І3828-74, для навчальної аудиторії рекомендується використання світильників прямого світла, типова крива — “глибока”. Приймаємо  $\lambda = 0.9$  згідно табл. 5.5 [11].

Значення, що рекомендуються, ( для світильників з типовими кривими (ДСТ І3828-74)

Приймаємо  $\lambda = 0.9$  згідно табл. 5.5 [11].

Відстань між крайніми світильниками та стіною визначається:

$$l = 0.3 \cdot L \quad (4.3)$$

Розрахункова висота визначається:

$$h = H - h_{зв} - h_{рп} \quad (4.4)$$

$$h = 4 - 0.5 - 1 = 2.5$$

$H$  — загальна висота приміщення, [м]. Приймається згідно табл.

$h_{зв}$  — висота звису світильників, [м]. Приймаємо  $h_{зв} = 0.5$  м.

$h_{рп}$  — висота робочої поверхні над підлогою, [м]. Приймаємо  $h_{рп} = 1$  м.

Відстань між рядами світильників:

$$L_p = \lambda \cdot h = 0.9 \cdot 2.5 = 2,25 \text{ м}$$

Кількість рядів світильників:

$$N_p = \frac{A}{L_p} = \frac{8}{2,25} \approx 3,5$$

Кількість світильників у ряді:

$$N_k = \frac{B - l}{L_p} = \frac{6 - 0.567}{2.25} \approx 2,4$$

Загальна кількість світильників:

$$N = N_p \cdot N_k = 3,5 \cdot 2,4 = 8$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{2.5 \cdot (8 + 6)} = \frac{48}{35} \approx 1,3$$

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$  визначаємо за табл. 5.6 [11] коефіцієнти відображень поверхонь приміщення — стелі, стін та робочої поверхні.

Приймаємо  $\rho_c = 0.5$ ,  $\rho_{ст} = 0.3$ ,  $\rho_{рп} = 0.1$ .

Спираючись на індекс приміщення та коефіцієнти відбиття, приймаємо згідно табл. 5.7 [11] значення  $\eta = 0.5$  для люмінесцентних світильників прямого світла та “глибокої” кривої сили світла.

Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 48 \cdot 1.3 \cdot 1.1}{8 \cdot 0.5} = 2574 \text{ лм}$$

Згідно виконаних розрахунків, обираємо лампи типу , параметри яких зведено до табл. 5.11. ЛБ40-4

Параметри ламп типу ЛБ40-4

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Світловий потік, лм, потік після 100 ч горіння		
			Номінальний	Мінімальний	Розрахунковий
ЛБ40-4	40	103	3000	2700	2850

## Висновок

В даному дипломному проекті було розглянуто реалізація електропривода головного руху поздовжньо-стругального верстату за системи двигунів головного руху. Зроблено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу а також заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих факторів. Протипожежна система та засоби її усунення. Був проведений розрахунок штучного освітлення та згідно виконаних розрахунків обрано тип лампи ЛБ40-4 штучного освітлення номінальним світловим потіком 3000 мінімальним 2700 та розрахунковим 2850 та загальної кількості світильників 8 шт.

### **4. Техніко-економічне обґрунтування**

#### **Вступ**

Предметом вдосконалення в даній роботі є електропривод головного руху поздовжньо-стругального верстата. У старій моделі верстата в якості електродвигуна головного руху використовувався двигун постійного струму із керуванням за допомогою тиристорного перетворювача частоти із застосуванням зворотного зв'язку за швидкістю. Використання двигуна постійного струму із великою потужністю пов'язане із виникненням деяких технологічних проблем. По-перше, він споживає більше електроенергії ніж асинхронний електродвигун, по-друге, він не забезпечує достатньої швидкодії із-за великого момента інерції на валу, по-третє, кількість браку перевищує допустиму норму.

На підставі вищеописаного було прийнято рішення про заміну двигуна постійного струму на асинхронний електродвигун із керуванням за допомогою тиристорного перетворювача частоти.

В даній частині економічного обґрунтування проведемо розрахунок зміни річних експлуатаційних затрат споживача при використанні ним порівнюємих об'єктів.

#### **4.1. Розрахунок капітальних витрат**

Капітальні інвестиції — це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення включають витрати на придбання, транспортування обладнання та витрати, пов'язані з проведенням

монтажно-налагоджувальних робіт.

При визначенні величини проектних капіталовкладень  $K_{пр}$  використовуємо формулу:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр} \quad (4.1)$$

де  $K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i)$  — вартість придбання електрообладнання (програмного забезпечення, засобів автоматизації тощо) 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;

$Z_{пр}$  — інші одноразові вкладення грошових коштів;

Витрати на придбання технічних засобів та комплектуючих виробів зведені до табл.

4.

Зведення капітальних витрат.

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Двигун 2ПФ200ЛГ	1	105010 [2]	105010
2	Електропривод ЭПУ2-2-34-4ОД	1	60500 [3]	60500
	Всього			165510

Далі визначаємо вартість транспортно-заготівельних витрат:

Двигун головного руху закупляється на запорізькому заводі «Мотор Січ».

Перевіз обладнання до Дніпра відбувається за допомогою «Нової Пошти».

Відстань доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації, відстань між К та Д 87 км.

У Двигуна наступні габарити:

Вага – 370 кг

Довжина – 180 см

Ширина - 50 см

Висота – 65 см

Виходячи із тарифів «Нової пошти» транспортування буде коштувати 2,216 грн ( з урахуванням ПДВ). Обґрунтування [1].

Комплектний електропровід закупляється на запорізькому заводі «Мотор Січ». Перевіз обладнання до Дніпра відбувається за допомогою «Нової Пошти».

Перевіз обладнання до Дніпра відбувається за допомогою «Нової Пошти». Відстань доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації, відстань між К та Д 87 км.

У електропривода наступні габарити:

Вага – 10 кг

Довжина – 25 см

Ширина - 30 см

Висота – 20 см

Виходячи із тарифів «Нової пошти» транспортування буде коштувати 423 грн ( з урахуванням ПДВ). Обґрунтування [1].

Таким чином, затрати на придбання комплектуючих для системи автоматичного керування головним електроприводом верстата дорівнюють: 165510, а сумарні витрати на транспортування становлять 2639 грн

Витрати на монтажні та на налагоджувальні роботи можна визначити наступним чином:

$$Z_m = \sum (C_i * a_i * t_i) * K_d * K_{cm} * K_{pr} \quad (4.2)$$

де  $C_i$  –чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), чол. Електромонтажник 2-го розряду

$a_i$ –годинна тарифна ставка працівника і-го розряду, 109 грн/год. [4]

$t_i$ –час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт).

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

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

$K_{pr}$ –коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних(налагоджувальних) робіт, 1,05.

Таким чином витрати для двигуна становлять:

$$Z_{m(d)} = \sum (2 * 109 * 3) * 1,1 * 1,22 * 1,05 = 921,5 \text{ грн.}$$

$$Z_{n(d)} = \sum (1 * 109 * 2) * 1,1 * 1,22 * 1,05 = 307,1 \text{ грн.}$$

Витрати для електропривода становлять:

$$Z_{m(pr)} = \sum (1 * 109 * 1,5) * 1,1 * 1,22 * 1,05 = 230,3 \text{ грн.}$$

$$Z_{n(pr)} = \sum (1 * 109 * 3) * 1,1 * 1,22 * 1,05 = 460 \text{ грн.}$$



Таким чином сумарне значення:  $K_{м,н} =$

$$K_{м,н} = Z_{м(д)} + Z_{н(д)} + Z_{м(пр)} + Z_{н(пр)} = 921,5 + 307,1 + 230,3 + 460 = 1918,9 \text{ грн.}$$

Для встановлення придбаного обладнання необхідно придбати змазку. Ціна якої становить 220 грн і відноситься до  $K_{пр}$  [5].

Основні капітальні вкладення в мережу, що проектується, складають:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн} + K_{пл} \quad (4.3)$$

$$K = 165510 + 1918,9 + 2639 + 220 = 170287,9 \text{ грн}$$

## 4.2. Визначення експлуатаційних витрат

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

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_m$ );
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $C_{пр}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{пр}, \text{ грн.} \quad (4.4)$$

### 4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів визначається підприємством самостійно виходячи з очікуваних економічних вигоди, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання повинен бути не менший мінімально допустимого терміну корисного використання. У табл. 4.1 наведено мінімально допустимі терміни корисного використання для окремих груп

основних засобів.

Таблиця 4.1

Мінімально допустимі терміни корисного використання за окремими групами основних засобів

Група	Основні засоби	Термін корисного використання, років
4	Машини і обладнання	5
	ЕОМ, машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи тощо.	2

Відповідно до табл. 4.1 придбане устаткування відноситься до групи 4, мінімальний допустимий термін використання становить 2 роки.

Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л, \quad (4.5)$$

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л = 165510 - 16551 = 148959 \text{ грн}$$

де  $\Phi_{\Pi}$  — первісна вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  — розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi} - Л}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

$$N_a = \frac{165510 - 16551}{16551 \cdot 5} \cdot 100\% = 18\%$$

У випадку придбаного обладнання ліквідаційну вартість приймаємо як 10 % первісної вартості :

де  $T_{\Pi}$  – термін корисного використання (амортизаційний період).

$$L = \Phi_{\Pi} \cdot 0,1 = 165510 \cdot 0,1 = 16551 \text{ грн}$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_{\Pi} \cdot N_a}{100} \quad \text{або} \quad AO = \frac{\Phi_{\Pi} - \Phi_L}{T_{\Pi}} \quad (4.7)$$

$$AO = \frac{165510 \cdot 18}{100} = 29791,1$$

#### 4.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки). Вона визначається тарифними ставками і відрядними розцінками, посадовими окладами для спеціалістів, службовців і керівників.

При визначенні основної заробітної плати робітників (за відрядною або погодинною формами оплати) необхідно знати погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду та розрахувати номінальний річний фонд робочого часу робітника.

Номінальний річний фонд робочого часу одного робітника  $F_n$  визначається відповідно до режиму його роботи (кількістю робочих днів і тривалістю зміни):

$$F_{n(\text{раб})} = (D_k - D_{\text{св}} - D_{\text{вих}} - D_{\text{отп}}) \cdot T_{\text{зм}} \text{ , годин,} \quad (4.8)$$

$$F_{n(\text{нід})} = (D_k - D_{\text{св}} - D_{\text{вих}}) \cdot T_{\text{зм}} \text{ , годин,} \quad (4.9)$$

де  $D_k$ ,  $D_{\text{св}}$ ,  $D_{\text{вих}}$  – кількість календарних, святкових і вихідних днів у році відповідно;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, годин.

Розрахунок номінального річного фонду робочого часу повинний бути наведений у пояснювальній записці.

При розрахунку заробітної плати інженерно-технічного персоналу слід враховувати, що вона визначається, виходячи з місячного посадового окладу.

$$F_{н(раб)} = (365 - 104 - 11 - 24) * 8 = 1808 \text{ годин}$$

$$F_{н(під)} = (365 - 104 - 11) * 20 = 5000 \text{ годин}$$

Таб 4.2

Розрахунок річного фонду основної заробітної плати обслуговуючого персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Явочний штат у зміну, осіб	Обліковий склад з урахуванням змінності роботи, осіб	Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, годин	Усього основна зарплата, грн.
1	Електромонтажник	3	4	119	1808	22000
2	Фрезерувальник	10	16	67	1808	13453
	Всього	13	20	186	3616	34391

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад встановлених норм, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати належать премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій за діючими на підприємстві преміальними системами, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством (за роботу в нічний

і вечірній час, у важких і шкідливих умовах, за багатозмінний режим роботи, за керівництво бригадою незвільненим бригадирам, за навчання учнів тощо).

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 8-10% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати складає:

$$C_3 = Z_{осн} + Z_{дод}, \text{ грн.} \quad (4.10)$$

де  $Z_{осн}$ ,  $Z_{дод}$  – основна і додаткова заробітна плата відповідно.

Для фрезерувальника  $C_3 = 12391 + 10\% = 13453 + 1345,3 = 14798,3$  грн

Для електромонтажника  $C_3 = 21800 + 10\% = 21800 + 2180 = 23980$  грн

Єдиний соціальний внесок:

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати[8].

Для України це становить 22%.

#### 4.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

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

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right) \quad (4.11)$$

де  $n$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

$t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./од.:

- малого - 1,2;
- середнього - 7,0;
- капітального - 15,0.

$m_i$  – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

$R_{\Sigma}$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання:

✓ асинхронний двигун від 55 до 75 кВт - 6,0;

$S_i$  - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

$\Pi$  – кількість однотипних замінних елементів;

$T$  – середній термін служби деталей даного типу, год.;

$T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік, год.

Річні витрати на технічне обслуговування становлять:

Для малого ремонту:

$$Z_{\text{т.р.}(мал)} = \sum_{i=1}^1 (109 * 1,2 * 3 * 6 + \frac{80 * 2}{1,5} * 4000) = 429021 \text{ грн}$$

Для середнього ремонту:

$$Z_{\text{т.р.}(сер)} = \sum_{i=1}^1 (109 * 7 * 1 * 6 + \frac{150 * 1}{4} * 4000) = 154578 \text{ грн}$$

Для капітального ремонту:

$$Z_{\text{т.р.}(кап)} = \sum_{i=1}^1 (109 * 15 * 0,1 * 6 + \frac{(150 * 1) + (135 * 1)}{10} * 4000) = 285981 \text{ грн}$$

Таким чином річні витрати на технічне обслуговування складають:

$$Z_{\text{т.р.}} = Z_{\text{т.р.}(мал)} + Z_{\text{т.р.}(сер)} + Z_{\text{т.р.}(кап)} = 429021 + 154578 + 285981 = 869580$$

#### 4.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

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

$$C_3 = W_p \cdot C_e, \text{ грн.}, \quad (4.12)$$

$$C_3 = 4000 \cdot 1,68 = 6720 \text{ грн}$$

де  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт • год;

$C_e$  – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт • год; [9]

Якщо на підприємстві використовується багатозонний облік електроенергії, то  $W_p$  розподіляється за зонами обліку і в кожній з них застосовується свій тариф на електроенергію.

Річний фонд робочого часу об'єкта проектування ( $F_n$ ) визначається режимом роботи технологічних процесів, які він обслуговує, і може не збігатися

з річним фондом робочого часу працівників. Розрахунок  $F_n$  наводиться в пояснювальній записці.

#### 4.2.5. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати зохорони праці, на спецодяг та ін. На ці витрати відраховуємо 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

Для фрезерувальника це

$$C_{\text{ін(фр)}} = (12\,391 * 12) - 96\% = 5947,68 \text{ грн}$$

Для Електромонтажника це

$$C_{\text{ін(ем)}} = (21800 * 12) - 96\% = 10464 \text{ грн}$$

В сумі інші витрати складають:

$$C_{\text{ін}} = 5947,68 + 10464 = 16411,68$$

Таким чином експлуатаційні витрати будуть дорівнювати

$$C = C_a + C_z + C_c + C_{\text{пр}} + C_e + C_{\text{ін}}$$

$$C = 29791,1 + 38778,3 + 22\% + 869580 + 6720 + 16411,68 = 976366,3 \text{ грн}$$

### Висновки

В даному розділі було проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат. Для реалізації даного дипломного проекту проектні капіталовкладення становитиме 170287,9 грн, річні експлуатаційні витрати 976366,3 грн.

Зведення витрат на модернізацію. Табл 4.3

Вид затрат		Одиниця виміру	Значення
Капітальні	Вартість придбання	грн	165510
	транспортно-заготівельні витрати		2639
	налагоджувальні роботи		1918,9
	інші одноразові вкладення		220

Експлуатаційні	амортизаційні відрахування	грн	29791,1
	заробітна плата обслуговуючого персоналу		34391
	єдиний соціальний внесок	%	22
	витрати на технічне обслуговування	грн	869580
	вартість електроенергії		6720
	інші витрати		16411,68

Таб 4.4  
Посилання та обґрунтування

Номер №	Посилання	Значення
1	<a href="https://novaposhta.ua/ru/delivery">https://novaposhta.ua/ru/delivery</a>	Доставка
2	<a href="https://ventilator.ua/product/elektrodivigatel-2pf-200lg-30-0-1500-3500/#size">https://ventilator.ua/product/elektrodivigatel-2pf-200lg-30-0-1500-3500/#size</a>	Двигун
3	<a href="https://electro.mashinform.ru/komplektnyj-ehlektroprivod-dlya-stankostroeniya/jelektroprivody-odnofaznye-unificirovannye-postojannogo-toka-jepu2-obj1718.html">https://electro.mashinform.ru/komplektnyj-ehlektroprivod-dlya-stankostroeniya/jelektroprivody-odnofaznye-unificirovannye-postojannogo-toka-jepu2-obj1718.html</a>	Електропривод
4	<a href="https://www.work.ua/ru/jobs/4390411/">https://www.work.ua/ru/jobs/4390411/</a>	Заробітна плата
5	<a href="https://avtozvuk.ua/wd-40-400ml/p26848">https://avtozvuk.ua/wd-40-400ml/p26848</a>	Змаска
6	<a href="https://nkpromeselectro.com.ua/zapchasti/peremychki-klemmnoj-paneli/peremychka-250-280-3otv-44mm-2588-detail">https://nkpromeselectro.com.ua/zapchasti/peremychki-klemmnoj-paneli/peremychka-250-280-3otv-44mm-2588-detail</a>	Запчастини (мал. Ремонт)
7	<a href="https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/prom/">https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/prom/</a>	Тарифи на розподіл електроенергії для підприємств



8	<a href="https://index.minfin.com.ua/labour/social/">tps://index.minfin.com.ua/labour/social/</a>	Єдиний соціальний внесок
9	<a href="https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/">https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/</a>	Тариф на електроенергію

## Література

Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / НТУ «Дніпровська політехніка», каф. ПЕПтаПУ. – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 16 с.

Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет / Под ред. А.С. Овчаренко и др. – Київ.: Техніка, 1985. – 279 с.

Електромеханічні системи автоматизації та електропривід /Уклад. М.М. Казачковський – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – 50

Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НГУ, 2021. - 14 с.

Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.

