

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 Охотник Олександр Олександрович

(ПІБ)

академічної групи 141-16-4

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації<sup>1</sup> Електромеханічні засоби автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та

електро

механіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Боровик Р.О.			
розділів:	5			
Спеціальна частина	Боровик Р.О.			
Охорона праці	Столбченко О. В.			
Техніко- економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент	Федоров С.И.			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро  
2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
електропривода  
\_\_\_\_\_ (повна назва)

\_\_\_\_\_ Казачковський М.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу**

**ступеня бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Охотник О.О. академічної групи 141-16-4  
(прізвище та ініціали) (шифр)  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та  
\_\_\_\_\_ електро  
механіка \_\_\_\_\_  
(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод ротора підвісної  
центрифуги. \_\_\_\_\_,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.05.2020 № 258-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина	Загальні відомості, технологічний процес центрифугування, вимоги до електроприводу ротора, розрахунок потужності і вибір приводного електродвигуна.	
2. Автоматизований електропривод	Розрахунок потужності електропривода, обчислення розрахункової потужності електродвигуна, вибір електродвигуна, вибір силового трансформатора, розрахунок тиристорного перетворювача.	
3. Дослідження динаміки електропривода	Початкові розрахунки, результати синтезу структурної схеми електропривода.	
4. Охорона праці	Аналіз безпеки, інженерно-технічні заходи, протипожежне обладнання, вибір системи освітлення.	
5. Техніко-економічне обґрунтування	Оцінка капітальних та експлуатаційних витрат.	

Завдання видано \_\_\_\_\_ Боровик Р.О.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

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

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Охотник О.О.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## Реферат

Темою дипломного проектування є автоматизація електропривода ротора підвісної центрифуги з нижнім вивантаженням матеріалу.

Робота містить 42 аркуша, що включають 10 рисунків.

Обрано систему електропривода «ТП-ДПТ». Обрано приводний двигун 2ПН225, що задовольняє запитам і вимогам технологічного процесу, та підібрано трансформатор і тиристорний перетворювач.

Складена математична модель системи керування електропривода. За допомогою персонального комп'ютера були розраховані перехідні процеси системи електропривода, які підтвердили правильність вибору елементів силової частини електропривода.

Окремим розділом було виділено розрахунок економічної доцільності проведення автоматизації ротора центрифуги та наведені пункти з охорони праці для безпечного використання даної механічної системи.

*підвісна центрифуга; тиристорний перетворювач – двигун; двозонне регулювання*

*ЕП.ПД.20.06.Р*

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Охотник О.О		
Перевірів		Боровик Р.О.		
Реценз.				
Н. Контр.		Казачковський М.М.		
Затв.				

*Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги*

Літ.    Арк.    Аркушів

Національний Технічний Університет  
"Дніпровська Політехніка"

## Abstract

The topic of the diploma is the automation of the electric drive of the suspended centrifuge rotor with the lower unloading of material.

The work contains 42 pages, including 10 figures.

The electric drive system TC-DC is chosen. The 2PN225 drive motor is selected, which satisfies the demands and requirements of the technological process, transformer and thyristor converter are selected.

A mathematical model of the electric drive control system is compiled. With the help of a personal computer, the transients of the electric drive system were calculated, which confirmed the correct choice of the elements of the power part of the electric drive.

A separate section highlighted the calculation of the economic feasibility of automating the centrifuge rotor and provides points for labor protection for the safe use of this mechanical system.

*suspended centrifuge; thyristor converter - motor; dual-zone regulation*


					<i>ЕП.ПД.20.06.Р</i>	Аркуш
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

## Вступ

Застосовують метод центрифугування для розділення неоднорідних систем, що складаються з двох і більше фаз (суспензій і емульсій). Даний метод заснований на впливі силового відцентрового поля на неоднорідну систему. Використання машин, які базуються на методі центрифугування, можна знайти в хімічній, харчовій, медичній, металургійної та інших галузях народного господарства.

У спрощеному вигляді така машина, центрифуга, являє собою ротор, що швидко обертається навколо своєї. Матеріал завантажується в ротор періодично або безперервно й виводяться з ротора також періодично або безперервно.

Особливістю підвісних центрифуг з верхнім приводом і нижнім вивантаженням продукту є шарнірна підвіска вертикального валу з ротором. Дана шарнірна підвіска дозволяє усій центрифугі бути малочутливий до нерівномірного завантаження, отже має велику динамічну стійкість під час роботи.

В даному проекті наводиться розробка автоматизації електроприводу ротора підвісної центрифуги: обирається система керування, тип двигуна. Автоматизацію на підприємстві використовують для збільшення ефективності виробництва.


					<i>ЕП.ПД.20.06.ВС</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Охотник О.О.</i>				<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Боровик Р.О.</i>							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Казачковський М.М.</i>							
<i>Затв.</i>					<small>Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"</small>			

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА


					<i>ЕП.ПД.20.06.01</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Охотник О.О.</i>							
<i>Перевірив</i>	<i>Боровик Р.О.</i>							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Казачковський М.М.</i>							
<i>Затв.</i>								
						<small>Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"</small>		

## 1.1. Загальні відомості

Центрифуга (Рисунок 1.1) являє собою систему фільтрів підвісних вертикальних машин періодичної дії з нижнім ручним вивантаженням продукту через днище ротора, призначену для розділення суспензій з дрібно-, середньозернистою або твердою фазою.

Центрифугу виготовляють з вуглецевої сталі і чавуну. Основними вузлами центрифуги є: ротор, привід, кожух з кришкою, гальма і металоконструкція. Електродвигун розрахований на роботу при температурі навколишнього середовища до  $+40^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 95%. Механічне гальмо в центрифугі крім аварійного гальмування здійснює додаткове гальмування центрифуги після основного електричного рекуперативного гальмування електродвигуна.

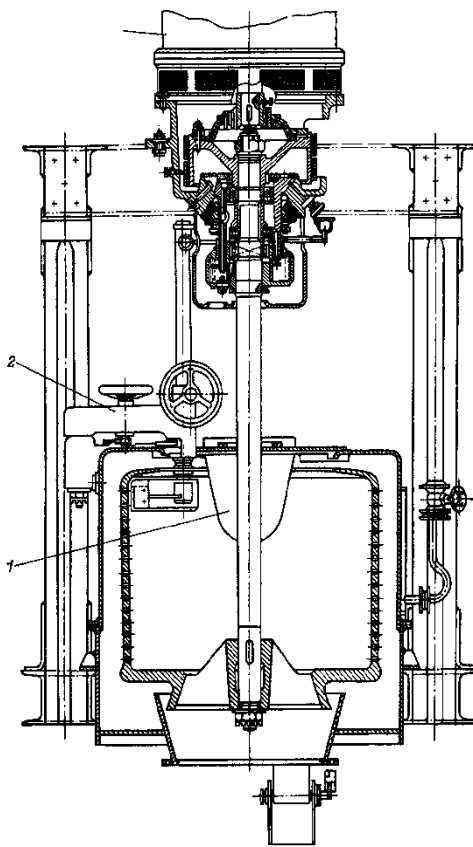


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд центрифуги

Електродвигун з'єднаний з валом центрифуги за допомогою еластичної гумової муфти. Вал центрифуги закріплений в приводі на шарнірній опорі. Між корпусом приводу і корпусом підшипників встановлений гумовий амортизатор, який при невірноваженості маси, що обертається (особливо під час завантаження), значно полегшує умови роботи підшипників кочення і вала, приймаючи на себе удари і коливання.

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.01

Аркуш

5

Ротор центрифуги – циліндричний, підвішений на нижньому кінці вала. Всередині ротора розміщують підкладними й фільтруючими ситами. Завантаження проводиться за допомогою спеціального лотка, який закріплено на кожусі. Спеціальний лоток входить всередину ротора. Механізоване вивантаження осаду з ротора здійснюється за допомогою ножа спеціальної конструкції, який закріплено на кришці кожуха.

Розглянемо пристрій основних вузлів центрифуги більш детально. Ротор підвісний центрифуги виготовляють звареним з вуглецевої сталі. Високі вимоги пред'являють до якості і контролю зварювання. Обечайка фільтруючого ротора зазвичай перфорується отворами, розташованими в шаховому або коридорному порядку.

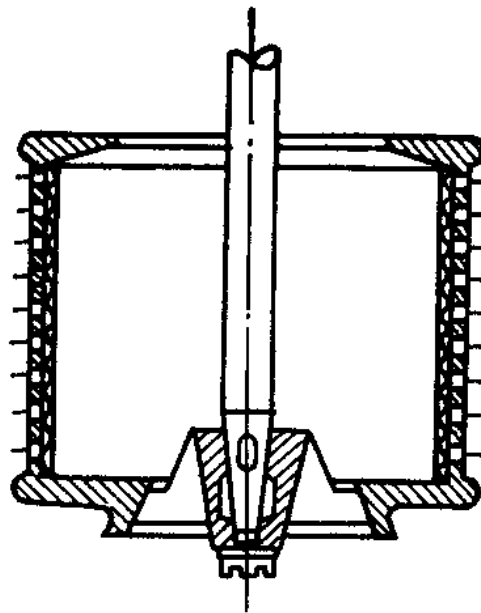


Рисунок 1.2 - Конструкція ротора

Ротор підвісної центрифуги, що зображений на Рисунку 1.2., складається з обечайки, верхнього днища, розетки і нижнього днища. Розетка складається зі маточини, обода і спиць, через отвори яких проводиться розвантаження ротора. Всі фільтруючі ротори комплектують фільтруючою основою, що складається з підкладного дренажного сита і сітки, що й фільтрує. Застосовують металеві сітки саржевого плетіння і сітки з тонколистової латуні зі штампованими отворами прямокутного або круглого перетинів. Привід підвісної центрифуги (Рисунок 1.3) є шарнірною опорою валу і призначений для передачі ротору обертання від електродвигуна через еластичну сполучну муфту.


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.01

Аркуш

6



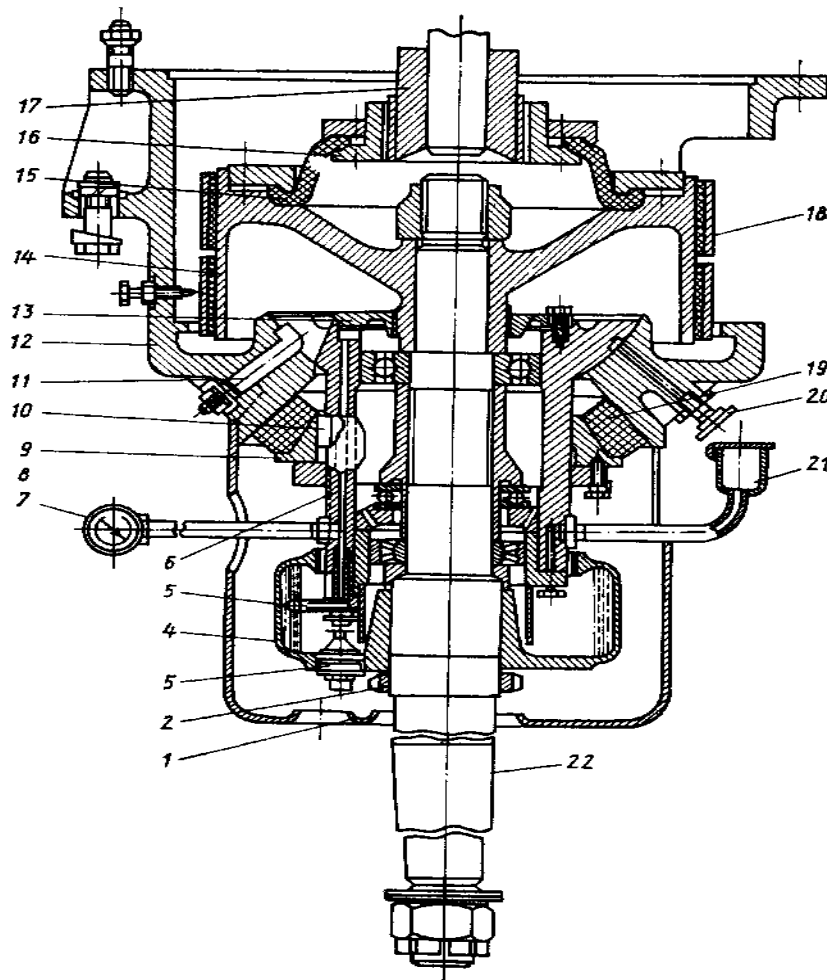


Рисунок 1.3 – Привід центрифуги:

1 – захисний кожух; 2 – гайка; 3 – пробка; 4 – коробка для масла; 5 – заборная трубка; 6 – корпус підшипників; 7 – манометр; 8 - гайка підтискання амортизатора; 9 – конічна втулка; 10 – шпонка; 11 – болт; 12 – корпус привода; 13 – кришка; 14 – гальмівний шків; 15 – резинова муфта; 16, 17 – зовнішня й внутрішня шліцеві втулки; 18 – ленточний гальма; 19 – резиновий амортизатор; 20, 21 – маслянки; 22 –

Муфта закріплена на гальмівному шківі і з'єднана з валом двигуна за допомогою шліцевих втулок. Основними деталями приводу є: корпус (12), гальмівний шків (14), еластична гумова муфта (15), стрічковий гальмо (18).

Корпус підшипників (6) спирається верхньої кульової поверхнею в гнізді корпусу привода і зафіксований від кругового обертання спеціальним болтом (11). Алюмінієва коробка (4) для масла закріплена на валу (22) і обертається разом з ним. Крім того, є для огорожі трубка (5), подає масло на підшипники, захисний кожух (1), манометр (7) для контролю тиску масла, маслянки (20) і (21), призначені відповідно для змащення кульової поверхні і заливки масла в алюмінієву коробку. У корпусі підшипників розташований вал, підвішений на двох радіальних і одному наполегливому підшипниках кочення. З боку

гальмівного шківa корпус закритий кришкою (13). Мaстило підшипників - рідке, з місцевої циркуляцією в результаті швидкісного напору масла, створюваного в забірній трубці, закріпленої в нижній частині корпусу підшипника. Циркуляція масла контролюється манометром (надлишковий тиск має бути не менше 0,01 МПа).

Центрифуга укомплектована механізмом зрізу з ручним керуванням Рисунок 1.4. Основною його деталлю є ніж (12), закріплений на нижньому циліндричному кінці штанги (10), здійснює зворотно-поступальний рух у втулці корпусу (8). Корпус через вісь (2) з'єднаний з кронштейном (1), жорстко встановленим на кожусі. Поворот корпусу навколо осі здійснюється маховиком (6) через валик (5) і шестерню (4), яка заходить в зачеплення із зубчастим сектором (3). Ніж в неробочому положенні (виведений з ротора) фіксують в спеціальному секторі (9) за допомогою наявного на штанзі зуба. Тільки при виведеному з ротора і зафіксованому ножі можливий пуск двигуна.

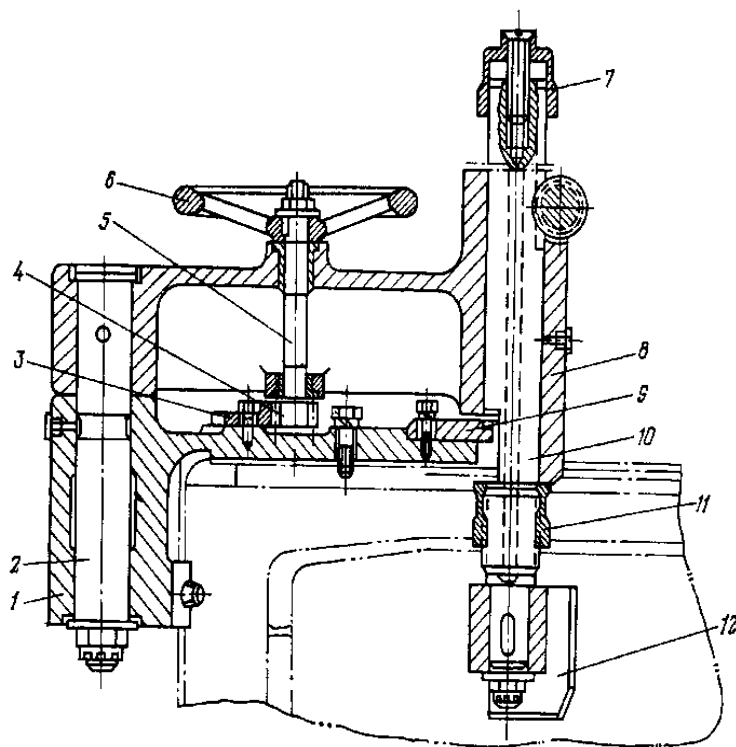


Рисунок 1.4 – Механізм зрізу з ручним керуванням:

- 1 – кронштейн; 2 – вісь; 3 – зубчастий сектор; 4 – шестерня;  
 5 – валик; 6 – маховик; 7, 11 – гайки; 8 – корпус; 9 – сектор;  
 10 – штанга; 12 – ніж

## 1.2. Технологічний процес центрифугування

Центрифугуванням або фугуванням називається поділ неоднорідних систем за допомогою відцентрових сил.

Центрифугування технічних суспензій і шлаків проводиться двома методами. По-перше, їх поділ здійснюється завдяки використанню об'ємних сил дисперсної фази, по-друге – об'ємних сил дисперсного середовища і частково дисперсної фази. У першому випадку центрифугування виконується в роторах, які мають суцільну стінку, у другому – перфоровану. Поділ в суцільних роторах можна порівняти з відстоюванням в полі тяжіння, хоча особливості відцентрового поля і обумовлюють різницю в протіканні цих процесів. Центрифугування в перфорованих роторах є своєрідним процесом, окремі елементи якого схожі з процесами фільтрації, пресування шлаків і т.д.

Основним показником роботи центрифуги є індекс продуктивності, що характеризує відносну роздільну здатність центрифуги. Його розраховують за формулою:

$$\Sigma = 2\pi * R_{рт} * L * F_r$$

де  $L$  – довжина ротора центрифуги періодичної дії або циліндричної частини ротора шнекової центрифуги, м;  $R_{рт}$  – радіус ротора, м;  $F_r$  – фактор поділу на радіус ротора  $R_{рт}$ .

Фактор поділу – безрозмірний параметр, що визначає, у скільки разів прискорення відцентрового поля, що розвивається в центрифугі, більше прискорення вільного падіння. Його знаходять з рівняння:

$$F_r = \frac{\omega_p^2 r_{рт}}{g}$$

де  $\omega_p$  – кутова швидкість ротора, рад/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Значення  $R_{рт}$  і  $\omega_p$  залежать від конструктивних особливостей центрифуги. З їх збільшенням фактор поділу зростає. Максимальне значення його практично досягається збільшенням кутової швидкості (при вимушеному зменшенні радіусу ротора).

Центрифугування суспензій і шлаків в перфорованих роторах називається відцентровою фільтрацією. У загальному випадку воно складається з наступних трьох процесів, що протікають в результаті впливу на оброблюваний продукт відцентрових сил інерції:

- фільтрації з утворенням осаду. Тобто відділення частинок, зважених в рідині, при проходженні останньої через проникну стінку ротора центрифуги;

- віджимання рідини з утвореного осаду;
- видалення з осаду рідини, що утримується молекулярними силами.

Відцентрова фільтрація з утворенням осаду протікає подібно звичайній фільтрації. Слідом за цим процесом відбувається віджимання рідини з осаду, що супроводжується ущільненням останнього. Потім слід видалення рідини, що утримується в місцях зіткнення частинок і на їх поверхні.

Процес, що складається з віджимання і відділення плівковою і капілярної рідини, називається відцентровим віджиманням. Прикладами цього процесу є центрифугування цукрового утфелю і сульфату амонію.

Підвісні центрифуги з верхнім приводом є машинами періодичної дії. Процес центрифугування в них зазвичай відбувається наступним чином. Ротор центрифуги на ходу при неповній або повній швидкості обертання завантажується матеріалом, що підлягає обробці. Якщо завантаження проведена при неповному обертанні ротора, то після її закінчення швидкість ротора доводять до максимальної. При центрифугуванні в перфорованих роторах тверда фаза до кінця процесу містить мінімальну кількість відокремлюваної рідини, яка утримується на поверхні частинок твердої фази і в місцях їхнього зіткнення. Щоб позбутися від залишків рідкої фази, осад промивають іншою рідиною (іноді декількома).

Під дією відцентрованого поля промивна рідина видаляється, і зміст її з плином часу стає мінімальним. Вивантаження за допомогою механічних ножів здійснюється при обертанні ротора з невеликою швидкістю.

Робочий цикл центрифуги характеризується тахограмою роботи приводу ротора на Рисунку 1.5.


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

*ЕП.ПД.20.06.01*

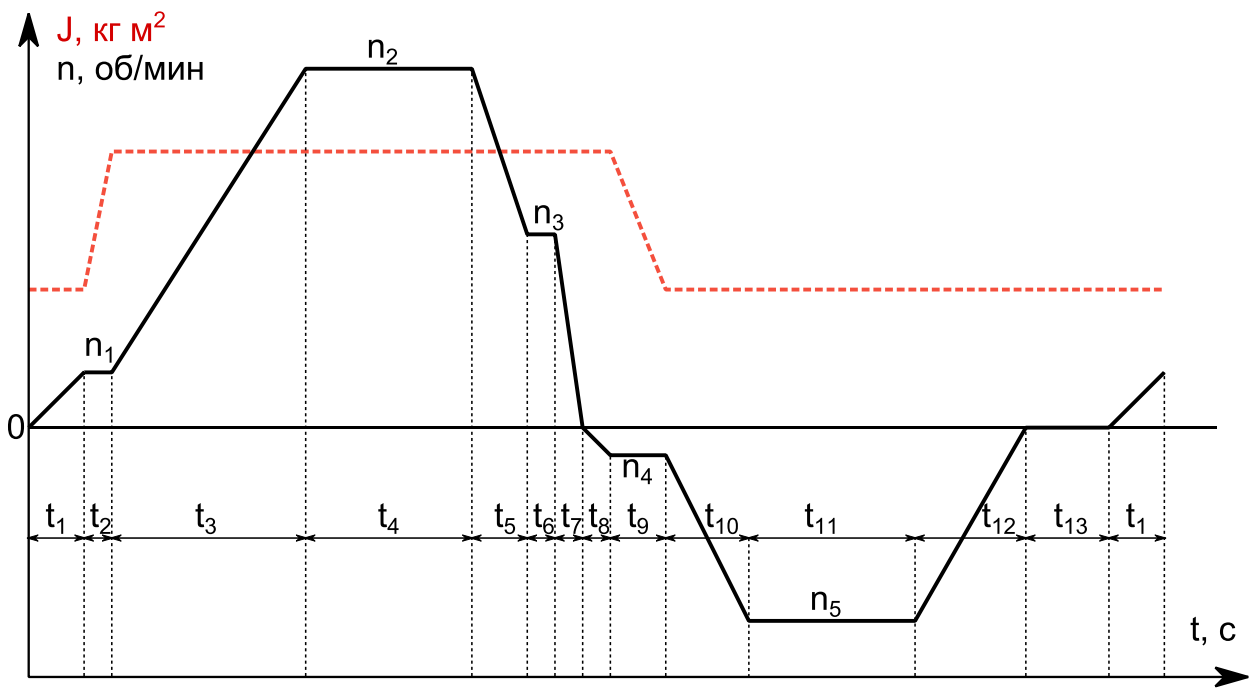


Рисунок 1.5. – Тахограма робочого циклу підвісної центрифуги

### 1.3. Вимоги до електроприводу ротора

Електрообладнання центрифуг зазвичай працює в умовах хімічно агресивною, не вибухонебезпечне середовище з підвищеною відносною вологістю повітря (до 95%) при температурі до +40°C. В цьому випадку, при порушенні природного охолодження, виконання електродвигунів повинно бути не менше IP 44 або необхідно продувається виконання з підведенням чистого повітря. Найбільшу потужність електродвигунів мають центрифуги періодичної дії, що застосовуються у виробництві цукру. Тому перевантажувальна здатність двигуна повинна бути достатньою для стійкої роботи електроприводу в періоди максимального навантаження. Крім того, апаратура, встановлена на самих центрифугах, повинна працювати в умовах значних вібрацій і тряски.

Основні вимоги до електроприводу таких центрифуг: забезпечити оптимальні динамічні режими при постійних прискоренні і уповільненні центрифуги і стабілізувати її частоти обертання при завантаженні, вивантаженні і фугування.

Якщо врахувати великі моменти інерції центрифуг, то питання застосування економічного електроприводу, що забезпечує рекуперацію енергії в мережу при гальмуванні, тут займає важливе місце.

Електропривод ротора центрифуги також повинен забезпечувати можливість плавного регулювання швидкості від "повзучої" швидкості дорівнює 10 об/хв, до максимальної, що дорівнює 1500 об/хв. Живлення


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
-----	-------	----------	--------	------

електроприводу здійснюється від цехової мережі змінного струму з напругою 380 В.

#### 1.4. Розрахунок потужності і вибір приводного електродвигуна

Визначимо час роботи з даних проміжків роботи в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Час проміжків робочого циклу

t1, с	t2, с	t3, с	t4, с	t5, с	t6, с	t7, с	t8, с	t9, с	t10, с	t11, с	t12, с	t13, с
20	10	25	35	11	5	5	4	10	12	36	14	30

Час робочого циклу:

$$t_p = \sum_{i=1}^{12} t_i = 187 \text{ (сек)}$$

Фактична тривалість включення:

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_{13} = 217 \text{ (сек)}$$

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} * 100\% = 86,18\%$$

Приймаємо стандартне значення  $\varepsilon_{\text{ст}} = 100\%$

Виходячи з тахограми (рисунок 1.5) і фактичної тривалості включення, можна зробити висновок, що режим роботи двигуна S8 – режим роботи при періодичній зміні частоти обертання і навантаження. Це послідовність ідентичних робочих циклів, кожен з яких складається з періодів прискорення, роботи при постійному навантаженні, що відповідає заданій частоті обертання, потім одного або декількох періодів роботи при інших постійних значеннях навантаження, відповідних іншим частотам обертання.

Кваліфікуємо режим роботи як S8 так як  $\varepsilon_{\phi} > 86,18\%$ .

## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЕП.ПД.20.06.02</i>			
Розроб.		Охотник О.О			<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Боровик Р.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Казачковський М.М.						
Затв.								
						Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"		

## 2.1. Розрахунок потужності електропривода

Для визначення потужності електродвигуна застосуємо дані з навантажувальної діаграми механізму. Навантажувальна діаграма механізму представляє собою графік зміни статичного моменту на валу ротора центрифуги в часі протягом робочого циклу центрифуги. Необхідно визначити значення статичного моменту на кожній ділянці робочого циклу.

Статичний момент на валу ротора центрифуги:

$$M_{\text{ст.мех.}} = M_{\text{пов}} + M_{\text{тертя}}$$

де  $M_{\text{пов}}$  – складова статичного моменту, обумовлена тертям ротора центрифуги з повітрям;  $M_{\text{тертя}}$  – момент, який створюється силами тертя вала ротора центрифуги в підшипниках.

На ділянці робочого циклу, відповідному процесу вивантаження осаду, абсолютне значення  $M_{\text{ст.мех.}}$  зростає на величину моменту  $M_{\text{зріз}}$ , що обумовлене зусиллям різання, яке впливає на лезо ножа ( $M_{\text{зріз}} = 0,6 * M_{\text{пов}}$ ).

Отже, розрахуємо момент сил тертя ротора центрифуги об повітря:

$$M_{\text{пов}} = 23,5 \cdot 10^{-6} \cdot H \cdot D \cdot n^2$$

де  $H$  – висота (довжина) ротора, м;  $D$  – діаметр ротора, м;  $n$  – швидкість обертання ротора, об/хв.

Зараз розрахуємо момент сил тертя в підшипниках:

$$M_{\text{тертя}} = 4,9 \cdot f \cdot m_{\text{ц}} \cdot d \cdot n$$

де  $f = 0,03 \dots 0,09$  – коефіцієнт тертя, що залежить від типу підшипника;  $m_{\text{ц}}$  – маса ротора з продуктом, кг;  $d$  – діаметр вала на якому укріплений ротор центрифуги, м.

Розрахуємо масу ротора з продуктом:

$$m_{\text{ц}} = m_{\text{завант}} + m_{\text{не занавант}}$$

де  $m_{\text{завант}}$  – максимальне завантаження ротора суспензією і становить 800 кг;  $m_{\text{незанавант}}$  – маса не завантаженого ротора продуктом 950,7 кг.

Формула для розрахунку маси не завантаженого ротора продуктом:

$$m_{\text{не занавант}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \cdot \rho$$

де  $D$  – діаметр ротора центрифуги, м;  $H$  – висота ротора центрифуги, м;  $\rho$  – щільність матеріалу, за якого вироблено ротор центрифуги,  $\text{кг/м}^3$  (щільність сталі  $7900 \text{ кг/м}^3$ ).

Отже, маємо масу не завантаженого ротора продуктом:

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.02

Аркуш

14



$$m_{\text{ц.не завант}} = m_{\text{не завант}} = 950,7(\text{кг})$$

Й масу ротора з продуктом:

$$m_{\text{ц.завант}} = m_{\text{завант}} + m_{\text{не завант}} = 1750,7 (\text{кг})$$

Визначимо момент сил тертя в підшипниках для завантаженого і не завантаженого ротора ( $f = 0,04$  – коефіцієнт тертя в підшипниках кочення):

$$M_{\text{тертя.завант}} = 4,9 \cdot f \cdot m_{\text{ц.завант}} \cdot D \cdot n$$

$$M_{\text{тертя.не завант}} = 4,9 \cdot f \cdot m_{\text{ц.не завант}} \cdot D \cdot n$$

Після попередніх розрахунків є можливість розрахувати статичний момент на валу ротора центрифуги на кожній ділянці робочого циклу:

$$M_{\text{ст.мех.1}} = M_{\text{пов1}} + M_{\text{тертя.не завант1}} = 23,37 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.2}} = M_{\text{пов2}} + M_{\text{тертя.завант2}} = 35,91 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.3}} = M_{\text{пов3}} + M_{\text{тертя.завант3}} = 80,34 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.4}} = M_{\text{пов4}} + M_{\text{тертя.завант4}} = 33,33 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.5}} = M_{\text{пов5}} + M_{\text{тертя.завант5}} = 33,33 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.6}} = M_{\text{пов6}} + M_{\text{тертя.завант6}} = 33,33 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.7}} = M_{\text{пов7}} + M_{\text{тертя.завант7}} = 27,45 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.8}} = M_{\text{пов8}} + M_{\text{тертя.не завант8}} = -29,57 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.9}} = M_{\text{пов9}} + M_{\text{тертя.не завант9}} + M_{\text{зріз9}} = -17,03 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.10}} = M_{\text{пов10}} + M_{\text{тертя.не завант10}} = -67,78 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.11}} = M_{\text{пов11}} + M_{\text{тертя.не завант11}} = -67,78 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.12}} = M_{\text{пов12}} + M_{\text{тертя.не завант12}} = -14,91 (\text{Н/м})$$

$$M_{\text{ст.мех.13}} = M_{\text{пов13}} = 0$$

## 2.2 Обчислення розрахункової потужності електродвигуна

Частота обертання ротора на кожній ділянці робочого циклу:

$$n_1 = 600 (\text{об/хв.})$$

$$n_2 = 600 (\text{об/хв.})$$

$$n_3 = 1500 (\text{об/хв.})$$

$$n_4 = 1500 (\text{об/хв.})$$

$$n_5 = 500 (\text{об/хв.})$$

$$n_6 = 500 (\text{об/хв.})$$

$$n_7 = 0 (\text{об/хв.})$$

$$n_8 = -300 (\text{об/хв.})$$

$$n_9 = -300 (\text{об/хв.})$$

$$n_{10} = -1500 \text{ (об/хв.)}$$

$$n_{11} = -1500 \text{ (об/хв.)}$$

$$n_{12} = 0 \text{ (об/хв.)}$$

$$n_{13} = 0 \text{ (об/хв.)}$$

Розрахункова потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{розр}} = K_3 \cdot P_{\text{ст.мех.середнє}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{\varepsilon_{\text{ст}}}}$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних процесів на температурний режим двигуна і додаткові втрати енергії в ньому;  $P_{\text{ст.мех.середнє}}$  – середнє значення статичної потужності механізму за час  $t_p$  роботи в межах робочого циклу;  $\varepsilon_{\phi}$  – фактична (по тахограми) відносна тривалість включення;  $\varepsilon_{\text{ст}}$  – стандартна тривалість включення (для якої буде обиратися потужність двигуна по каталогу, найближча за значенням до  $\varepsilon_{\phi}$ ).

З урахуванням значної частки перехідних процесів в загальній тривалості робочого циклу візьмемо  $K_3 = 1,7$ . Якщо режим роботи двигуна тривалий, то  $\varepsilon_{\text{ст}} = 1$  (100%).

Тоді, середнє значення механічної потужності можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{ст.мех.середнє}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \sum_{i=1..13} (M_{\text{ст.мех.}i} \cdot \omega_{\text{мех.}i})^2 \cdot t_i}$$

$$P_{\text{ст.мех.середнє}} = 7353 \text{ (Вт)}$$

Отже, загальна розрахункова потужність:

$$P_{\text{розр}} = 12 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}$$

### 2.3 Вибір електродвигуна

Виходячи з  $P_{\text{розр}} = 12 \cdot 10^3$  (Вт) і режиму роботи електроприводу, обираємо двигун постійного струму серії 2П. Вартість двигуна постійного струму й асинхронного двигуна для даної потужності буде майже однаковою. Система «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму» на підприємствах досить відома й зручна для використання персоналом. До того ж дана серія двигунів використовується в електроприводах, де потрібно регулювання в широких діапазонах.

Паспортні дані двигуна 2ПН225 в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	$P_{дв}$ , кВт	$I_{я}$ , А	$n_{ном}$ , об/хв	$n_{max}$ , об/хв.	$J_{я}$ , кг · м <sup>2</sup>	ККД, %	Опір обмоток якоря, Ом	Опір обмоток збудження, Ом
2П	30	136,37	1060	2500	0,6	84,5	0,049	38,6

Дані двигуна використаємо для розрахунку параметрів необхідного силового трансформатора, тиристорного перетворювача та тахогенератора.

## 2.4 Вибір силового трансформатора

Потужність силового трансформатора визначається за номінальною потужністю двигуна  $P_{ном}$  та його ККД  $\eta$ :

$$S_{tr} \geq \frac{P_{ном}}{\eta} = \frac{30 \cdot 10^3}{0,845} = 35,5 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}$$

$$S_{tr} = 40 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}$$

Обираємо силовий трансформатор ТСЗИ-40-380/220 (<https://sbp.net.ua/shop/transformator-tszi-40-0-kvt/>) (Рисунок 2.1) з такими параметрами:

- Потужність: 40кВА
- Напруга первинної обмотки: 380В
- Напруга вторинної обмотки: 220В
- Частота мережі: 50Гц



Рисунок 2.1 – Силовий трансформатор ТСЗИ-40-380/220

## 2.5 Розрахунок тиристорного перетворювача

Для ТП кола якоря розраховуються величини індуктивності реакторів на сторонах постійного й змінного струмів й виконується їх вибір за каталогом.

Комплектний ТП якорного кола обирається за номінальним струмом  $I_{дня}$  й напруги  $U_{дня}$  й номінальним параметрам якорного кола двигуна.

$$I_{дня} \geq I_{я}$$

$$I_{дня} \geq 140 \text{ A}$$

$$U_{дня} \geq U_{я}$$

$$U_{дня} \geq 220 \text{ В}$$

При номінальному значенні напруги ТП якоря  $U_{дня} \geq 220$  номінальне значення струму  $I_{дня}$  (А) обираємо з ряду 10, 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500. В нашому випадку

$$U_{дня} = 220 \text{ (В)}$$

$$I_{дня} = 200 \text{ (А)}$$

ТП для ланцюга збудження обирається аналогічним чином. Номінальні значення струмів  $I_{днз}$  (А) для ТП ланцюгів збудження складають наступний ряд: 25, 50, 100, 200, 320, 500, 800, 1000, 1600, 2500, 3200, 4000.

$$U_{днз} = 200 \text{ (В)}$$

$$I_{днз} = 20 \text{ (А)}$$

Тиристорний перетворювач, який задовольняє даним умовам оберемо [ELL 4016-222-20](#) (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Номінальні параметри тиристорного перетворювача

Тип перетворювача:	14080/250
Максимальний струм якоря	400 А
Номінальний струм якоря	80 А
Напруга живлення	3x220 В
Частота напруги живлення	45 ÷ 65 Гц
Максимальна напруга якоря двигуна	250В
Діапазон регулювання швидкості	1:10 000

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА


					<i>ЕП.ПД.20.06.03</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Охотник О.О</i>						
<i>Перевірів</i>		<i>Боровик Р.О.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>						
<i>Затв.</i>					<i>Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"</i>			

### 3.1. Початкові розрахунки

Розрахунок та моделювання двигуна постійного струму незалежного збудження з тиристорним перетворювачем й двозонним регулюванням швидкості.

Опір якірного кола:

$$R_{\text{я}} = \beta_t (r_{\text{я}} + R_{\text{д}}) = 1,24 * 0,049 = 0,0608 \text{ (Ом)}$$

де  $\beta_t = 1 + 0.004 * 60 = 1.24$  – коефіцієнт, що враховує зміну опору при нагріванні на  $60^{\circ}\text{C}$ ;  $r_{\text{я}}$  – внутрішній опір якоря.

Еквівалентний активний опір, яке враховує зменшення випрямленої напруги в результаті комутації вентилів  $R_{\text{екв}} = \frac{0.5 * u_k}{100} * \frac{U_{2ph}}{I_{\text{дн}}} = 0,0034 \text{ (Ом)}$

Активний опір головного ланцюга електроприводу за системою ТП – Д  $R_{\text{яп}}$  може бути знайдено як сума наступних складових:

$$R_{\text{яп}} = R_{\text{я}} + R_t + R_{\text{др}} + R_{\text{екв}} = 0,0719 \text{ (Ом)}$$

При визначенні активного опору кола збудження  $R_3$  враховуємо тільки опір обмотки збудження  $R_{\text{оз}}$ , нехтуючи активним опором інших ділянок через їх малості:

$$R_3 = \beta_t * R_{\text{оз}} = 47,86 \text{ (Ом)}$$

Індуктивність якоря може бути визначена за формулою:

$$L_{\text{я}} = K \frac{30 * U_{\text{ня}}}{\pi * I_{\text{ня}} * n_n * p_e} = 4,44 \cdot 10^{-4} \text{ (Гн)}$$

Індуктивність розсіювання трансформатора

$$L_T = \frac{x_a}{w} = \frac{2,06}{314} = 0.0066 \text{ (Гн)}$$

Індуктивність головного ланцюга може бути знайдена як сума складових її окремих ділянок:

$$L_{\text{яп}} = L_{\text{я}} + L_T = 0.0067 \text{ (Гн)}$$


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.03

Аркуш

20

Індуктивність ланки збудження двигуна

$$L_3 = \frac{2 \cdot p \cdot W_{3m} \cdot \Phi_n}{I_{n3}} = 12.54 \text{ (Гн)}$$

Постійна часу контуру збудження й вихрових струмів

$$T_3 = \frac{L_3}{R_3} = 0.5 \text{ (сек)}$$

Постійна часу контуру вихрових струмів  $T_{вс}$  – приймається рівною  $0.1 \cdot T_3$ :

$$T_{вс} = 0.1 \cdot T_3 = 0.05 \text{ (сек)}$$

Електромеханічна постійна часу двигуна

$$T_M = \frac{J_{дв} \cdot R_{я}}{k \Phi^2} = 0.641 \cdot 10^{-3} \text{ (сек)}$$

Електромагнітна постійна часу

$$T_{я} = \frac{L_{эп}}{R_{эп}} = 0.717 \text{ (сек)}$$

Постійна часу

$$T_{\mu} = 0.005 \text{ (сек)}$$

Статичний коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача ланки якоря й збудження по напрузі при лінійно-моторній напрузі:

$$k_{3н} = \frac{U_{d0}}{u_{y\max}} = 26.4$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом якоря

$$k_{яс} = \frac{u_{y\max}}{I_{\max}} = 0.0074$$

де  $I_{\max} = \lambda \cdot I_{я} = 1350$  – максимальне значення вимірюваного струму;  $\lambda = 2.25$  – допустима струмове перевантаження якірного кола.

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю

$$k_{яш} = \frac{10}{w_n} = 0.0901$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом збудження

$$k_{зс} = \frac{u_{ymax}}{I_3} = 1.055$$

### 3.2. Результати синтезу структурної схеми електропривода?

В даній частині проекту будується структурна схема системи керування електропривода ,а також визначимо передатні функції регуляторів. Визначимо необхідність компенсації впливу внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС двигуна, спосіб лінеаризації контуру регулювання швидкості електропривода при роботі в другій зоні, а також розглядається принцип адаптації контуру струму в режимі переривчастих струмів.

*Результат синтезу регулятора струму якоря*

Контур струму якоря має наступний вид (Рисунок 3.1).

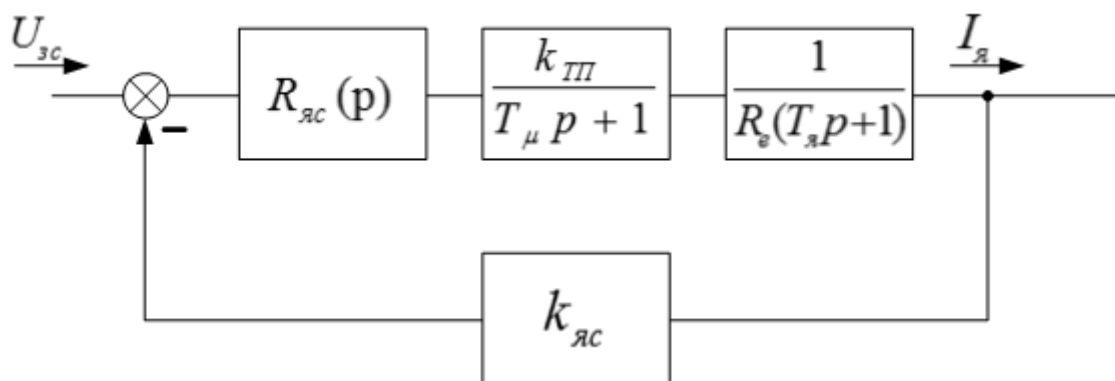


Рисунок 3.1 – Контур струму

Аналіз структурної схеми показує, що об'єкт керування має дві аперіодичні ланки, до того ж  $T_я \gg T_μ$ ; при такому об'єкті використовуємо модульний критерій оптимізації.

Передатна функція регулятора струму якоря будемо шукати наступним чином:

$$R_{яс}(p) = \frac{(T_яp + 1) * R_e}{2 * T_μ * k_{тп} * k_{яс} * p}$$



### Результат синтезу регулятора швидкості

Замкнений контур струму якоря має передатна функція:

$$W_c = \frac{1/k_{яс}}{2T_{\mu}p + 1}$$

Контур швидкості має наступний вид (рисунок 3.2)

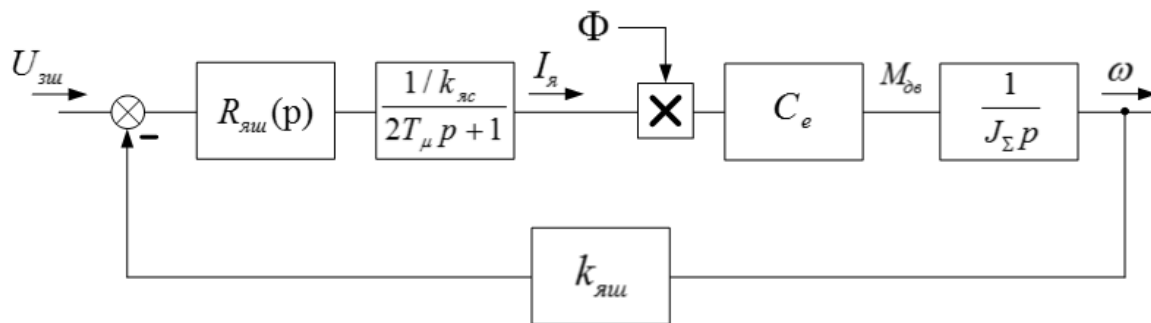


Рисунок 3.2 – Контур швидкості

Передатну функцію П-регулятора швидкості будемо шукати наступним чином:

$$R_{яш}(p) = \frac{J_{\Sigma} * k_{яс}}{4 * T_{\mu} * k_{яш}}$$

### Результат синтезу регулятора струму збудження

Контур струму збудження має наступний вигляд (Рисунок 3.3)

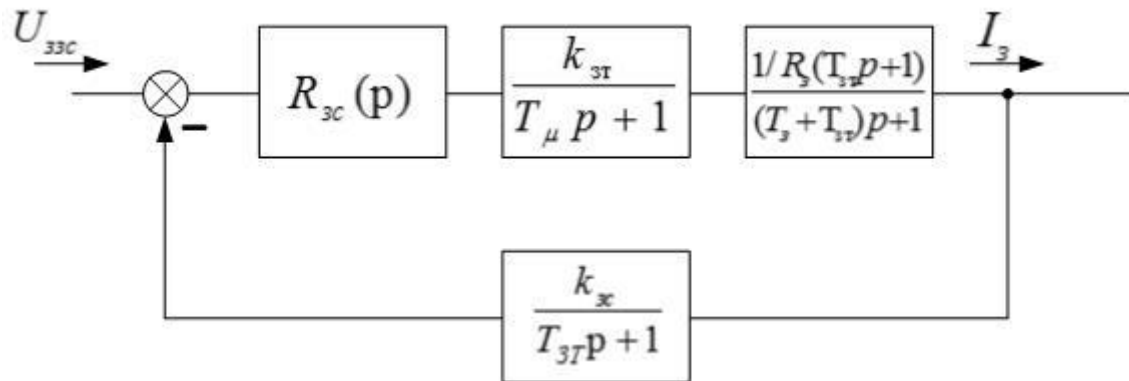


Рисунок 3.3 – Контур струму кола збудження

Аналіз структурної схеми показує, що об'єкт керування має три аперіодичні ланки та одну диференційну, до того ж  $T_B + T_{BT} \gg T_\mu$  при такому об'єкті використовуємо модульний критерій оптимізації.

Передатна функція регулятора струму збудження будемо шукати наступним чином:

$$R_{зс}(p) = \frac{R_з * (T_з + T_{зТ})}{2 * T_\mu * k_{зс} * k_{зТ}} + \frac{R_з}{2 * T_\mu * k_{зс} * k_{зТ} * p}$$

де  $k_{зТ}$  – статичний коефіцієнт підсилення ТП за напругою.

### Результат синтезу регулятора ЕРС обмотки збудження

Контур регулювання приймає наступний вигляд

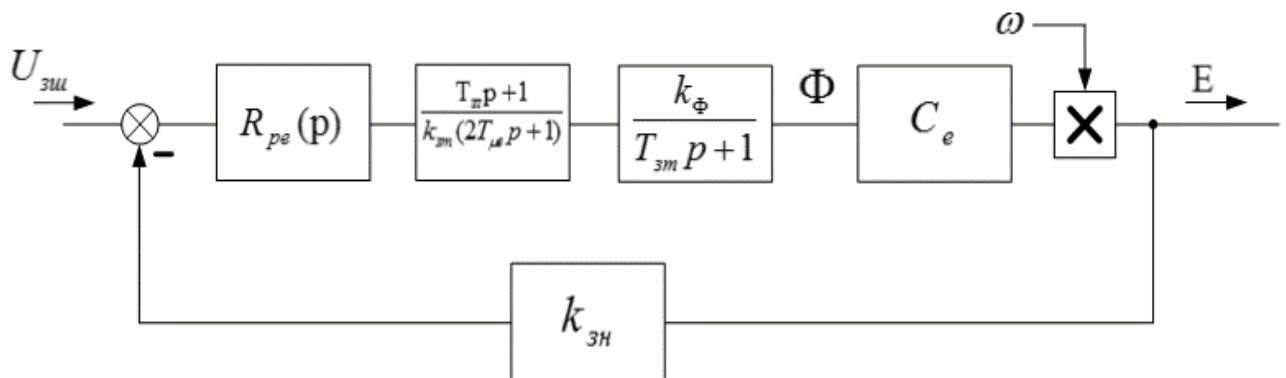


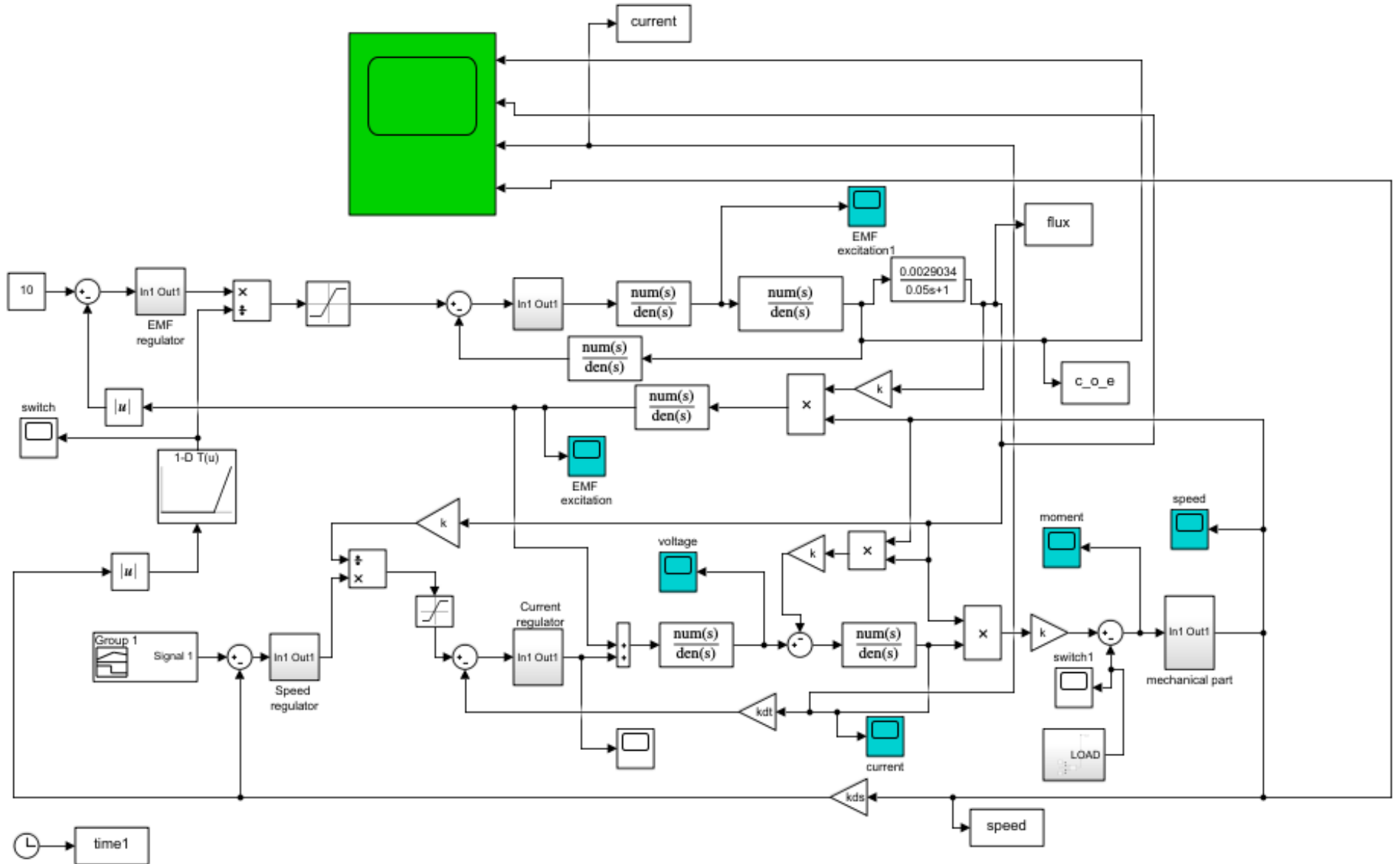
Рисунок 3.4 – Контур регулювання ЕРС

Аналіз структурної схеми на Рисунку 3.4 показує, що об'єкт керування має дві аперіодичні ланки і одну диференційну, при такому об'єкті використовуємо модульний критерій оптимізації.

Передатну функцію регулятора ЕРС обмотки збудження відшукаємо наступним чином

$$R_{зе}(p) = \frac{1}{2 * T_{μз} p (T_{μз} p + 1)} * \frac{2 * T_{μз} p + 1}{\frac{1}{k_{зс}} * (T_e p + 1)} * \frac{T_e p + 1}{k_\phi} * \frac{1}{C_e * w} * \frac{1}{k_N}$$


# Моделювання перехідних процесів електроприводу підвісної центрифуги



Зм.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.3

Зм.

Арк.

№ документа.

Підпис

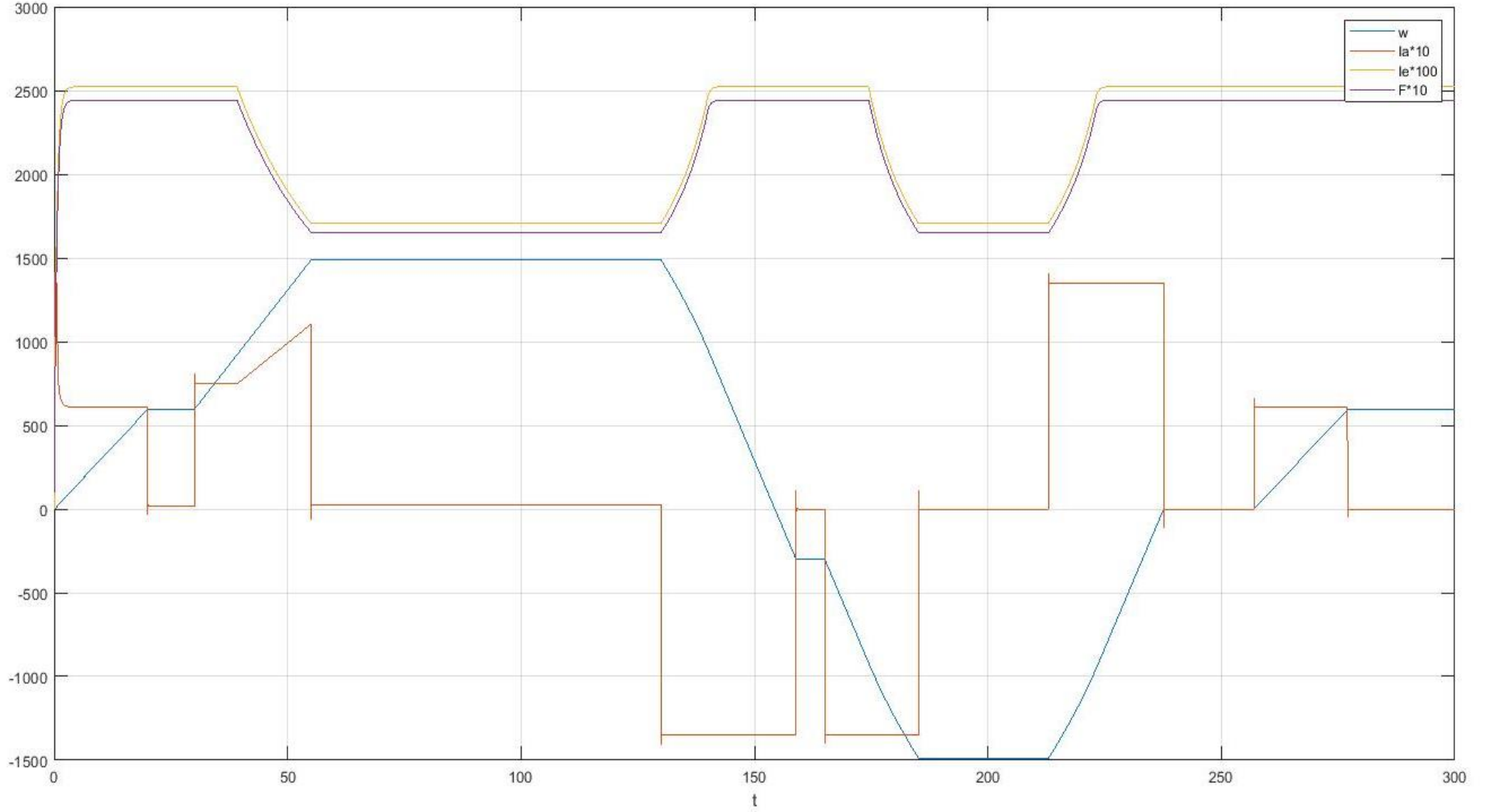
Дата

ЕП.ПД.20.06.3

26

Арк.

### Графік перехідних процесів електроприводу підвісної центрифуги



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ


						<i>ЕП.ПД.20.06.04</i>			
		<i>Зм..</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
		<i>Розроб.</i>	<i>Охотник О.О</i>				<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>		
		<i>Перевірив</i>	<i>Боровик Р.О.</i>						
		<i>Реценз.</i>							
		<i>Н. Контр.</i>	<i>Казачковський М.М.</i>						
		<i>Затв.</i>							
							<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
							<i>Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"</i>		

#### **4.1. Аналіз безпеки під час експлуатації електромеханічного устаткування підвісної центрифуги, захисні засоби**

Шкідливі фактори на виробництві – це небезпечні фактори робочого процесу чи умов навколишнього середовища, які можуть впливати негативно на здоров'я й працездатність людини. Тривалий вплив на людину шкідливого виробничого фактору призводить на захворювання.

На промислових підприємствах, де використовуються підвісні центрифуги періодичної дії, існує низка шкідливих для працівника факторів:

- Вібрація під час роботи центрифуги
- Шкідливий шум
- Недостатня освітленість
- Електробезпека

Небезпечним шкідливим фактором є такий фактор, котрий призводить до травм, миттєвому погіршенню здоров'я персоналу під час впливу.

Об'єкт, який розглядається в даній роботі, має також декілька особливих небезпечних факторів, а саме:

- У складі електромеханічної системи є частини й механізми, які обертаються, частини електричного двигуна;
- Можливість ураження електричним струмом;
- Пожежа.

Згідно з ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), на підприємствах, де використовують підвісні центрифуги, застосовуються мережі з ізольованим нейтральним проводом. Такі засоби сприяють деяким особливостям під час аналізу безпеки ураження електричним струмом.

#### **4.2. Інженерно-технічні заходи з охорони праці на підприємстві**

Для захисту персоналу, що обслуговує підвісну центрифугу, від ураження електричним струмом використовують деякі засоби захисту. До таких заходів можна віднести будь-які засоби особистого захисту: гумові рукавиці, боти й килимки, які використовують під час увімкнення(відключення) роз'єднувачів й високовольтних пристроїв, а також під час виведення електроприводу підвісної центрифуги у ремонт.

Для безпеки роботи під час ремонту електричних ланцюгів необхідно відмикати пристрій від мережі живлення, удосконалитись у відсутності напруги спеціальним індикатором, виконати заземлення й встановити плакат з написом «Не вмикати! Працюють люди.» для попередження інших працівників підприємства. Усе електроустаткування повинно бути заземлене, огорожене й

ізолюване. Реверсори встановлюються на висоті 2-3 метри, щоб запобігти випадкове торкання до струмопровідних частин обслуговуючим персоналом.

Усі ями, отвори у підлозі, переходи й мостики у приміщенні повинні бути огорожені перилами заввишки не менше 1 метра. Заземленню також підлягають металеві частини електроустаткування, які зазвичай не знаходяться під напругою, але, у разі пошкодження ізоляції, можуть бути під небезпечною напругою: привода електричної апаратури, вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів, каркаси щитів керування й розподільчих щитів, металеві та залізобетонні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки кабелів. Для підключення заземлення на пристрої повинен бути болт. Діаметр болта не менш ніж 10 мм й напис або спеціальна наліпка біля нього «Земля». Усі з'єднання, які об'єднують «Землю», повинні бути виконані зварюванням або скріплені бовтами.

### 4.3. Протипожежне обладнання

До складу протипожежного обладнання обов'язково входять вогнегасники (ОХВП - 10м і ОУ - 2). На нульовій позначці встановлений ящик з протипожежним інвентарем: сокири, багор, пили, ломи, лопати, відра, контейнери з піском. На відмітках 0; +8,40; +18,00; +22,80 є пожежні гідранти, які забезпечуються водою з камери пожежогасіння, розташованої на нульовій позначці. У камері пожежогасіння встановлені три насоси 4К-6 продуктивністю 135 м<sup>3</sup>/год, з напором 98 метрів. Біля гідрантів знаходяться пожежні рукави з брандспойтами.

### 4.4. Організаційно-технічні заходи і безпеку в НС

Організаційними заходами щодо забезпечення безпеки роботи є:

- інструктаж;
- перевірка придбаних знань і навичок;
- видача нарядів і розпоряджень;
- видача дозволів на підготовку робочих місць і допуск;
- допуск;
- нагляд під час роботи;
- переведення на інше робоче місце;
- перерву в роботі та її закінчення.

Технічними заходами щодо забезпечення безпеки робіт є:

- виробництво відключень;
- вивішування попереджувальних плакатів, огороження робочого місця;
- перевірка відсутності напруги, накладення заземлення.

ЕП.ПД.20.06.04

Аркуш

29

## Надзвичайна ситуація на підприємстві

Надзвичайна ситуація - це стан, при якому в результаті виникнення джерела НС на об'єкті, визначеній території або акваторії порушуються нормальні умови життя і діяльності людей, виникає загроза їх життю і здоров'ю, завдається шкода майну.

Під терміном «надзвичайна ситуація» розуміють небезпечне природне явище, аварію або небезпечну техногенну пригоду, широке поширення інфекційної хвороби людей, сільськогосподарських тварин і рослин, а також застосування сучасних засобів ураження, в результаті чого відбувається або може відбутися НС.

На підприємстві можуть статися такі аварії: вихід з ладу машин, механізмів, а також ліній електропередач.

У разі якщо працівник при виконанні поставлених завдань знепритомнів. Це стан, при якому потерпілий не реагує на зовнішні подразники, при цьому дихання, пульс збережено і можна знайти, м'язи розслаблені. При такому стані людини необхідно:

- очистити дихальні шляхи;
- покласти на бік;
- повідомити начальнику бригади про подію;
- викликати швидку допомогу;
- слідувати подальшим інструкціям начальника.

Можливі випадки пошкодження кінцівок при попаданні в обертовий механізм. У даній ситуації необхідно:

- провести аварійне вимкнення чинного механізму;
- оповістити начальника про подію на місці роботи;
- слідувати подальшим вказівкам начальника;
- якщо є можливість, перенести з місця події потерпілого і надати першу медичну допомогу (обробити рану, накласти шину).

Найчастіше на підприємстві може відбуватися поразка працюючого персоналу електричним струмом. Симптоми наступні:

- у потерпілого відбувається судорожне скорочення м'язів,
- конвульсії;
- колір обличчя стає блідим;
- пульс, дихання слабшають, виникає аритмія;
- можливі втрата свідомості, зупинка дихання та серцевої діяльності.



При виникненні такого роду події необхідно:

- не торкатися до потерпілого голими руками;
- відключити джерело струму (рубильник, вимикач, розетка), якщо немає такої можливості, скористатися інструментом, що знаходяться в протипожежному ящику (сокира), і перерубати силові лінії електроживлення;
- повідомити старшому по об'єкту про виниклу ситуацію;
- при свідомому стані потерпілого, зігріти його і дати ліки у вигляді таблетки (реланіума, нозепама, фенозепама та ін.);
- очікувати прибуття медичного персоналу.

#### 4.5 Розрахункове обґрунтування і вибір системи освітлення для приміщення

Робота в приміщеннях, обладнаних промисловими механізмами неможлива без забезпечення в них оптимальних показників освітлення робочих поверхонь. Для дотримання комфортних умов праці необхідно розрахувати та обрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

Тип світильників, встановлюваних у виробничих приміщеннях, обирається згідно з технологічними умовами та з урахуванням вимог до розподілу яскравості, за умовами середовища, за економічними показниками, а також з урахуванням естетичних вимог.

Для нашого випадку обрано світильники з люмінесцентними лампами. Обираємо частково пиленепроникненний світильник ПВЛМ-Д 2x80 Вт з розмірами (1625x270x215 мм).

Згідно із ДБН-В.2.5-28-2006, визначений розряд зорової роботи IV(a) з параметром  $\Gamma = 0,8$ . Коефіцієнт запасу обрано 1.5

Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу дорівнює 1.4, адже крива люмінесцентного світильника має форму косинуса (Д).

Розрахункова висота підвісу:

$$h = H - h_{\text{св}} - h_{\text{рп}} = 2.9$$

Розраховуємо кількість світильників з люмінесцентними лампами:

відстань між рядами світильників

$$L_p = \lambda * h = 4.06$$

кількість рядів світильників

$$N_p = \frac{A}{L_p} = 1$$

кількість світильників у ряді

$$N_{\text{ср}} = \frac{(10 - l_c)}{l_c} = 5$$

ЕП.ПД.20.06.04

Аркуш

31

Отже, згідно з розрахунками, загальна кількість світильників  $N = N_p, N_{cp} = 5$

Відстань між крайніми світильниками і стіною  $l = 1.218$

Визначення коефіцієнта використання ( $\eta$ ):

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = 1$$

$$\rho_n = 0.7$$

$$\rho_c = 0.5$$

$$\rho_p = 0.3$$

$$\eta = 0.5$$

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання

$$E = 150 \text{ лк};$$

Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{ESkz}{N\eta} = 4950 \text{ (лм)},$$

Де  $E$  - нормована мінімальна освітленість, лк (відповідно до розряду зорової роботи),  $k$  - коефіцієнт запасу,  $S$  - освітлювана площа,  $m^2$ ;  $z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості,  $N$  - число світильників у приміщенні;  $\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

Обрана лампа ЛТБ80-4 з світловим потоком 5220 лм.


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.06.04

Аркуш

32

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА


					<i>ЕП.ПД.20.06.05</i>			
<i>Зм..</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Охотник О.О</i>						
<i>Перевірів</i>		<i>Боровик Р.О.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Казачковський М.М.</i>						
<i>Затв.</i>								
						<small>Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"</small>		

## 5.1. Техніко-економічне обґрунтування

В будь-якій промисловості можливе використання центрифуг: від гірничодобувної до хімічної промисловості. З часом технології виробництва вдосконалюються, саме тому для збільшення ефективності (а іноді навіть для того, щоб зберегти рівень ефективності внаслідок зносу механізмів) потрібна модернізація встановленого на виробництві обладнання.

Метою даного розділу є обґрунтування економічної доцільності впровадження нового обладнання на об'єкті проектування, із застосуванням якого зменшуються витрати на енергоспоживання. Об'єктом проектування є електропривод ротора підвісної центрифуги.

При розрахунку ефективності впровадження зазначеного електроприводу розглядаємо такі питання, адже при їх вирішенні покращуються загальні економічні показники під час використання центрифуги у виробництві:

- Підвищення надійності роботи обладнання і систем.
- Поліпшення якості виробленої продукції та послуг, які надаються.
- Автоматизація виробництва.
- Економія ресурсів і енергії.
- Висновки про економічну доцільність проектування.

Завдяки тому, що підвищується надійність системи зменшуються ресурсні та грошові витрати на обладнання.

Через збільшену надійність роботи обладнання й застосування новітніх розробок у системі керування зменшується кількість браку, а, отже, зменшується кількість ресурсів, які потрібно витратити.

Усі заходи, що розглядаються в даному розділі, сприяють підвищенню виробництва й зменшенню витрат під час виробництва.

## 5.2. Розрахунок капітальних витрат

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

Розрахунки спеціальної частини даного проекту показують, що можливе застосування ТП-Д (тиристорний перетворювач - двигун), що дозволяє домогтися менших показників по витраті електроенергії за цикл роботи, а також з урахуванням втрат на охолодження, зменшити річний витрати і підвищити відсоток ККД.

Величина проектних капіталовкладень визначається за формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \left( \sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{\text{ТЗС}} + Z_{\text{М}} + Z_{\text{Н}} + Z_{\text{ПР}}$$

Де  $K_{\text{об}} (\sum_{i=1}^k C_i)$  - сумарна вартість комплектуючих виробів,  $Z_{\text{ТЗС}}$  - транспортно-заготівельні і складські витрати, наведені в таблиці,  $Z_{\text{М}}$  - витрати

на монтажні роботи,  $Z_n$  - витрати на налагоджувальні роботи,  $Z_{пр}$  - інші витрати.

Всі табличні дані наведені станом на 25 квітня 2020 року (<https://yani-motors.com.ua/g21226181-tiristornye-preobrazovateli-ell?csbss3=217714520&csbss3=217713639&>)

Таблиця 4.1 - Кошторис по комплектуючим електроприводу

№	Найменування й марка устаткування	Кількість	Одиниці вимірювання	Вартість, грн.
1.	Тиристорний преобразователь серии ELL 14080/250	1	шт.	22 551,00
2.	Двигун постійного струму 2ПН225ЛУХЛ4	1	шт.	32 970,81
3.	Трансформатор ТСЗИ 40,0 кВт	1	шт.	38000,00
	Разом	3	шт.	93521,81

За даними компанії перевізника ТОВ «Транс-вантаж», доставка обладнання розміром близько 5 м<sup>3</sup> на відстань понад 100 км (з урахуванням руху по місту) становить 1500 грн. Вартість вантажно-розвантажувальних робіт входять в загальну вартість послуги з перевезення.

Витрати на монтажні і налагоджувальні роботи визначаються за формулою

$$Z_{MH} = \sum (C_i * a_i * t_i) * K_d * K_{CM} * K_{пр}$$

де  $C_i$  - чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чел.;  $a_i$  - годинна тарифна ставка і-го розряду, грн;  $t_i$  - час для виконання роботи, час;  $K_d$  - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;  $K_{CM}$  - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;  $K_{пр}$  - коефіцієнт, що враховує інші витрати.

Таблиця 4.2 – Витрати на монтаж

Показники	Одиниці вимірювання	Величина
Чисельність робітників	люд.	2
Тарифна ставка (ел.слюсар 5-го розряду)	грн/год	42,41
Час для виконання роботи	год.	16
Коефіцієнт, що враховує розмір доплат	-	1,1
Коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи	-	1,22
Коефіцієнт, що враховує інші витрати	-	1,05

ЕП.ПД.20.06.05

Аркуш

35

Разом	грн.	2 155,28
-------	------	----------

Демонтаж старого устаткування (релейно-контактної апаратури) не передбачає, тому що ця апаратура необхідна в виробничому процесі в якості резервної.

Таким чином, витрати на монтаж і налагодження

$$З_{\text{мн}} = 3\,212,11 \text{ грн}$$

До інших витрат віднесемо витрати на проектно-конструкторські роботи, за даними налагоджувального управління, вартість проекту силових підключень перетворювача складає 2200 грн з ПДВ.

Отже, загальні капітальні витрати становлять

$$K_{\text{пр}} = 101\,933,91 \text{ грн}$$

Таблиця 4.3 - Витрати на наладку

Показники	Одиниці вимірювання	Величина
Чисельність робітників (інженер-налагоджувальник)	люд.	1
Оклад (інженер- налагоджувальник )	грн.	7 500
Час для виконання роботи	год.	16
Коефіцієнт, який враховує розмір доплат	-	1,1
Коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні заходи	-	1,22
Коефіцієнт, який враховує інші витрати	-	1,05
Разом	грн.	1 056,83

### 5.3.Розрахунок експлуатаційних витрат

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

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- Амортизаційні відрахування ( $C_a$ )
- Заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ )
- Відрахування на соціальні заходи ( $C_c$ )
- Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання і мереж ( $C_m$ )
- Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_э$$

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

Таблиця 4.4- Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування показників	Капітальні витрати	Норма амортизації, %	Сума, грн.
Проектний варіант	101 933,91	20%	20 386,80
Базовий варіант	40 496,82	20%	8 099,36

Витрати на техобслуговування обладнання і систем амортизації включають в себе заробітну плату ремонтним робочим, витрати на матеріали і запасні частини. У нашому випадку ця стаття витрат істотно змінюється в результаті впровадження проектного рішення, і тому є основним джерелом економічного ефекту.

Витрати на поточний ремонт апаратури захисту і управління ( Таблиця 4.5. ):

$$З_{т.р.} = R * T * m * R_{\Sigma} + \frac{S * \Pi}{T} * T_{\phi}$$

$Z_{т.р.} = R * T * m * R_{\Sigma} + \frac{S * \Pi}{T} * T_{\phi}$  де  $R$  - годинна ставка робітників;  $t$  - трудомісткість одного ремонту (приймаємо 7 ч / од);  $m$  - число ремонтів за рік;  $R_{\Sigma}$  - сумарна категорія складності;  $S$  - вартість однотипних замінних елементів;  $\Pi$  - кількість однотипних замінних елементів;  $T$  - середній термін служби деталей одного типу;  $T_{\phi}$  - число годин роботи деталей на рік.

ЕП.ПД.20.06.05

Аркуш

37

Таблиця 4.5 - Річні витрати на технологічне обслуговування

Найменування	Одиниці вимірювання	Базовий	Проектний	Зауваження
Число елементів механізму, які підлягають ремонту	шт	4	1	Електричний двигун, тиристорний перетворювач
Погодинна ставка робочих, які виконують ремонт	грн/год	42,21	42,41	Електрослюсар 5-го розряду
Кількість ремонтів за рік	-	3	1	-
Тривалість ремонту	год	7	7	-
Кількість однотипних елементів, що підлягають заміні	шт	2	1	-
Вартість однотипних елементів, що підлягають заміні	грн	25 456	12 306	Підшипники
Середній строк служби апаратури	год	6 000	6 000	-
Число годин роботи апаратури за рік	год	5 400	5 400	-
Разом		54 684,9	14 044,1	

#### 5.4.Річні витрати на електроенергію

При впровадженні проектного варіанту кількість споживаної агрегатом електроенергії змінюється незначно. Однак ця величина є важливим економічним показником, тому зробимо розрахунок річних витрат на електроенергію.

Вартість споживаної електроенергії визначимо виходячи з часу роботи агрегату і його встановленої потужності:

$$C_{\text{э}} = W_{\Gamma} * Ц_{\text{э}}$$

де  $W_{\Gamma}$  - кількість споживаної енергії;  $Ц_{\text{э}}$  - поточний тариф на електроенергію, грн / кВт \* год.

Поточний тариф на електроенергію на квітень 2020 року згідно з ПАТ «Дніпрообленерго» становить 1,63 грн / кВт \* год

$$W_{\Gamma} = n_{\text{р.д.}} * n_{\text{час}} * W_{\text{цн}} * n_{\text{н.час}}$$



де  $n_{р.д.} = 300$  - число робочих днів у році;  $n_{час} = 24$  - число робочих годин на добу;  $n_{н.час} = \frac{3600}{T_{ц}}$  - кількість підйомів за годину, де  $T_{ц}$  - час циклу.  
Витрата енергії:

$$W_{цн} = \frac{1}{3600} * \frac{1}{\rho} * (P_{eq} * t_{work}) = 10,18$$

$W_{цн} = \frac{1}{3600} * \frac{1}{\rho} * (P_{eq} * t_{work}) = 10,18$  де  $P_{eq}$  - еквівалентна потужність ;  $t_{work}$  - час роботи. Таким чином:

$$C_3 = 569\,480,03 \text{ грн}$$

Таблиця 4.6 - Річні експлуатаційні витрати

№	Найменування пунктів витрат	Сума витрат, грн.		Економія	
		Базовий	Проектний	грн.	% (по відношенню до базового)
1	Амортизаційні відрахування	8 099,36	14 957,60	-6 858,24	-84,68
2	Витрати на технічне обслуговування	54 684,90	14 044,10	40 640,80	74,32
3	Вартість енергії, що використовується	13 589,05	12 079,16	1 509,89	11,11
	Разом	76 373,32	41 080,86	35 292,45	46,21

Розрахунок економічної ефективності впровадження проектного рішення:

Повна річна економія від впровадження проекту визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r \pm \Delta C$$

де  $\Delta C = C_{баз} - C_{пр}$  - економія (перевитрата) на експлуатаційних витратах

$$\mathcal{E} = 30313,35 \text{ грн}$$

### 5.5. Визначення економічних показників

Одним з показників економічної ефективності є коефіцієнт ефективності капітальних витрат  $E_p$ , який показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E / K$$

де  $E$  - загальна річна економія від впровадження проекту будівництва об'єкта, грн;  $K$  - капітальні витрати, що викликали економію, грн;

$$E_p = 0,41$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження проекту:

$$T_p = K / E$$

$$T_p = 2,47$$

Для остаточної оцінки необхідно порівняти значення  $E_p$  з нормативним значенням  $E_n$ . Проект визнається економічно доцільним, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності перевищує величину банківської кредитної ставки:

$$E_p \geq E_n$$

$$E_p \geq \frac{N_{cr}}{N_{inf}} = \frac{19 + 1}{100} = 0.2$$

де  $N_{cr}$  - банківська кредитна ставка, %;  $N_{inf}$  - річний рівень інфляції, %. Таким чином маємо:

$$0,41 \geq 0,2$$

#### Висновки

Розрахунки, виконані в даному розділі, показали, що впровадження нового електроприводу і системи автоматичного управління знизять витрати на електроенергію.

Коефіцієнт ефективності впровадження проектного рішення складає 0,41, при якому термін окупності складе 2,47 року.


Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

*ЕП.ПД.20.06.05*

Аркуш

40

## Висновок

В даному проекті була розглянута можливість автоматизації ротора підвісної центрифуги. Розрахували потужність приводного двигуна ротора, зробили вибір двигуна постійного струму та силового обладнання. Змодельовані перехідні процеси в режимах пуску і гальмування електроприводу за робочий цикл центрифуги. Також, отримано математичний опис силової частини електроприводу як об'єкта керування.

На основі виконаних аналізів і економічних розрахунків обрана більш ефективна система, де для живлення двигуна постійного струму ротора центрифуги використовується установка з керованими перетворювачами. Дана система має високий к.к.д., внаслідок одноразового перетворення енергії, менші розміри, масу, дозволяє автоматично регулювати швидкість обертання електродвигуна ротора з мінімальної швидкості до максимальної.

Зроблено економічне обґрунтування доцільності впровадження даної системи.

					<i>ЕП.ПД.20.06.В</i>				
	<i>Зм..</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
	<i>Розроб.</i>	<i>Охотник О.О</i>							
	<i>Перевірив</i>	<i>Боровик Р.О.</i>							
	<i>Реценз.</i>								
	<i>Н. Контр.</i>	<i>Казачковський М.М.</i>							
	<i>Затв.</i>						Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"		

Список використаної літератури

1. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине “Автоматизированный электропривод промышленных установок в машиностроении и металлургии”/ Сост.: Н.Н.Казачковский. – Днепропетровск: ДГИ, 1992. – 71 с.
2. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т./ Под общ. ред. И.П.Копылова и Б.К.Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. т.1 – 655 с.; т.2 – 495 с.
3. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. Посібник. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2003. – 26 с.
4. Методичні рекомендації до виконання розділу “Техніко-економічне обґрунтування” дипломного проекту бакалавра напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка” /Укл.: Тимошенко Л.В. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – 12с.
5. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: В 5 кн.: Практ. пособие / Под. ред. В.А.Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе/ Н.Ф.Ильинский, Ю.В.Рожанковский, А.О.Горнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.
6. Технологическое оборудование ГПС / О.И.Аверьянов, Ф.П.Васильев, Н.Н.Хвостов и др. – Л.: Политехника, 1991. – 320 с..
7. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. Изд. – М.: Машиностроение, 1967. – 523 с.
8. Лукьяненко В.М., Таранец А.В. Центрифуги: Справ. Изд. – М.: Химия, 1988.
9. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 1. Под общ. ред.И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – Москва, издательство Энергоатомиздат, 1988. – 456 с: ил.
- 10.Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2. Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – Москва, издательство Энергоатомиздат, 1989. – 688 с: ил.
- 11.Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
- 12.Ключев В. И. Теория электропривода. – М. Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
- 13.Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с
- 14.Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт/ Упорядн.: В.О.Салов, О.М.Кузьменко, В.І.Прокопенко. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 52 с.

ЕП.ПД.20.06.Д

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Охотник О.О		
Перевірів		Боровик Р.О.		
Реценз.				
Н. Контр.		Казачковський М.М.		
Затв.				

Автоматизований електропривод ротора підвісної центрифуги

Літ.	Арк.	Аркушів
Національний Технічний Університет "Дніпровська Політехніка"		