

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛІШКОВ

“__” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електроспоживання ковальсько-
пресового виробництва заводу
сільськогосподарського машинобудування»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи ЕЕ-21-ЗСК,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»,
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Мирослав ГРУЗІН
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
професор, канд. техн. наук
_____Петро ПЛІШКОВ
«__» _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Грузіна Мирослава Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка системи електроспоживання ковальсько-пресового виробництва заводу сільськогосподарського машинобудування**
Development of a power supply system for the forging and pressing production of an agricultural machinery plant

2. Керівник роботи (проекту) Плєшков Петро Григорович, к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 3.06.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ; Розрахунок електричних навантажень; Побудова картограми навантажень та вибір місця розташування центрального розподільчого пристрою; Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства; Компенсація реактивної потужності; Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій виробництва; Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання; Частотне регулювання електроприводу в ковальсько-пресовому устаткуванні; Висновки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н.Ю. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	1.05.24	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	5.05.24	
3	<i>Побудова картограми навантажень та вибір місця розташування центрального розподільчого пристрою</i>	9.05.24	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	12.05.24	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	15. 05.24	
6	<i>Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій виробництва</i>	19. 05.24	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання</i>	22. 05.24	
8	<i>Частотне регулювання електроприводу в ковальсько-пресовому устаткуванні</i>	25. 05.24	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	29. 05.24	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	31. 05.24	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2024р.

Підпис керівника

Петро ПЛЄШКОВ

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2024 р.

Підпис здобувача

Мирослав ГРУЗІН

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 86 с.; 14 рис.; 20 табл.; 10 джерел, презентація
8 аркушів

Грузін М.О. Розробка системи електроспоживання ковальсько-пресового виробництва заводу сільськогосподарського машинобудування – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

В рамках бакалаврської роботи було проведено розробку електропостачання ковальсько-пресового виробництва заводу сільськогосподарського машинобудування. В процесі роботи були проведені основні техніко-економічні розрахунки, які включають розрахунок електричних навантажень, режимів реактивної потужності та струмів короткого замикання. Також були вибрані оптимальні схеми внутрішнього електропостачання, трансформаторні підстанції, конденсаторні установки, кабельні лінії та високовольтне обладнання.

У спеціальному розділі роботи досліджено частотне регулювання електроприводу в ковальсько-пресовому устаткуванні, яке може застосовуватися для контролю швидкості обертання електродвигуна, який приводить в рух прес або інше устаткування для ковки. Ця технологія дає змогу ефективно керувати швидкістю та потужністю приводу залежно від потреби, що забезпечує оптимальний режим роботи преса.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, електропривод, ковальський прес, частотне регулювання.

ABSTRACT

Qualification work: 86 p.; Fig. 14; 20 tables; 10 sources, presentation of 8 sheets

Gruzin M.O. Development of the power consumption system of the forging and press production of the agricultural machinery plant - Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

As part of the bachelor's work, the development of the power supply of the forging and press production of the agricultural machinery plant was carried out. In the course of work, the main technical and economic calculations were carried out, which include the calculation of electrical loads, reactive power modes and short-circuit currents. Optimal internal power supply schemes, transformer substations, capacitor units, cable lines and high-voltage equipment were also selected.

In a special section of the work, the frequency control of the electric drive in forging and press equipment is investigated, which can be used to control the speed of rotation of the electric motor that drives the press or other forging equipment. This technology makes it possible to effectively control the speed and power of the drive depending on the need, which ensures optimal operation of the press.

Key words: electrical loads, transformer substation, electric drive, forge press, frequency regulation.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1	Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.....	10
1.2	Розрахунок освітлювального навантаження.....	12
1.3	Розрахунок електричних навантажень в мережі з напругою вище 1000 В.....	13
1.4	Побудова графіків електричних навантажень ковальсько-пресового відділення.....	14
2	ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	21
3	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	24
3.1	Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання.....	24
3.2	Вибір схеми та напруги внутрішнього електропостачання.....	24
4	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	33
4.1	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у високовольтних та низьковольтних мережах.....	33
4.2	Вибір кількості, потужності та місця розташування конденсаторних установок реактивної потужності.....	37
5	ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ВИРОБНИЦТВА.....	39

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ БАКАЛАВРСЬКИМ РІВНЕМ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Грузін М.О.			Розробка системи електроспоживання ковальсько-пресового виробництва заводу сільськогосподарського машинобудування	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Плешков П.Г.						86
Н. контр.		Гарасьова Н.Ю.				ЦНТУ, гр.ЕЕ-21-3СК		
Затвердив		Плешков П.Г.						

5.1	Вибір кількості і потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій.....	39
5.2	Вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій..	40
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	42
6.1	Розрахунок струмів короткого замикання.....	42
6.2	Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі виробництва.....	47
6.3	Вибір електричних апаратів високої напруги.....	48
7	ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОМУ УСТАТКУВАННІ.....	52
7.1	Кривошипно-шатунний механізм ковальсько-пресового обладнання як частина електромеханічної системи.....	53
7.2	Характеристика електроприводу ковальського пресу.....	59
7.3	Електромеханічні процеси в електроприводі ковальського пресу	62
7.4	Система частотного керування швидкістю електропривода ковальського пресу.....	64
7.5	Дослідження законів частотного керування електроприводом ковальського пресу на прикладі математичної моделі.....	67
7.6	Рекомендації щодо застосування закону частотного керування.....	72
	ВИСНОВКИ.....	74
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
	Додаток А.....	78

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні системи електропостачання на промислових підприємствах мають відповідати високому рівню технологічного розвитку, обсягу споживання електроенергії, забезпечувати якість електрики та відповідати вимогам споживачів, при цьому бути максимально економічно ефективними. Вже на етапі проектування об'єкта в електроспоживальні системи необхідно закладати технічні рішення, які забезпечать виконання цих вимог. Завдання ускладнюється тим, що з часом умови можуть змінюватися як щодо величини електричних навантажень і їх територіального розташування, так і з боку енергосистеми та сторонніх споживачів. Деякі початкові дані можуть бути приблизними або взагалі відсутні. Тому розроблена система електроспоживання повинна бути універсальною, легко адаптуватися до зміни вихідних умов і мати можливість подальшого розвитку.

Проблеми визначення оптимальних показників надійності електропостачання та енергоефективності є одними з ключових.

Енергоощадність у системах електроспоживання в основному досягається шляхом зменшення втрат електроенергії в компонентах електричних мереж під час передачі, перетворення та споживання. Це також включає застосування сучасних матеріалів і конструкцій для окремих елементів та споруд. У процесі експлуатації електропостачальних систем важливу роль у підвищенні економічної ефективності відіграє компенсація реактивної потужності, використання вищих номінальних напруг та підтримання їх підвищеного рівня в межах допустимих значень, зниження та зміщення пікових навантажень. Крім того, застосування сучасних екологічно безпечних матеріалів і обладнання, що мінімально впливають на навколишнє середовище, є важливим аспектом.

Проектування електропостачання для ковальсько-пресового виробництва є складним і відповідальним завданням. Основними

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завданнями при проектуванні системи електроспоживання для є визначення електричних навантажень, які створюються ковальськими та пресовими машинами, а також допоміжним обладнанням, розробка схеми підключення обладнання до головної розподільної шафи, розробка схем розподілу електроенергії між різними ділянками виробництва, встановлення компенсуючих пристроїв, вибір трансформаторів, вибір кабелів і проводів, забезпечення якості електроенергії, здійснення інтеграції систем моніторингу для контролю параметрів електроспоживання в реальному часі, впровадження сучасних енергоефективних технологій та обладнання для зменшення витрат енергії.

Проектування електропостачання для ковальсько-пресового виробництва вимагає комплексного підходу, що враховує всі ці аспекти для забезпечення надійної, ефективної та безпечної роботи системи.

Метою цієї роботи є вирішення питань проектування електротехнічної системи електроспоживання для ковальсько-пресового виробництва.

Ковальсько-пресове виробництво є складним технологічним процесом, який включає ряд операцій з обробки металу під впливом механічних зусиль. Основна мета цього процесу — отримання виробів з заданою формою, розмірами та властивостями. Ось ключові етапи та характеристики технологічного процесу ковальсько-пресового виробництва:

- Підготовка матеріалів
- Нагрівання заготовок
- Кування
- Пресування
- Охолодження та термообробка
- Обробка поверхні
- Контроль якості

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зберігання та логістика
- Енергоспоживання та екологічні аспекти

Ковальсько-пресове виробництво є важливою галуззю промисловості, що дозволяє створювати високоякісні металеві вироби для різних галузей, таких як машинобудування, будівництво, авіація та інші.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Ковальсько-пресове виробництво (КПВ) є частиною заводу сільськогосподарського машинобудування. Його виробничі площі займають 28,2 тис. м², де розташовані основні цехи: заготівельний, гарячий, шихтне відділення та відділення ЕМПЧ. Допоміжні підрозділи включають ремонтно-механічний цех, склади та адміністративно-побутові будівлі.

Адміністративна будівля та відділення електромашинних перетворювачів частоти знаходяться у двоповерхових будівлях, тоді як інші підрозділи розміщені в одноповерхових. Основними навантаженнями в підрозділах є металорізальні верстати, преси, молоти, електромашинні перетворювачі частоти, а також загальновиробничі механізми, такі як вентилятори, насоси та крани.

Технологічний процес ковальсько-пресового виробництва включає кілька етапів. Спочатку метал зі складу надходить у заготівельне відділення для виготовлення заготовок деталей вузлів культиваторів. Потім ці заготовки направляються до гарячого відділення, де їх нагрівають у печах або за допомогою струмів високої частоти. Далі за допомогою ковальсько-пресового обладнання заготовки набувають необхідної форми шляхом раціонального перерозподілу металу по об'єму деталі, що покращує їх міцнісні характеристики. У шихтному відділенні видаляються залишки металу після гарячої обробки. В ремонтно-механічному цеху здійснюється ремонт обладнання ковальсько-пресового виробництва та остаточна обробка деталей.

Ковальсько-пресове виробництво (КПВ) відзначається високою питомою густиною навантаження і наявністю великої кількості допоміжного обладнання, такого як вентиляційні системи і насосні установки. Виробництво працює у двозмінному режимі. Згідно з [3], електроприймачі КПВ за надійністю електропостачання класифікуються так: 95% відносяться до II категорії, і 5% — до III категорії.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Електропостачання ковальсько-пресового виробництва може забезпечуватися за допомогою головної підстанції підприємства машинобудівної галузі через кабельні лінії напругою 10 кВ на відстані 0,25 км.

1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В виконуємо згідно методики, викладеній в [3].

Метод впорядкованих діаграм — це спосіб розрахунку електричних навантажень, який базується на використанні статистичних даних щодо використання електричних приладів в певному приміщенні або системі. Основна ідея полягає в тому, щоб ранжувати прилади за їх очікуваною тривалістю роботи та використовувати ці дані для розрахунку загального навантаження.

Формула для розрахунку електричного навантаження за методом впорядкованих діаграм може бути наступною:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T_{\text{повн}}}$$

де:

$P_{\text{заг}}$ - загальна потужність навантаження;

$P_{\text{макс}}$ - максимальна потужність споживача;

T_i - час роботи -го споживача протягом деякого періоду (у годинах);

$T_{\text{повн}}$ - загальний час періоду (у годинах);

n - кількість споживачів.

або

$$P_p = P_{\text{зм}} \cdot k_{\text{max}},$$

де $P_{\text{см}}$ – середьозмінне активне навантаження групи електроприймачів чи вузла за найбільш завантажену зміну;

k_{max} – коефіцієнт максимуму:

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів обчислюється за виразом [3]:

$$P_p = P_{зм} \cdot k_{\max},$$

де $P_{зм}$ – значення середньозмінного активного навантаження групи електроприймачів за найбільш завантажену зміну;

$k_{\max}$ – значення коефіцієнту максимуму навантаження.

k_v – значення коефіцієнту використання:

$$k_v = \frac{\sum_{i=1}^n P_{с.зм}}{\sum_{i=1}^n P_{ном}},$$

$P_{с.зм}$, $P_{ном}$ – значення середньозмінного навантаження та встановлена потужність електроприймачів однаковим режимом роботи;

n – число груп електроприймачів із різними режимами роботи

Ефективне число приймачів у групі навантаження $n_{\text{еф}}$ обчислюється відповідно до значення k_v і відповідно відношення [3].

Якщо $m \geq 3$ та $k_v > 0,2$ величина $n_{\text{еф}}$ визначається за формулою.

Якщо значення $n_{\text{еф}}$ виявляється більшим фактичного числа n , то $n_{\text{еф}} = n$.

Розрахункове реактивне навантаження групи приймачів чи вузла навантаження обчислюється за виразом:

якщо $n_{\text{еф}} \leq 10$,

то $Q_p = 1,1 \cdot Q_{зм}$

якщо $n_{\text{еф}} > 10$: $Q_p = Q_{зм}$

де $Q_{зм}$ – середнє значення реактивного навантаження за найбільш завантажену зміну.

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Розрахунковий максимум повного навантаження становить:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки силового навантаження по цехам в мережі до 1000 В наведені в таблиці А1 Додатку А.

1.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювального навантаження на підприємстві включає в себе Наступні аспекти:

1. Визначення всіх приміщень на підприємстві, які потребують освітлення. Це можуть бути виробничі цехи, складські приміщення, коридори, приймальні, тощо.

2. Вимір площі кожного приміщення, що буде освітлюватися. Це допоможе знати, скільки освітлення потрібно для кожного з них.

3. Визначення необхідного рівня освітленості для кожного типу приміщення на підприємстві. Це може бути регульовальною вимогою або ж рекомендаціями стандартів безпеки і здоров'я.

4. Для кожного приміщення визначаються його функціональні потреби. Наприклад, виробничі цехи можуть вимагати інтенсивніше освітлення порівняно з офісними приміщеннями.

5. Аналіз робочого середовища: Враховуються особливості робочого середовища, такі як наявність природного світла, потреби у зонуванні освітлення тощо.

6. Вибір освітлювальних приладів

Розрахунок освітлювального навантаження для підприємства вимагає комплексного підходу та урахування різноманітних факторів, що впливають на робоче середовище та енергоефективність.

Розрахунок освітлювального навантаження виконується відповідно рекомендаціям [3] за питомою потужністю освітлювального навантаження на одиницю корисної площі ковальсько-пресового відділення. Результати приведені в табл. А2.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Розрахунок електричних навантажень в мережі з напругою вище 1000 В

Під час розрахунку навантажень у мережах з напругою понад 1000 В розрахунковими вузлами є шини 10 кВ. Тому перед початком розрахунків необхідно визначити кількість трансформаторних підстанцій (ТП), потужність їх трансформаторів та їх розташування на території підприємства.

Для цього використовують картограму навантажень, яка допомагає визначити кількість та потужність трансформаторів, а також місця їх розміщення. На основі цієї картограми створюються схеми живлення цехів. У випадках, коли установка власних ТП є недоцільною, живлення може здійснюватися при напрузі 0,4 кВ від ТП сусідніх цехів, за умови, що відхилення напруги на електроприймачах не перевищує встановлених норм.

Порядок розрахунку навантажень у мережі з напругою понад 1000 В включає такі кроки:

1. Підсумовування номінальних потужностей усіх встановлених силових електроприймачів з напругою до 1000 В і вище, які живляться від даного РП (ТП).
2. Визначення середніх навантажень та групового коефіцієнта використання.
3. Обчислення ефективної кількості електроприймачів, коефіцієнта максимуму та розрахункових навантажень.
4. Додавання освітлювальних навантажень.
5. Врахування втрат у силових трансформаторах.

Втрати в трансформаторах можна обчислити за формулами:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2)$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right)$$

де n – число трансформаторів:

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати потужності холостого ходу та кз, кВт;

I_x – струм холостого ходу, %; U_k – напруга короткого замикання, %;

S_n – номінальна потужність тр-ра, кВА;

K_3 – коефіцієнт завантаження тр-ра;

6. Підсумовуються всі середні та розрахункові силові навантаження, освітлювальні навантаження і втрати в трансформаторах для ТП (РП).

Навантаження по всьому підприємству визначається так само, як і для окремих ТП/РП. Якщо до складу вузла навантаження входять синхронні двигуни або конденсаторні батареї для підвищення коефіцієнта потужності, їх реактивне навантаження враховується зі знаком “мінус”.

При розрахунку навантажень у мережі 10 кВ вибір кількості та потужності трансформаторів ТП та розрахунок втрат потужності в них проводяться з урахуванням повної компенсації реактивних навантажень у мережі з напругою до 1000 В. Це пояснюється тим, що на етапі розрахунку навантажень електричної системи точне значення потужності компенсуючих пристроїв, які будуть встановлені в мережі з напругою до 1000 В, невідоме.

У подальшому, під час розрахунку компенсуючих пристроїв, кількість та потужність трансформаторів уточнюється, враховуючи мінімальні витрати на компенсацію реактивної потужності.

Результати розрахунку навантажень вище 1000В представлені в таблиці А3 додатку А.

1.4. Побудова графіків електричних навантажень ковальсько-пресового відділення

Побудова графіків навантаження підприємства дозволяє детально вивчити режим споживання електроенергії, що є основою для ефективного управління електричними мережами.

Побудова графіків навантаження здійснюється наступними етапами:

1. Спочатку збираються дані про споживання електроенергії за певний період. Це можуть бути добові, тижневі, місячні або річні дані,

						Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежно від мети аналізу.

2. Аналізуються пікові та середні навантаження за вибраний період. Визначаються періоди максимального і мінімального споживання електроенергії.

3. На основі зібраних даних створюється таблиця, де фіксуються значення навантаження у вибрані часові інтервали.

4. За даними з таблиці будується графік. На осі абсцис відкладаються часові інтервали (години, дні, місяці), а на осі ординат – значення навантаження (кВт, МВт тощо).

5. Вивчаються характерні особливості графіка – пікові навантаження, провали, тривалість максимальних навантажень. Це дозволяє оцінити роботу електричної системи і виявити можливі проблеми.

6. На основі аналізу графіка можуть вноситись зміни в режим роботи електрообладнання, впроваджуватись заходи для зниження пікових навантажень та оптимізації використання електроенергії.

Максимальні навантаження робочої літньої доби:

$$P_{\text{мах.л}} = k_{\text{п.р}} \cdot P_{\text{мах.з}} = 0.85 \cdot 5988 = 5089,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{мах.л}} = k_{\text{п.р}} \cdot Q_{\text{мах.з}} = 0.85 \cdot 908 = 771,8 \text{ квар};$$

На основі добових графіків активного і реактивного навантаження будуюмо річний графік по тривалості активної і реактивної потужності.

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Дані для побудови графіків навантаження

[illegible]

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

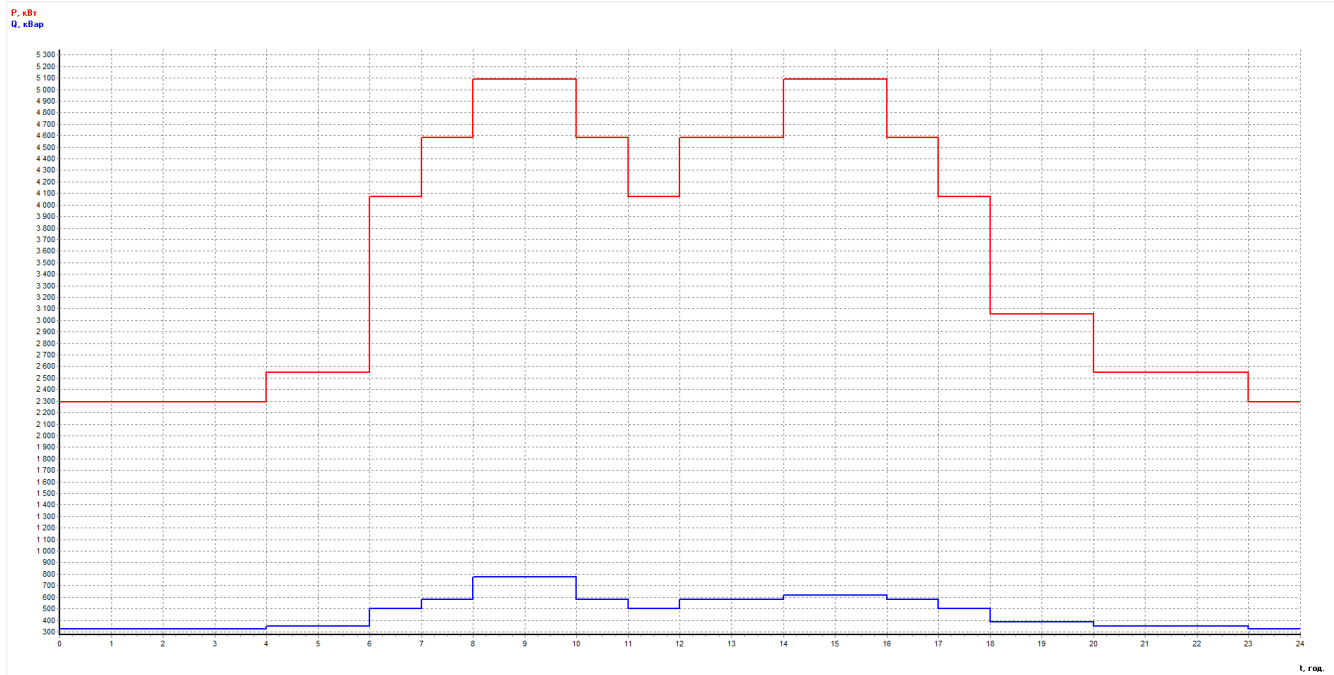


Рисунок 1.1 - Добові графіки літньої робочої доби

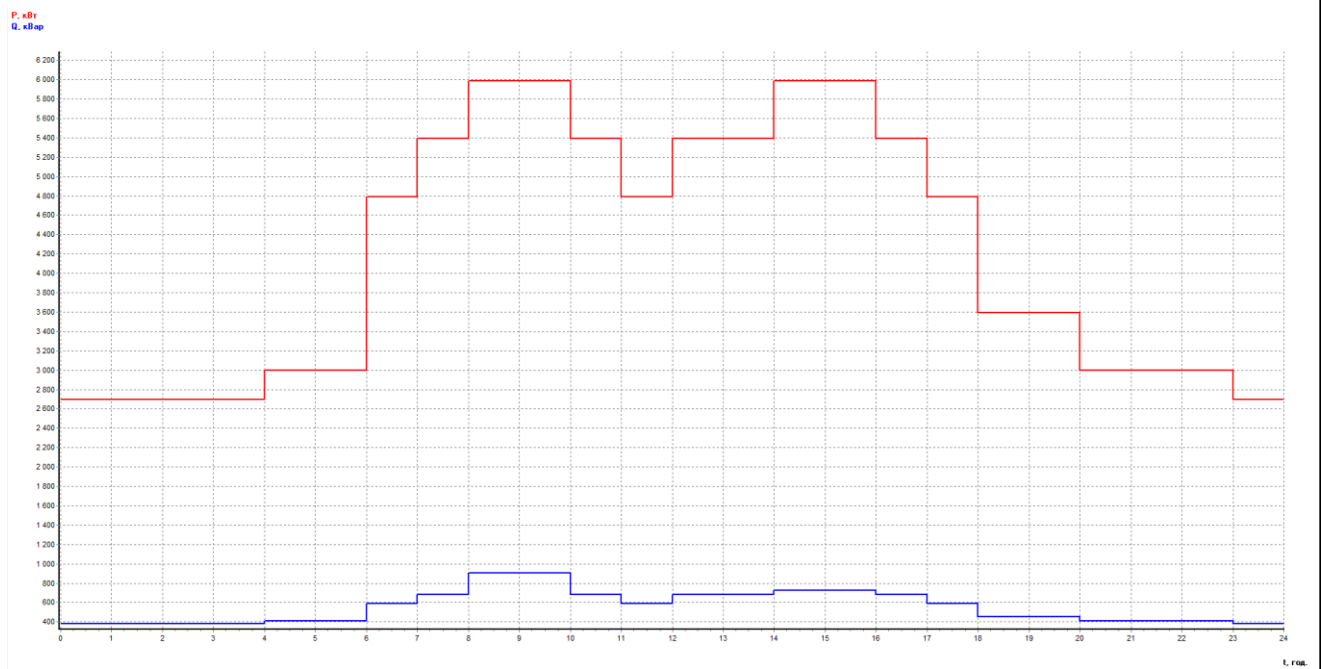


Рисунок 1.2 - Добові графіки зимової робочої доби

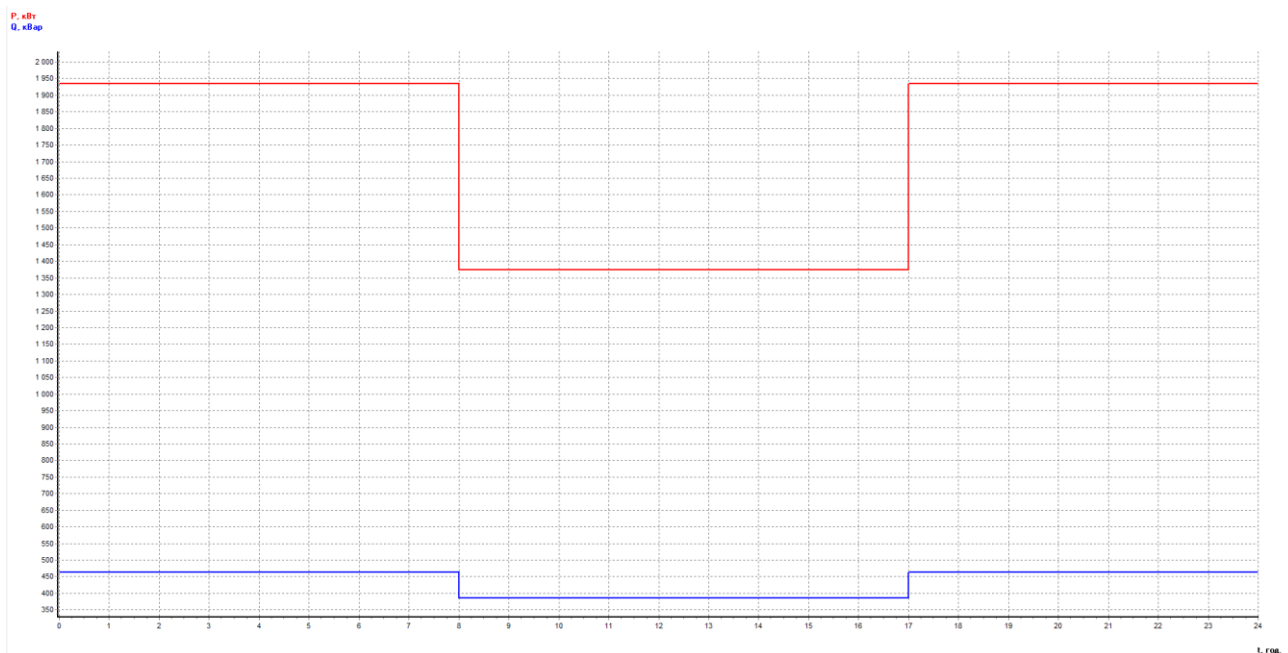


Рисунок 1.3 - Добові графіки літнього вихідного дня

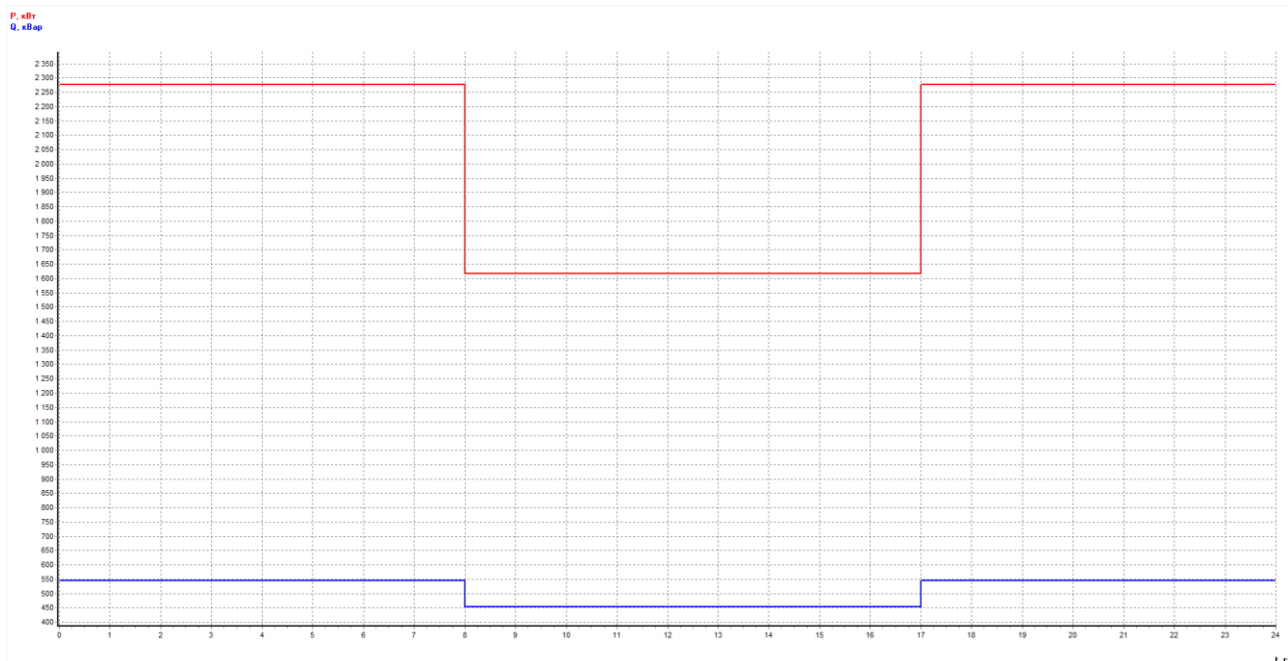


Рисунок 1.4 - Добові графіки зимового вихідного дня

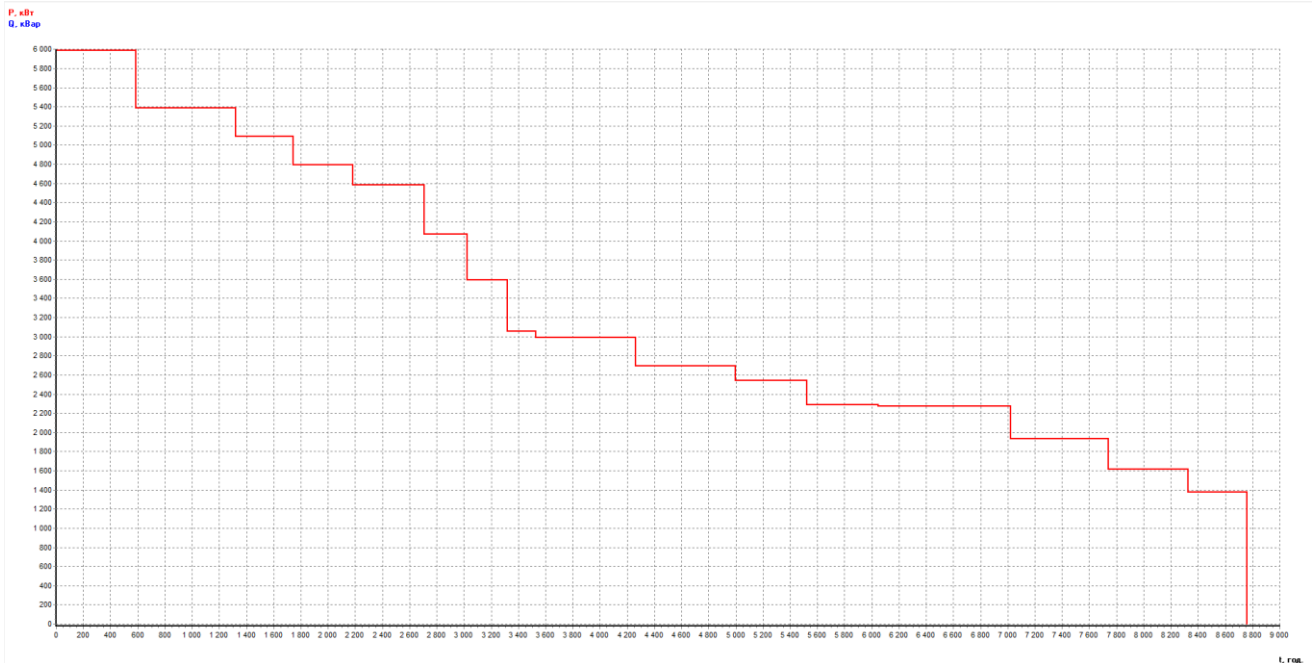


Рисунок 1.5 - Річний графік навантаження

Визначимо за допомогою річного графіка річні витрати активної та реактивної енергії

$$W_p = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = 28989285 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$V_p = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 4439454 \text{ кВар} \cdot \text{год}.$$

Кількість годин використання максимального навантаження визначимо за виразом

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{28989285^2 + 4439454^2}}{6056,79} = 4842,1 \text{ год},$$

$$\text{де } S_m = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} = \sqrt{5988,3^2 + 908^2} = 6056,79 \text{ кВА}.$$

Значення τ_m визначаємо за допомогою формули Кезевича

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4842,1}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 3240,5 \text{ год}.$$

					Арк.
					19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Розрахункові параметри графіка електричних навантажень

$S_p =$	6056,79	МВА
$W_{з.р.} =$	14832447	КВт· год
$V_{з.р.} =$	1955247	кВар· год
$W_{з.в.} =$	3165045	КВт· год
$V_{з.в.} =$	796965	кВар· год
$W_{л.р.} =$	9005745	КВт· год
$V_{л.р.} =$	1187130	кВар· год
$W_{л. в.} =$	1986048	КВт· год
$V_{л.в.}$	500112	кВар· год
$W_p =$	28989285	КВт· год
$V_p =$	4439454	кВар· год
$T_{max} =$	4842,1	год.
$\tau_m =$	3240,5	год.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

Визначення місця розташування ЦРП та цехових ТП на генеральному плані ковальсько-пресового виробництва наноситься шляхом побудови картограми електричних навантажень.

Картограма навантажень – це графічне представлення розподілу електричних навантажень на певній території, такій як підприємство, район чи місто. Вона дозволяє візуалізувати, де і які обсяги електроенергії споживаються, і допомагає оптимізувати розподіл електроенергії.

Збираються дані про споживання електроенергії на кожному об'єкті чи ділянці території. Ці дані можуть включати потужності споживання, типи навантажень і часові інтервали споживання. Територія поділяється на зони або ділянки, кожна з яких буде відображена на картограмі. Наприклад, для підприємства це можуть бути окремі цехи, відділення або блоки.

Для кожної зони визначаються середні, пікові та мінімальні навантаження. Аналізуються можливі відхилення і коливання в споживанні електроенергії.

На основі зібраних даних створюється картограма. На карті території або плані підприємства позначаються всі зони, а значення навантажень відображаються за допомогою кольорів, відтінків або інших графічних елементів. Наприклад, зони з високим навантаженням можуть бути позначені червоним кольором, з середнім – жовтим, з низьким – зеленим.

Готова картограма дозволяє візуально оцінити розподіл навантажень. Це допомагає швидко ідентифікувати області з високим споживанням, потенційні проблемні ділянки, а також зони, де можна провести оптимізацію.

На основі картограми навантажень розробляються заходи для покращення розподілу електроенергії, зниження пікових навантажень, оптимізації роботи трансформаторних підстанцій та електричних мереж

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загалом. Також це може включати планування розміщення нових об'єктів або модернізацію існуючих.

Таким чином, картограма навантажень є важливим інструментом для ефективного управління електричними мережами та оптимізації споживання електроенергії на різних територіях.

При побудові картограми використовується методика, викладена в [3].

Приймається масштаб $m = 0,5 \text{ кВт/см}^2$.

Визначаємо радіус кола:

$$R = \sqrt{\frac{\sum P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{24411}{\pi \cdot 0.5}} = 39.4 \text{ см}$$

Визначимо кут α , який зображує частку освітлювального навантаження від повного:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{\text{осв}}}{P_p} = \frac{360 \cdot 220,2}{2220,9} = 16,2^\circ$$

Для інших підрозділів розрахунків здійснюємо аналогічно. Розрахункові дані для побудови картограми електричних навантажень по КВП приведені в таблиці 2.1.

Обчислюємо координати центру електричних навантажень:

$$x_0 = \frac{1016209}{6440} = 157,8 \text{ м} \quad y_0 = \frac{650001.3}{6440} = 100.93 \text{ м}$$

Із розрахунків знайдено координати $x_0 = 157,8 \text{ м}$, $y_0 = 100,93 \text{ м}$. Для зменшення виникнення зворотних перетоків потужності, розміщуємо ЦРП в сторону джерела живлення.

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Вибір схеми та напруги зовнішнього електропостачання

Вибір схеми та напруги для зовнішньої мережі ґрунтується на техніко-економічному аналізі різних варіантів з урахуванням перспектив. Головна мета полягає у тому, щоб реалізація схеми зовнішнього електропостачання не вимагала значних витрат на майбутні розвиткові потреби. Вибір напруги для зовнішнього електропостачання промислових об'єктів залежить від наявних напруг у мережах енергосистем у зоні розташування підприємства та його потреб.

Для забезпечення електропостачання ковальсько-пресового виробництва використовуються подвійні кабельні лінії завдовжки 0,25 км із номінальною напругою 10 кВ, що подаються від головної підстанції заводу сільськогосподарського машинобудування. Ці кабельні лінії розраховані на те, щоб забезпечити подачу всієї потужності у разі відмови одного з їх елементів. Для прийому та розподілу електроенергії будується центральна розподільча підстанція, оскільки передача потужності на такій короткій відстані при використанні вищих рівнів напруги неефективна.

3.2. Вибір схеми та напруги внутрішнього електропостачання

Під час вибору схеми електропостачання ковальсько-пресового виробництва розглядаються два можливих варіанти зовнішнього електропостачання:

1. Електропостачання здійснюється від ГПП заводу сільськогосподарського машинобудування за допомогою кабельної лінії довжиною 0,25 км та напругою 10 кВ. На території виробництва будується

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

центральна розподільча підстанція, а система використовує радіальну схему розподілу електроенергії, з'єднуючи кабельну лінію з трансформаторами цехових підстанцій.

2. Електропостачання також здійснюється від ГПП заводу сільськогосподарського машинобудування за допомогою кабельної лінії довжиною 0,25 км та напругою 10 кВ. На території виробництва будується центральна розподільча підстанція, але в цьому варіанті використовується змішана схема. Трансформатори підключаються до кабельної лінії через захисні пристрої та вимикачі навантаження, що дозволяє ефективно зменшувати витрати під час зростання навантажень.

Економічність схеми електропостачання визначається за критерієм мінімізації приведених витрат:

$$E_{\text{привед}} = k_n \cdot K_i + C_i + B_{\text{втр } i} + Z_i,$$

де C_i , K_i – поточні витрати, обумовлені передачею та розподілом електричної енергії та загальні капіталовкладення у розглядаємий варіант;

$B_{\text{втр}}$ – вартість втрат енергії;

$k_n = 0.12$ – нормативний коефіцієнт ефективності;

Z_i – збиток від перебоїв електропостачання

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

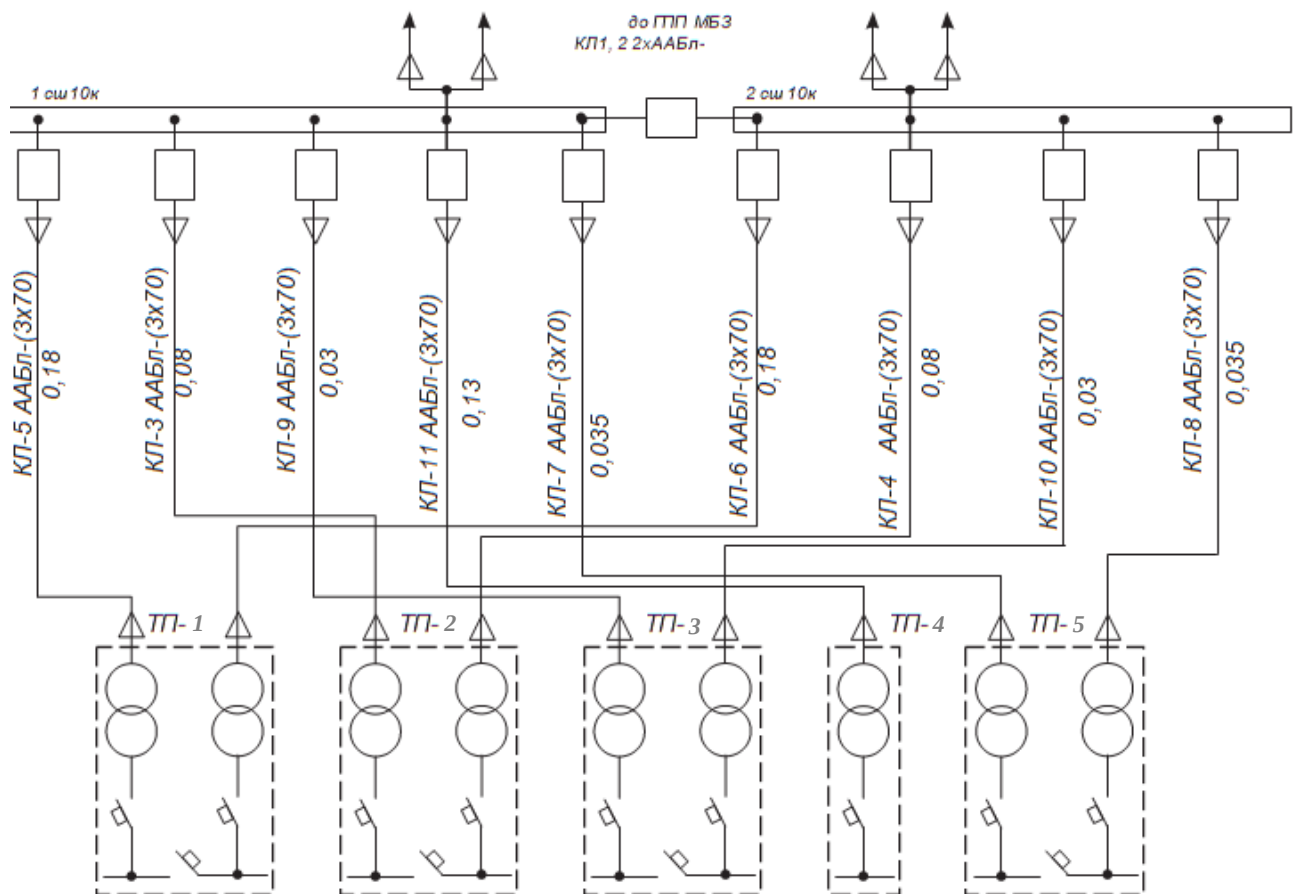


Рисунок 3.1. Радіальна схема електропостачання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

26

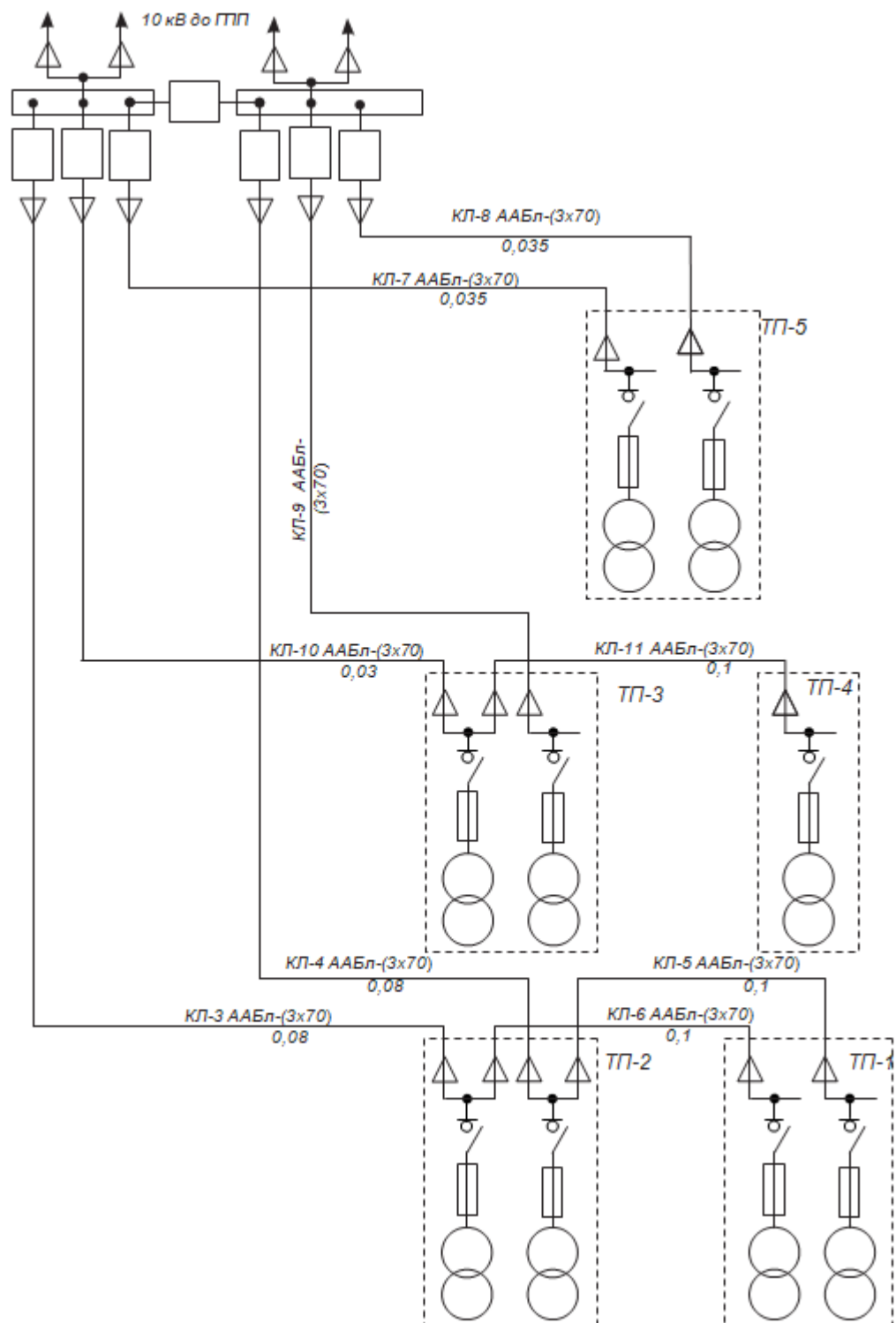


Рисунок 3.2 – Змішана схема електропостачання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

27

1) Варіант № 1. Електропостачання здійснюється від ГПП машинобудівного заводу по КЛ довжиною 0,25 км номінальною напругою 10 кВ. При цьому на території КПВ споруджується ЦРП і використовується радіальна схема розподілу електроенергії із глухим приєднанням КЛ до трансформаторів цехових ТП (рис.3.1);

Розрахуємо струм в кабельній лінії ТП-5:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{1395,46}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 38,41 \text{ А.}$$

В аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{1395,46}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 76,82 \text{ А.}$$

Приймаємо для прокладки кабель ААБл-(3х70) з тривало припустимим струмом нагріву $I_d = 161 \text{ А}$ [3].

Припустимий струм кабельної лінії з урахуванням зниження допустимого струму в нормальному режимі при прокладці кабелю в одній траншеї розраховується з врахуванням технічних параметрів кабелю, умов прокладки, а також температурних умов експлуатації:

$$I_{\Pi} = I_d \cdot k_{с.з} = 161 \cdot 1 = 161 \text{ А,}$$

де $k_{с.з}$ – коефіцієнт зниження навантаження при розміщені КЛ у повітряному кабельному каналі із змішаним прокладанням кабелів, де допустимі тривалі струми вибираються для ділянки траси з найгіршими умовами охолодження.

Струм аварійно припустимого перевантаження кабелю:

$$I_{\Pi.ав} = k_{\Pi.а.п} \cdot I_{\Pi} = 1,25 \cdot 161 = 201,25 \text{ А,}$$

де $k_{\Pi.а.п}$ – коефіцієнт припустимого перевантаження кабелю, при завантаженні КЛ в нормальному менше 0,6:

$$k_3 = I_p / I_{\Pi} = 38,41 / 161 = 0,28 < 0,6.$$

Таким чином, вибраний кабель ААБл-10-(3х70) задовольняє вимогам.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок струмів решти кабельних ліній для варіанту 1 приводимо в таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Розрахунок струмів та вибір кабельних ліній варіанту І.

Позиція	кїл КЛ	Sp	$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot 10)$	$I_{ав} = 2 \cdot I_p$	kз	Kп'	$F_{ек} = I_p / j_{ек}$	$F_{тер} = \sqrt{3} B_k / C$	Тип	Ідоп	$I_{ав} < K_{ав} \cdot K_{п'} \cdot I_{доп}$
1 варіант											
ТП 1	2	1379,60	37,9	75,9	0,2	0,9	31,61	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$75,9 < 0,9 \cdot 161 = 144,9$
ТП 2	2	1379,60	37,9	75,9	0,2	0,9	31,61	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$75,9 < 0,9 \cdot 161 = 144,9$
ТП 3	2	1034,30	28,4	56,9	0,2	1	23,70	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$56,9 < 1 \cdot 161 = 161$
ТП 4	1	1034,30	56,9	113,7	0,4	1	47,39	49,26	ААБл-1*(3*70)	161	$113,7 < 1 \cdot 161 = 162$
ТП 5	2	1395,46	38,4	76,7	0,2	1	31,97	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$76,7 < 1 \cdot 161 = 163$

Розрахуємо вартість втрат електроенергії в одній лінії, яка прокладається до ТП1.

Вартість втрат електроенергії визначається по тарифу для 2-го класу напруги:

$$B_{втр} = C_0 \cdot \Delta E$$

$C_0 = 1,6$ грн/кВт·год. Для 2-го класу (для напруги нижче 27,5 кВ).

Втрати електроенергії обчислюються за наступними формулами:

$$\Delta E = \Delta P_{кл} \cdot \tau_m, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$\Delta P_{кл} = \Delta p_{кл} \cdot l \cdot k_3^2, \text{ кВт},$$

де l – довжина кабелю, $l = 0,16$ км ААБл (3×70).

$\Delta p_{кл} = 44$ кВт/км - питомі втрати активної потужності у кабельній лінії з повним навантаженням, кВт/км для перетину 70 мм².

Відповідно розрахункам, представленим у розділі 2 $\tau_m = 3240,5$ год.

Обчислюємо втрати потужності:

$$\Delta P_{кл} = 44 \cdot 0,16 \cdot (0,18)^2 = 0,23 \text{ кВт}$$

$$\Delta E = 0,23 \cdot 3240,5 = 739,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Аналогічно розраховуємо втрати потужності для решти кабельних ліній. Результати розрахунків зводимо в табл. 3.2.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Розрахунок втрат електроенергії в кабельних лініях.

№ вар	КЛ	марка проводів	Δp , кВт/км	кз	I_{Σ}	ΔP , кВт	ΔE , кВт год	В, грн
I	ТП1	ААБл-(3х70)	44	0,18	0,16	0,23	739,1	1182,6
	ТП2	ААБл-(3х70)	44	0,24	0,08	0,20	633,1	1012,9
	ТП3	ААБл-(3х70)	44	0,18	0,03	0,04	133,4	213,5
	ТП4	ААБл-(3х70)	44	0,35	0,13	0,71	2312,9	3700,6
	ТП5	ААБл-(3х70)	44	0,24	0,035	0,09	283,4	453,4
Всього					0,435		4101,9	6563,005

Розраховуємо втрати в лініях для першого варіанту:

$$B_{\text{втр}} = C_0 \cdot \Delta E = 1,6 \cdot 4101,9 = 6563 \text{ грн}$$

Аналогічно розраховуємо втрати в кабельних лініях по варіанту II.

Розрахунок струмів і вибір кабельних ліній представлено в табл.3.3.

Таблиця 3.3. Розрахунок струмів та вибір кабельних ліній варіанту 2.

Позиція	кіль КЛ	Sp	$I_p = Sp / (\sqrt{3} \cdot U_0)$	$I_{ae} = 2 \cdot I_p$	кз	Kn'	$F_{ек} = I_p / j_{ек}$	$F_{тер} = \sqrt{B_k / C}$	Тип	Idоп	$I_{ae} < K_{ae} \cdot K_n' \cdot I_{доп}$
ТП1	2	2759,29	75,9	151,7	0,5	0,9	63,22	0,00	ААБл-2*(3*70)	161	$151,7 < 1,25 \cdot 0,9 \cdot 161 = 181$
ТП1-ТП2	2	1379,60	37,9	75,9	0,2	0,9	31,61	0,00	ААБл-2*(3*70)	161	$75,9 < 1,25 \cdot 0,9 \cdot 161 = 181$
ТП3	2	2068,77	56,9	113,8	0,4	1	47,40	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$113,8 < 1,25 \cdot 1 \cdot 161 = 201,5$
ТП3-ТП4	1	650,00	35,7	71,5	0,2	1	29,78	49,26	ААБл-1*(3*70)	161	$71,5 < 1,25 \cdot 1 \cdot 161 = 201,3$
ТП5	2	1395	38,4	76,7	0,2	0,9	31,97	49,26	ААБл-2*(3*70)	161	$76,7 < 1,25 \cdot 0,9 \cdot 161 = 181$

Таким же чином, як і для першого варіанту розраховуємо втрати потужності для решти кабельних ліній варіанту II. Результати розрахунків зводимо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок втрат електроенергії в кабельних лініях.

№ вар	КЛ	марка проводів	Δp , кВт/км	кз	I_{Σ}	ΔP , кВт	ΔE , кВт год	В, грн
II	ТП1	ААБл(3х70)	44	0,5	0,08	0,88	2851,6	4562,6
	ТП1-ТП2	ААБл(3х70)	44	0,2	0,1	0,18	570,3	912,5
	ТП3	ААБл(3х70)	44	0,4	0,3	2,11	6843,9	10950,3
	ТП3-ТП4	ААБл(3х70)	44	0,2	0,1	0,18	570,3	912,5
	ТП5	ААБл(3х70)	44	0,2	0,035	0,06	199,6	319,4
Всього					0,615		11035,8	17657,4

Розраховуємо капіталовкладення по варіантам.

Розрахунок капіталовкладень в схему електропостачання здійснюється, враховуючи обсяг споживання електроенергії та характеристики системи, необхідне обладнання, таке як трансформатори, кабелі тощо, оцінюються витрати на будівництво та монтаж всієї необхідної інфраструктури, включаючи вартість матеріалів.

Загальна сума капіталовкладень у схему електропостачання визначається по укрупненим показникам вартості всіх складових схеми.

Розрахунок капітальних вкладень по обох варіантах представлений в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахунок капітальних вкладень

варіант	Складові схеми	Кількість довжина	Вартість, одиниці, тис.грн.	Вартість тис.грн.
1	Шафа серії КРУ, з вимикачем 10кВ	9	118	1062
	Кабель ААБл- 70 ,км	0,9	210	189
	Траншея,км	0,9	10	9
	Всього			1260
2	Шафа з вимикачем 10 кВ серії КРУ	6	118	708
	Кабель ААБл- 70 ,км	0,65	210	136,5
	Вимикач 10 кВ	9	18	162
	Траншея,км	0,65	10	6,5
	Всього			1013

Розраховуємо поточні втрати по варіантам.

Розрахунок поточних втрат елементів схеми електропостачання включає оцінку втрати електроенергії на кожному окремому елементі системи, такому як лінії передачі, трансформатори, підстанції тощо.

Результати зводимо в табл.3.6.

Таблиця 3.6. Розрахунок поточних витрат по обом варіантам.

варіант	Елементи схеми	К _ж , тис.грн	Р _а , %	С _{а_ж} , тис.грн	Р _з , тис.грн	С _{з_ж} , тис.грн	С _ж , тис.грн.
1	Шафа серії КРУ з вимикачем 10 кВ	1062	15	159,3	5	74,8	212,4
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	198	5	9,9	5	9,9	19,8
	Всього						232,2
2	Шафа з вимикачем 10 кВ серії КРУ	708	15	106,2	5	35,4	141,6
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	143	5	7,15	5	7,15	14,3
	Вимикач 10 кВ	162	15	24,3	5	8,1	32,4
	Всього						188,3

Розраховані техніко-економічні показники зводимо в табл.3.7 для порівняння.

Таблиця 3.7 - Техніко-економічні показники варіантів внутрішнього електропостачання

Показник	Варіант	
	I	II
Капітальні вкладення, тис.грн.	1260	1013
Поточні витрати, тис.грн.	232,2	188,3
Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	6,6	17,7
Приведені витрати, тис.грн.	390	327,5

За результатами техніко-економічного порівняння приймаємо другий варіант схеми електропостачання змішаного типу від ГПП заводу.

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Більшість промислових підприємств споживають реактивну потужність під час роботи, яку вони отримують з електромережі. Проте передача цієї потужності через лінії та трансформатори не вигідна, оскільки це знижує ККД системи електропередачі та якість постачання електроенергії. Під час проектування систем електропостачання враховуються всі елементи, зокрема засоби компенсації, для зменшення струмів у мережі. На першому рівні енергосистеми обчислюються економічно доцільні значення реактивної потужності, яку можна передати з виробничої енергосистеми, і сумарна потужність компенсуючих пристроїв, які необхідно встановити. На другому рівні, включаючи шини 0.4 кВ ТП, обчислюється оптимальне розміщення компенсаційних пристроїв. Вибір типу, потужності, місця розташування і режиму роботи цих пристроїв має забезпечити максимальну економічність при дотриманні допустимих режимів напруги та струмових навантажень у всіх елементах мережі.

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв у високовольтних та низьковольтних мережах

Вибір компенсуючих пристроїв проводимо згідно методики [3]

Потужність компенсуючих пристроїв, які встановлюються в мережі до 1000 В знаходиться із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_1$$

Тоді потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{с}}$$

Активне та реактивне навантаження в мережі до 1000 В (цехові ТП):

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{н}} = \sum P_{\text{тп.і}} = 2726,11 + 1823,9 + 1359 = 5909,01 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{н}} = \sum Q_{\text{тп.і}} = 2425 + 1828,84 + 920,8 = 5174,6 \text{ квар.}$$

Сумарне споживання по КВ виробництву:

- активної потужності:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{в}} + P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 5909 + 79,3 = 5988,3 \text{ кВт},$$

де $P_{\text{в}}$ – високовольтне активне навантаження;

- реактивної потужності:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 5174,6 + 508 = 5682,6 \text{ квар};$$

де $Q_{\text{в}}$ – високовольтне реактивне навантаження;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – втрати активної потужності цехових трансформаторів

$$\Delta P_{\text{тр}} = \sum \Delta P_{\text{тр.і}} = 27,3 + 38,5 + 13,5 = 79,3 \text{ кВт};$$

$\Delta Q_{\text{тр}}$ – втрати реактивної потужності цехових трансформаторів

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \sum \Delta Q_{\text{тр.і}} = 155 + 271,9 + 81,1 = 508 \text{ квар.}$$

Економічно доцільна потужність, що може передаватися від системи

$$Q_{\text{е}} = P_{\text{н}} \cdot \text{tg}\varphi = 5909,01 \cdot 0,15 = 886,3 \text{ квар.}$$

Мінімальне число трансформаторів:

$$N_0 = P_{\text{н}} / (k_3 \cdot S_{\text{т.ном}}) = 5909,01 / (0,7 \cdot 1000) = 8,4,$$

де $k_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів

приймаємо $N_0 = 9$ шт.

Розглянемо варіанти компенсації реактивної потужності при числі трансформаторів

$$N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2.$$

Варіант I: $N = N_0 = 9$

Реактивна потужність, яка може передаватися з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори :

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{т}} K_3 S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 5909^2} = 2184,9 \text{ квар}$$

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність компенсуючих пристроїв (КП), які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ обчислюємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 5174,6 - 2184,9 = 2990 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 3100$ (5х300, 4х400 квар).

Уточнюємо значення $Q_1 = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 5174,6 - 3100 = 2074$ квар.

Потужність КП, які потрібно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 5682,6 - 3100 - 886,36 = 1696,24 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 1800$ квар (2х900 квар).

Варіант II: $N = N_0 + 1 = 10$

Реактивна потужність, яка може передаватися з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори :

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{т}} K_3 S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 5909^2} = 3752,8 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП) які необхідно встановити в мережі 0,4 кВ обчислюємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 5174,6 - 3752,8 = 1421,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 1600$ (5х200, 4х150 квар).

Уточнюємо значення $Q_1 = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 5174,6 - 1600 = 2989,7$ квар.

Потужність КП, які потрібно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 5682,6 - 1600 - 886,36 = 3196,24 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 3600$ квар (4х900 квар).

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант III: $N = N_0 + 2 = 11$

Реактивна потужність, яка може передаватися з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори :

$$Q_1 = \sqrt{(N_T K_3 S_{\text{ном}})^2 - P_H^2} = \sqrt{(11 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 5909^2} = 4936,9 \text{ квар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП), які необхідно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_H - Q_1 = 5174,6 - 4936,9 = 237,6 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 250$ квар (5х200, 4х150 квар).

Уточнюємо значення $Q_1 = Q_H - Q_{\text{кн}} = 5174,6 - 250 = 4924$ квар.

Потужність КП, які потрібно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{кн}} - Q_e = 5682,6 - 250 - 886,36 = 4546,24 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 4860$ квар (4х900 квар, 2х630 квар).

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку потужності компенсуючих пристроїв по варіантам

Показники	Варіант I	Варіант 2	Варіант 3
Потужність КП 0,4 кВ	3100	1600	250
Потужність КП 10 кВ	1800	3600	4860
Споживання реактивної потужності із енергосистеми	886,4	886,4	886,4
Потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ	2184,9	3752,8	4936,9

4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування конденсаторних установок реактивної потужності

Вибір потужності та місця розташування проводимо відповідно методиці [3].

Визначення кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв базується на техніко-економічному порівнянні різних варіантів. Основним критерієм ефективності є мінімізація приведених витрат.

Приведені витрати на компенсацію реактивної потужності розраховуються за даною формулою:

$$Z_1 = E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{TP}) \cdot c_0 \cdot \tau =$$

$$= 0,27 \cdot (767 + 319,2 + 0) + (13,95 + 54 + 34,3) \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3240,5 = 823,4 \text{ тис. грн}$$

де K_{KH} – вартість низьковольтних КУ:

$$K_{KH} = \sum N_{BK0,4.i} \cdot K_{BK0,4.i} = 5 \cdot 81 + 4 \cdot 90,5 = 767 \text{ тис. грн.};$$

де K_{KB} – вартість низьковольтних КУ:

$$K_{KB} = \sum N_{BK10.i} \cdot K_{BK10.i} + N_{Ш.і} \cdot K_{Ш.і} = 2 \cdot 84 + 1 \cdot 151,2 = 319,2 \text{ тис. грн.}$$

Втрати активної енергії в трансформаторах:

$$\Delta P_{TP} = \frac{P_H^2 + Q_1^2}{U_{НОМ}^2} R_{ЕКВ} \cdot 10^{-3} = (5174^2 + 2184,9^2 / 10,5^2) 1,2 \cdot 10^{-3} = 34,3 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{KH} = \Delta P_{ПИТ} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 3100 = 13,95 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{KB} = \Delta P_{ПИТ} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 1800 = 54 \text{ кВт.}$$

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки по іншим варіантам виконуємо аналогічно.

Таблиця 4.2 – Вибір потужності конденсаторних установок

Кількість тр-рів	Q_1	$Q_{\text{кн}}$	$Q_{\text{кв}}$	K_T	$\Delta P_{\text{ТП}}$	Z
шт.	кВар	кВар	кВар	тис.грн.	кВт	тис.грн.
9	2184,9	3100	1800	-	34,3	823,4
10	3752,8	1600	3600	120,000	36,2	981,63
11	7936,9	250	4860	210,000	43,2	1167

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ВИРОБНИЦТВА

5.1. Вибір кількості і потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Потужність трансформаторів повинна відповідати сумарному навантаженню підприємства або конкретного цеху. Розрахунки виконуються на основі потреб у електроенергії підприємства. Трансформатори повинні мати потрібні напруги для забезпечення ефективної роботи електричного обладнання підприємства.

Розрахунки проводяться з урахуванням типу і характеру навантаження, його динаміки, фактора потужності ($\cos \phi$) та інших особливостей споживання електроенергії. Вибираються трансформатори з високими показниками ефективності, що дозволяє зменшити енерговитрати.

У мережах 10 кВ ковальсько-пресового виробництва для розподілу електроенергії в більшості цехів встановлені двотрансформаторні цехові підстанції. Особливості цих підстанцій враховують наступне:

- Навантаження на ці підстанції складають споживачі II категорії за безперебійністю електропостачання.
- Навантаження сконцентровані.
- Виробництво працює в дві зміни.

Число трансформаторів і їх потужність у цехових підстанціях взаємно залежні. При фіксованому розрахунковому навантаженні S_p , кількість трансформаторів буде змінюватися в залежності від обраної їхньої індивідуальної потужності.

Правильність вибору кількості та потужності трансформаторів цехових ТП перевіriamo методом питомої густини навантаження [3]. Відповідно до цього методу, $N_{тр}$ пов'язується з їх номінальною потужністю:

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{тр}} = S_p / (k_{\text{з.тр}}/S_{\text{н.е}}) = 6058,56 / (0,7 \cdot 1000) = 8,4.$$

де $S_{\text{н.е}}$ - економічно обґрунтована номінальна потужність трансформатора, вибирається відповідно питомій густині навантаження:

$$S_{\text{п}} = S_p / F = 6058,56 / 28150 = 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А/м}^2$$

При $S_{\text{п}} \leq 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А/м}^2$ відповідає умовам $S_{\text{н.е}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Отриману кількість трансформаторів доводимо до цілого, таким чином число трансформаторів цехових ТП становить 9 шт, а потужність кожного 1000 кВА.

Вибір та перевірку трансформаторів по підстанціям представлено у табл. 5.1. Обрані трансформатори ТМГ-1000/10/0,4 при допустимому перевантаженні в аварійному режимі, забезпечують роботу мережі потрібною потужністю.

Таблиця 5.1 - Вибір трансформаторів КВП

№ ТП	К.- ть	$S_{\text{роз}}, \text{кВА}$	Марка	$K_{\text{з}}$	$S_{\text{ном}} > S_p/K_1$	$S_{\text{ном}} > S_p/K_2$	Тип КТП
ТП-1,2	4	2726,23	ТМГ-1000-10/0,4	0,68	2524	1947	Вбудована
ТП-3,4	4	1929,27	ТМГ-1000-10/0,4	0,48	1786	1378	Вбудована
ТП-5	2	1369,70	ТМГ-1000-10/0,4	0,68	1268	978	Вбудована

5.2. Вибір місця розташування цехових трансформаторних підстанцій

На промислових підприємствах часто застосовують комплектні трансформаторні станції. Місце їх розташування визначається обсягом і

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характером електричних навантажень і розміщенням на генеральному плані підприємства.

Існують кілька видів компоновки трансформаторних підстанцій:

1. Окремі підстанції, які розташовані окремо від будь-яких інших будівель або споруд.

2. Прибудовані підстанції, які знаходяться поруч з іншими будівлями або спорудами, але вони мають окремий вхід і зв'язок зі структурами.

3. Вбудовані підстанції, які вбудовані безпосередньо в інші будівлі чи споруди, такі як заводські приміщення чи офісні комплекси.

4. Внутрішні підстанції, які розташовані всередині приміщень або споруд, зазвичай відведені в спеціально обладнані кімнати або приміщення.

З метою максимального наближення цехових підстанцій до електроприймачів у мережі 0,4 кВ вони встановлюються на території цехів, у центрах електричних навантажень. Таке розташування трансформаторів дозволяє скоротити протяжність електричних мереж напругою 0,4 кВ і значно зменшити втрати потужності і енергії в них.

У цехах ковальсько-пресового виробництва ставлять комплектні дво-однотрансформаторні підстанції. Кожен випадок компоновки внутрішніх цехових підстанцій розглядається індивідуально, з урахуванням архітектурно-будівельних і експлуатаційних вимог, конфігурації виробничих приміщень, розташування технологічного обладнання, умов навколишнього середовища, охолодження, пожежної та електробезпеки.

У заготівельному відділенні ТП-1 розташована біля колон, тоді як ТП-2 розташована біля постійних приміщень та у мертвій зоні роботи цих механізмів. ПС у гарячому відділенні та шихтному відділенні розміщені аналогічно.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для визначення струмів короткого замикання складається розрахункова схема в однолінійному зображенні. У цій схемі враховуються всі джерела, що живлять місце короткого замикання, а також всі елементи системи електропостачання (трансформатори, лінії, реактори), розташовані між джерелами та місцем короткого замикання. Синхронні компенсатори, синхронні та асинхронні двигуни вважаються джерелами живлення.

За розрахунковою схемою формується схема заміщення, де всі елементи представлені опорами, приведеними до базисних умов. Після цього схема заміщення перетворюється і спрощується до еквівалентної схеми.

Вибір високовольтного обладнання (такого як вимикачі, вимикачі-роз'єднувачі, вимикачі-вимірювачі тощо) зазвичай здійснюється з урахуванням значень струмів короткого замикання, які можуть виникнути в системі. Ось деякі кроки, які можуть бути виконані при виборі високовольтного обладнання:

- Враховуючи значення струмів короткого замикання, визначаються параметри, які повинні мати високовольтне обладнання, такі як номінальна напруга, струм переривання, спосіб монтажу тощо.

- З урахуванням параметрів та потреб системи обирається тип високовольтного обладнання, яке найкраще відповідає вимогам. Наприклад, для великих значень струмів короткого замикання можуть бути обрані вимикачі високої номінальної напруги та високого рівня струму переривання.

- Після визначення типу обладнання вибирається конкретний виробник та модель, які мають необхідні технічні характеристики, які враховують значення струмів короткого замикання.

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Після вибору та придбання обладнання воно встановлюється на місці та вводиться в експлуатацію з дотриманням всіх вимог технічної безпеки та регулятивних вимог.

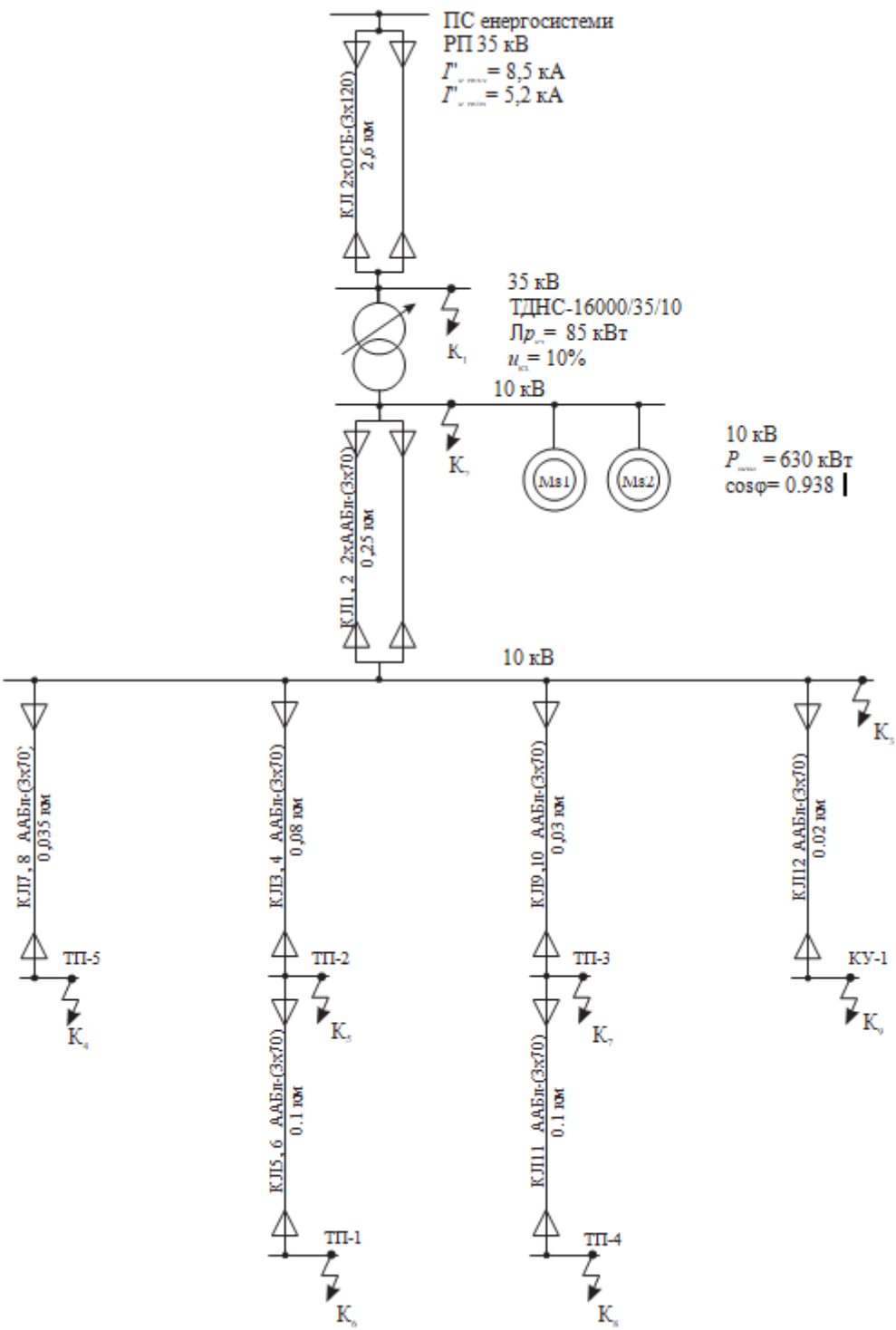


Рисунок 6.1 - Розрахункова схема СЕП

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

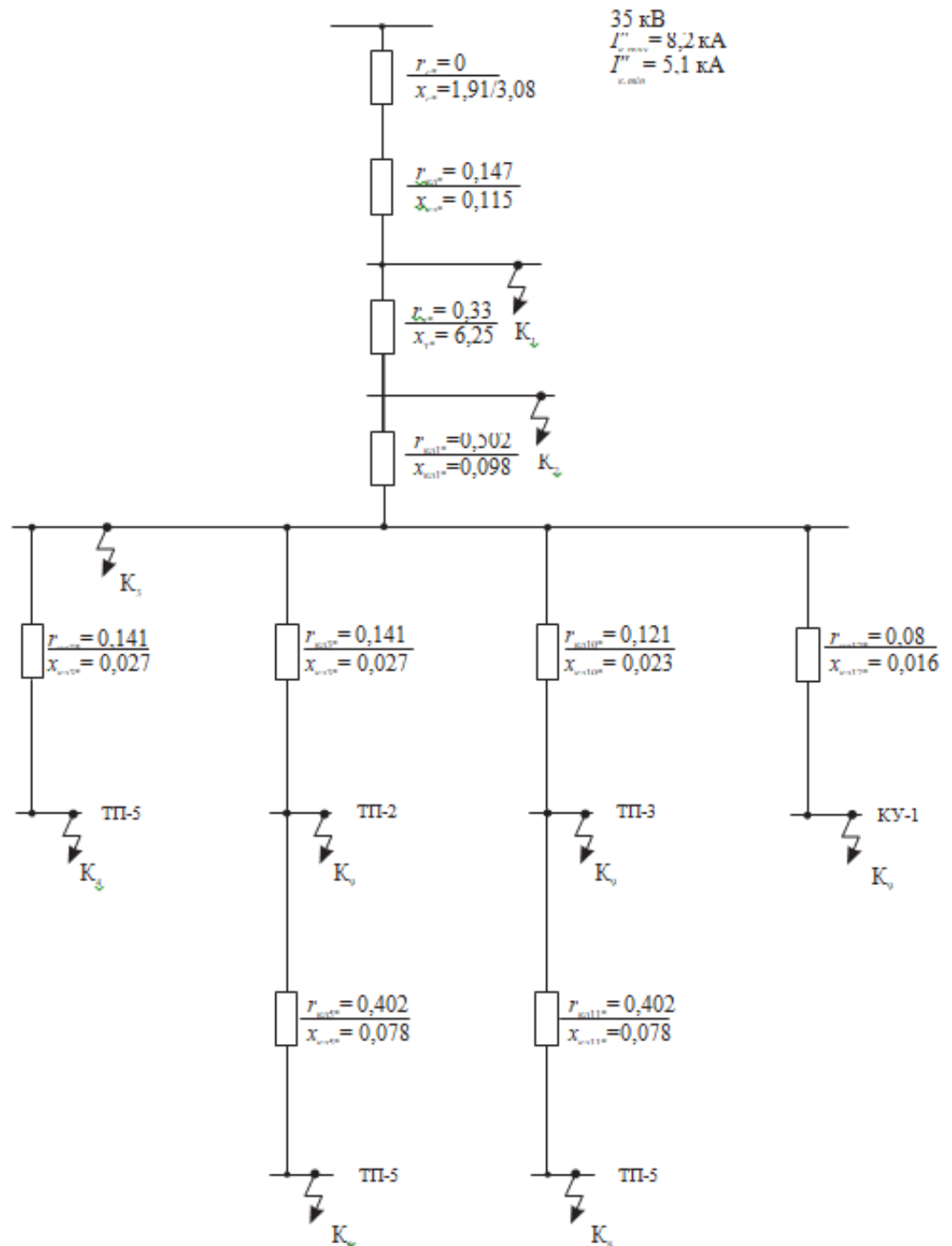


Рисунок 6.1 Схема заміщення СЕП

Виконуємо розрахунок КЗ для ТП5.

Вихідні дані до розрахунку:

Номінальна напруга повітряної лінії $U_n = 35 \text{ кВ}$. Лінія виконана проводом марки ААБл, довжиною $L_1 = 2,6 \text{ км}$ та перерізом $F = 120 \text{ мм}^2$

Номінальна потужність трансформатора ГПП складає $S_{тр} = 16000 \text{ кВА}$,

					Арк.
					44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

з параметрами: $P_k = 46,5$ кВт; $P_{xx} = 9,3$ кВт; $U_{k\%} = 7,5$ %.

Номинальна напруга КЛ $U_n = 10$ кВ. Лінія прокладена кабелем марки ААБЛ-70, $F_{ct} = 70$ мм², довжиною $L_{кл} = 0,1$ км.

На ТП встановлений трансформатор типу :

ТМЗ-1000 з параметрами: $\Delta P_{xx} = 1,57$ кВт ; $\Delta P_{k3} = 12,2$ кВт; $U_{k\%} = 5,6$ %. Номинальна потужність трансформатора ТП складає $S_{тр} = 1000$ кВА.

Згідно з електропостачальною схемою, створюємо схему заміщення, де всі компоненти замінюються еквівалентними опорами. Активний опір системи не враховується через його незначне значення. Розрахунки проводяться у відносних величинах.

Приймаємо базисну потужність $S_6 = 1000$

базисна напруга в точці К1 $U_{61} = 38,5$ кВ; в точці К2 $U_{62} = 10,5$ кВ; в точці К6 $U_{64} = 0,4$ кВ.

Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

$$X_c = S_6 / S_{k3} = 1000 / \sqrt{3} \cdot 8,2 \cdot 35 = 1,98$$

Реактивний опір лінії напругою 35 кВ:

$$X_{л1} = X_o \cdot L \cdot S_6 / U_{61}^2 = 0,15 \cdot 2,6 \cdot 1000 / 38,5^2 = 0,13$$

Активний опір лінії напругою 35 кВ:

$$R_{л1} = R_o \cdot L \cdot S_6 / U_{61}^2 = 0,39 \cdot 2,6 \cdot 1000 / 38,5^2 = 0,13$$

Визначаємо параметри трансформатора ГПП, активним опором трансформатора можна знехтувати:

$$X_{тр} = U_{k\%} \cdot S_6 / (100 \cdot S_{н.тр}) = 9,5 \cdot 1000 / 100 \cdot 1000 = 6,3$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ обчислюємо:

реактивний опір лінії 10 кВ:

$$X_{лi} = X_o \cdot L \cdot S_6 / U_{62}^2 = 0,086 \cdot 0,35 \cdot 1000 / 10,5^2 = 0,098$$

Активний опір лінії 10 кВ:

$$R_{лi} = R_o \cdot L \cdot S_6 / U_{62}^2 = 0,443 \cdot 0,35 \cdot 1000 / 10,5^2 = 0,502$$

Опір трансформатора 10/0,4 кВ

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{TP} = \Delta P_M \cdot S_6 / S_{H.TP}^2 = 12,20 \cdot 100000 / 1000^2 = 1,2$$

$$X_{TP} = \sqrt{(U_K/100)^2 - (\Delta P_M / S_{H.TP})^2} \cdot S_6 / S_{H.TP} =$$

$$= \sqrt{(5,55 / 100)^2 - (12,20 / 1000)^2} \cdot 100000 / 1000 = 5,4$$

Обчислюємо результуючий еквівалентний опір до розрахункової точки КЗ. Спростуємо схему заміщення в такій послідовності:

1) результуючий опір до точки К1

$$R_{K1} = R_{Л1} = 0,15$$

$$X_{K1} = X_c + X_{Л1} = 1,98 + 0,115 = 2,095$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{Л1}^2 + X_{К1}^2} = \sqrt{0,15^2 + 2,095^2} = 2,13$$

2) результуючий опір до точки К2

$$R_{K2} = R_{T1} + R_{K1} = 0,147 + 0,33 = 0,48$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{T1} = 2,095 + 6,25 = 8,28$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,48^2 + 8,28^2} = 8,2$$

3) результуючий опір до точки К3

$$R_{K3} = R_{Л2} + R_{K2} = 0,48 + 0,0502 = 0,98$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{Л2} = 8,28 + 0,0098 = 8,38$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,98^2 + 8,38^2} = 8,4$$

4) результуючий опір до точки К6

$$R_{K6} = R_{K5} + R_{K3} = 1,303 + 0,402 = 1,7$$

$$X_{K6} = X_{K5} + X_{K3} = 8,4 + 0,078 = 8,7$$

$$Z_{K6} = \sqrt{R_{K6}^2 + X_{K6}^2} = \sqrt{1,7^2 + 8,7^2} = 8,69$$

Визначаємо базисні струми в заданих точках КЗ:

В точці К1

$$I_{61} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{61} = 1000 / (1,73 \cdot 39) = 15,7 \text{ кА}$$

В точці К2

$$I_{62} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{62} = 1000 / (1,73 \cdot 10,50) = 55 \text{ кА}$$

В точці К3

$$I_{63} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{63} = 1000 / (1,73 \cdot 10,50) = 55 \text{ кА}$$

В точці К4

$$I_{64} = S_6 / \sqrt{3} \cdot U_{64} = 1000 / (1,73 \cdot 0,40) = 55 \text{ кА}$$

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо трифазні струми КЗ. В точці К1 діюче значення періодичної складової струму складатиме:

$$I_{K1} = I_{\phi 1} / Z_{K1} = 15,7 / 2,13 = 7,4 \text{ кА.}$$

Діюче значення усталеного струму КЗ:

$$I_{\infty 1} = I_{K1} = 7,4 \text{ кА;}$$

Амплітудне значення струму на шинах напругою 35 кВ

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K1} = 1,4 \cdot 1,79 \cdot 7,4 = 19,3 \text{ кА}$$

Струм двохфазного КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{K1}^2 = 0,87 \cdot I_{K1} = 0,87 \cdot 7,4 = 6,43 \text{ кА}$$

Розрахунок для інших точок схеми зводимо до таблиці 6.1

Таблиця 6.1. Розрахункові струми КЗ схеми електропостачання КВП

Точка схеми	$R_{кп}$	$X_{кп}$	$Z_{кп}$	$I_{кп} = I_{\phi п} / Z_{кп}$	$i_{yn} = 2 \cdot k_y \cdot I_{кп}$	$I_{кп}^2 = 0,87 \cdot I_{кп}$
К1	0,14	2,095	2,14	7,74	19,3	6,43
К2	0,48	8,28	8,21	6,64	17,21	7,03
К3	0,98	8,38	8,41	6,51	15,62	6,92
К4	1,11	8,40	8,45	6,45	15,23	6,88
К5	1,303	8,43	8,54	6,43	14,71	6,84
К6	1,704	8,52	8,686	6,34	13,72	6,75
К7	1,102	8,39	8,47	6,491	15,27	6,91
К8	1,503	8,487	8,611	6,391	14,22	6,82
К9	1,061	8,391	8,459	6,52	15,38	6,93

6.2. Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі виробництва

Обираємо кабель від ГПП до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабельної лінії :

$$F_e = I_p / (n J_{ек}) = 201,5 / (1 \cdot 1,2) = 168 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Де } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{6058,56}{2 \sqrt{3} \cdot 10,5} = 201,75 \text{ А.}$$

Попередньо приймаємо кабель ААБл - 70 мм² з допустимим струмом

$$I_{\text{доп}} = 324 \text{ А}$$

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Превірка кабеля допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{ав} = K_{п} K_{ав} I_{доп} = 0,95 \cdot 1,15 \cdot 324 = 353,9 \text{ А} > I_{ф.р} = 201,75 \text{ А}$$

де $K_{п}$ –поправочний коефіцієнт прокладки кабелів;

$K_{ав}$ - коефіцієнт аварійного перевантаження КЛ, приймаємо рівним 1,15.

Мінімальна площа поперечного перетину кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = 1/K \sqrt{B_k} = 1/94 \sqrt{127,5 \cdot 1000} = 120 \text{ мм}^2,$$

де K - термічний коефіцієнт; в алюмінієвих кабелів $K=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий імпульс:

$$B_k = I''^2 (t_b + t_{рз \max}) = 7,71^2 (2,042 + 0,055) = 124,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де I'' – значення надперехідного струму;

t_b - повний час роботи вимикача при вимиканні;

$t_{рз \max}$ - максимальний час спрацювання РЗ.

За умовами термічної стійкості приймаємо до прокладання кабель ААБл - 70 мм² з допустимим струмом $I_{доп} = 324 \text{ А}$.

Вибір кабелів для інших ТП представлено в табл.3.1 розділу 3.

6.3. Вибір електричних апаратів високої напруги

Вибір вимикачів напругою 10 кВ.

На стороні 10 кВ в якості ввідних вимикачів приймаємо вакуумні вимикачі типу ВР-1 – 10 – 20/630 – У2.

Вибір параметрів вимикача представлений в табл.

На лініях що відходять до ТП встановлюємо вимикачі типу ВР-1 –10 – 20/1000У3. Вибір параметрів вимикача зведені до таблиці 6.2.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 - Вибір вводних вимикачів 10 кВ

Показники мережі	Умови вибору	Показники вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
201 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
7,4 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 1,83 \cdot e^{-0,06/0,03} = 18,3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 51 \text{ кА}$
4,44 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
7,46 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
$104,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

$$\tau = t_{pz \min} + t_b = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с.}$$

$$T_{від} = t_{pz} + t_{відкл} = 0,065 + 2,0 = 2,065 \text{ с}$$

$$B_k = I''^2 (t_{відк} + T_a) = 7,4^2 (2,542 + 0,0055) = 126,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Вибір вимикачів навантаження.

Перевіряємо вимикач ВНРП-10/400-10ЗУЗ.

Таблиця 6.3 - Вибір вимикачів 10 кВ відходящих ліній.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10,5 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	12 кВ
76,8 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	400 А
4,18 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
$\sqrt{2} \cdot 4,18 \cdot e^{-0,06/0,03} = 2,14 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 28,3 \text{ кА}$
16,8 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	25 кА
$3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$100^2 \cdot 1 = 1000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вимикач ВНРП-10/400-10ЗУЗ задовольняє всім умовам перевірки, тому приймаємо його до установки.

Вибір запобіжника

Попередньо обираємо запобіжник ПКТ-103-10-100-12,5УЗ.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.4 - Вибір запобіжників.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	150 кВ
150 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	1000 А
4,76 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	63 кА
$8,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Запобіжник ПКТ-103-10-100-12,5УЗ відповідає всім умовам перевірки

Вибір трансформаторів власних потреб

Визначення потужності трансформаторів для власних потреб здійснюється враховуючи навантаження та враховуючи коефіцієнти завантаження та одночасності. Розрахункове навантаження обчислюється:

$$S_{розр} = K_{п} \cdot \sqrt{(P_{вст}^2 + Q_{вст}^2)},$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт попиту, який враховує коефіцієнти одночасності і завантаження, ($K_{п} = 0,8$).

Потужність трансформатора обирається відповідно виразу

$$S_{тр} \geq S_{розр}$$

Таблиця 6.5. Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		cos φ	tg φ	Навантаження	
	шт х кВт	всього, кВт			P _{вст} , кВт	Q _{вст} , кВт
Для охолодження трансформаторів	2 х 2,5	5	0,85	0,62	5,0	3,1
Для підігріву вимикачів	3 х 2,8	8,4	1	0	8,4	-
Підігрів комірок КРУ – 10 кВ	1х16	16	1	0	16	-
Освітлення, вентиляція приміщення КРУ	-	7	1	0	7	-
Навантаження, які споживають оперативні ланцюги	-	2	1	0	3	-
Всього:					32,4	3,1

Розрахункова потужність для споживачів власних потреб:

$$S_{\text{розр}} = K_c \cdot \sqrt{(P_{\text{вст}} + Q_{\text{вст}})} = 0,8 \sqrt{(32,2^2 + 3,1^2)} = 32,4 \text{ кВА}$$

Встановлюємо два трансформатори ТМ – 40/10.

При виході з роботи одного трансформатора, інший буде завантажений на $(32,4/40) \cdot 100 = 78,9 \%$.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

7 ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОМУ УСТАТКУВАННІ

Енергозбереження в ковальсько-пресовому устаткуванні за допомогою частотного регулювання електропривода може бути досить ефективним методом. Це може бути здійснене шляхом встановлення частотного приводу на електродвигунах, які керують пресами, кувальними верстатами та іншими елементами обладнання. Ось кілька способів, як це може сприяти енергозбереженню:

1. Оптимізація швидкості роботи. Частотне регулювання дозволяє точно контролювати швидкість обертання електродвигуна. Це означає, що ви можете підлаштовувати швидкість роботи обладнання під конкретні завдання, що може зменшити витрати енергії, особливо у випадках, коли потрібна менша потужність.

2. М'який пуск. Частотне регулювання дозволяє зберігати м'який пуск електродвигунів, що допомагає уникнути раптових перегрузок та зменшує струми пуску. Це може знизити споживання енергії та зберегти електродвигун від надмірного зносу.

3. Регенерація енергії. У деяких випадках, наприклад, коли преси або кувальні верстати працюють у режимі зниженої швидкості або зупинки, частотне регулювання може дозволити електродвигунам генерувати електроенергію назад у мережу (регенерація), замість розсіювання її у вигляді тепла.

4. Автоматичне вимикання. Частотні приводи можуть бути програмовані для автоматичного вимикання устаткування в моменти, коли вони не використовуються або працюють на мінімальних навантаженнях, що дозволяє уникнути зайвого споживання енергії.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання частотного регулювання електропривода у ковальсько-пресовому устаткуванні може значно зменшити споживання електроенергії та підвищити енергоефективність всього процесу виробництва.

7.1. Кривошипно-шатунний механізм ковальсько-пресового обладнання як частина електромеханічної системи

Механізм кривошипу та шатуна призначено для трансформації одноманітного обертового руху в прямолінійний нерівномірний рух. Цей механізм належить до категорії, де момент інерції J та момент статичного опору залежать від кута повороту ведучого валу, тобто $J=f(\alpha)$, $M_c=f(\alpha)$. Такі механізми також включають у себе ті, де центр ваги будь-якої ланки зміщується відносно центру обертання, або коли передатне число між двигуном та робочою машиною змінюється під час руху, наприклад, при використанні гідравлічних та електромагнітних муфт ковзання. У випадку використання кривошипно-шатунного механізму рівняння руху електромеханічної системи будуть мати наступний вид:

$$M_D - M_C(\alpha) = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}.$$

Розглянемо визначення моменту інерції кривошипно-шатунного механізму (КШМ) у функції кута обертання, позначеного як $J=f(\alpha)$, та визначення моменту статичного навантаження, позначеного як $M_c=f(\alpha)$, зведених до валу кривошипа (двигуна).

При визначенні моменту інерції можемо використовувати кінематичну схему, зображену на рис. 7.1.

Знаходження залежності $J=f(\alpha)$ може бути проведено як графоаналітичним методом з використанням плану швидкостей, так і аналітичним. Хоча аналітичний підхід є більш складним, він зручний і дозволяє швидко виконувати перерахунки при зміні вихідних даних. Крім

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

того, аналітичний метод є більш зручним для математичного моделювання електроприводів з кривошипно-шатунним механізмом.

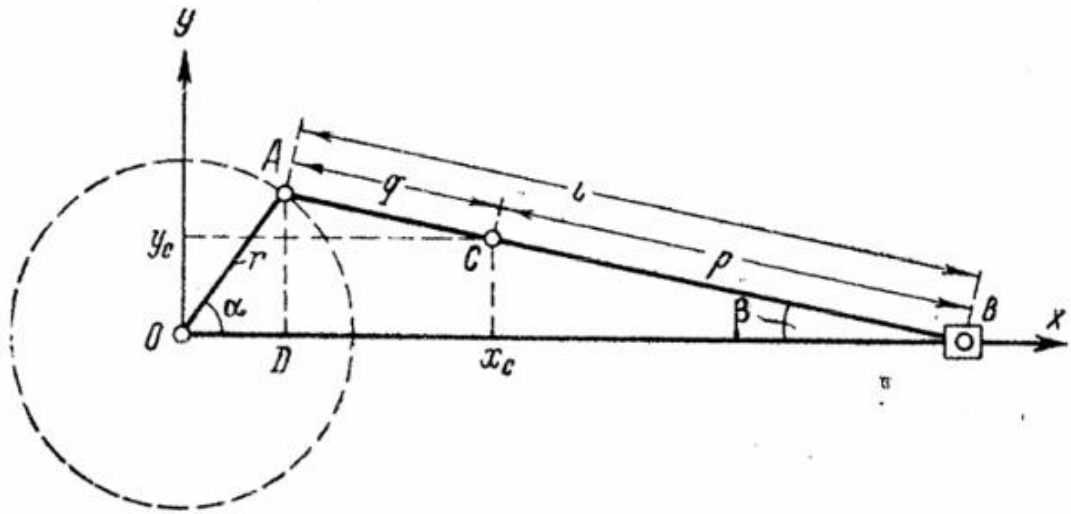


Рис. 7.1 - Схема кінематики кривошипно-шатунного механізму.

Різні частини наведеного механізму виконують різні види руху: кривошип (ланка OA) здійснює обертання навколо нерухомої вісі з центром у точці O, шатун (ланка AB) здійснює складний обертально-поступовий рух у площині, а повзун (ланка B) виконує поступально-зворотний лінійний рух.

Використаємо наступні позначення:

J_{O1} - момент інерції обертових частин, які обертаються навколо нерухомої вісі O (а саме кривошип, вал двигуна та ін.);

m_2 - вага шатуна AB;

J_{C2} - момент інерції шатуна відносно осьового центру його ваги C;

m_3 - вага частини, що рухається в зворотньо-поступовому напрямку (повзун, поршень та ін.);

r - довжина кривошипу;

l - довжина шатуна;

q - відстань від центру ваги шатуна до пальця кривошипа A;

α - кут поворота кривошипа;

β - кут між миттєвим напрямком шатуна AB та віссю x-в.

Місцезнаходження центру ваги C шатуна AB визначається відношенням q/l , яке встановлюється на основі аналізу розрахунків або результатів експериментальних досліджень.

Для визначення моменту інерції, зведеного до валу кривошипа для КШМ, наведеного на рис. 1, використовується загальна формула, що має вигляд:

$$J_{IP} = J_{O1} + m_2 \frac{v_C^2}{\omega_1^2} + m_2 \rho_{C2}^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} + m_3 \frac{v_B^2}{\omega_1^2},$$

де ω_1 – значення кутової швидкості обертання кривошипа;

ω_2 – значення кутової швидкості шатуна відносно точки C ;

v_C – значення лінійної швидкості центру ваги шатуна;

v_B – значення лінійної швидкості центру ваги повзуна;

ρ_{C2} – значення радіуса інерції шатуна (довжина від центру обертання на якій розташована зосереджена вага шатуна).

Розглянемо складові наведеної вище формули. Елемент J_{O1} визначає момент інерції частин, щодо його обертального руху.

В комплексній системі механізмів, таких як ковальсько-пресове устаткування, важливими елементами є вали, кривошипи та повзуни. Один з компонентів, позначений як $m_3 = \frac{v_B^2}{\omega_1^2}$, визначає спільний момент інерції масових об'єктів, що рухаються поступально. У складі ковальсько-пресового устаткування таким об'єктом є повзун. Щодо іншого елемента, який називається КШМ шатун, він виконує складний рух, що може бути розкладений на дві прості складові - обертальну та поступальну (лінійну).

Компонента $m_2 = \frac{v_C^2}{\omega_1^2}$ визначає зведений момент інерції шатуна як об'єкта, що рухається поступально, тоді як компонента $m_2 \rho_{C2}^2 = \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}$ визначає момент інерції як об'єкта, що рухається обертально.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для аналітичного розрахунку складових ω_2 , v_C , v_B , зазначених вище, введемо систему координат, де вісь x збігається з лінією руху повзуна B , вісь y проходить через ось обертання кривошипа, а початок координат знаходиться на вісі обертання кривошипа.

Координати точки C можна визначити таким чином:

$$x_C = r \cos(\alpha) + q \cos(\beta),$$

$$y_C = (l - q) \sin(\beta) = p \sin(\beta).$$

Якщо для трикутника OAB застосувати теорему синусів:

$$\frac{r}{\sin(\beta)} = \frac{l}{\sin(\alpha)},$$

то можна знайти значення $\sin(\beta)$ та $\cos(\beta)$:

$$\sin(\beta) = \frac{r}{l} \sin(\alpha),$$

$$\cos(\beta) = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)}.$$

Підставивши отримані вирази в попередні, отримаємо наступний вираз:

$$x_C = r \cos(\alpha) + q \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)},$$

$$y_C = (l - q) \sin(\beta) = p \frac{r}{l} \sin(\alpha).$$

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для знаходження проекцій лінійної швидкості точки С на вісі координатної системи спочатку потрібно диференціювати отримані вирази за часом.

Нехай v_{Cx} та v_{Cy} - проекції лінійної швидкості точки С на вісі x та y відповідно, тоді:

1. Для проекції на вісь x: $v_{Cx}=d_{xC}/dt$
2. Для проекції на вісь y: $v_{Cy}=d_{yC}/dt$

Далі можемо здійснити диференціювання виразів для координат точки С за часом і знайти відповідні проекції швидкості:

$$v_{Cx} = \frac{dx_C}{dt} = -r \sin(\alpha) \frac{d\alpha}{dt} - q \frac{\left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)}} \frac{d\alpha}{dt},$$

$$v_{Cy} = p \frac{r}{l} \cos(\alpha) \frac{d\alpha}{dt}.$$

По визначенню похідна від кута оберту за часом представляє собою швидкість обертання $d\alpha/dt = \omega_1$, а $\sin(\alpha) \cos(\alpha) = 1/2 \sin(2\alpha)$, тому вище отримані вирази набувають вигляду:

$$v_{Cx} = -r\omega_1 \left[\sin(\alpha) + \frac{1}{2} \frac{q}{l} \frac{\left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin(2\alpha)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)}} \right],$$

$$v_{Cy} = p\omega_1 \frac{r}{l} \cos(\alpha).$$

Розрахуємо швидкість точки С:

$$v_C = \sqrt{(v_{CX})^2 + (v_{CY})^2}.$$

З попередніх виразів можна знайти швидкість руху повзуна, враховуючи, що в них $q=1$, $p=0$:

$$v_B = v_{BX} = -r\omega_1 \left[\sin(\alpha) + \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{r}{l}\right) \sin(2\alpha)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)}} \right],$$

$$v_{BY} = 0.$$

Кутова швидкість шатуна АВ обчислюється наступним чином:

$$\omega_2 = \frac{\left(\frac{r}{l}\right) \cos(\alpha)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2(\alpha)}} \omega_1.$$

Отже, для обчислення зведеного моменту інерції КШМ необхідно врахувати всі складові, які входять до складу формули розрахунку. Подивимось на якісні графіки залежності цих складових (Рис.7.2):

1. Лінія 1 відображає постійну складову зведеного моменту інерції, яка відповідає елементам, що обертаються з постійною швидкістю, таким як кривошип, вал двигуна, редуктор і т. д.

2. Лінія 2 показує складову, обумовлену масою шатуна, що рухається поступово.

3. Лінія 3 представляє складову, яка характеризує обертання шатуна навколо центру ваги.

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Лінія 4 відображає складову, обумовлену поступово-зворотнім рухом повзуна.

5. Лінія 5 показує сумарну криву зведеного моменту інерції, яка є сумою всіх складових.

Аналіз цих рівнянь вказує на те, що значення складових зведеного моменту інерції КШМ суттєво залежить від геометричних розмірів КШМ.

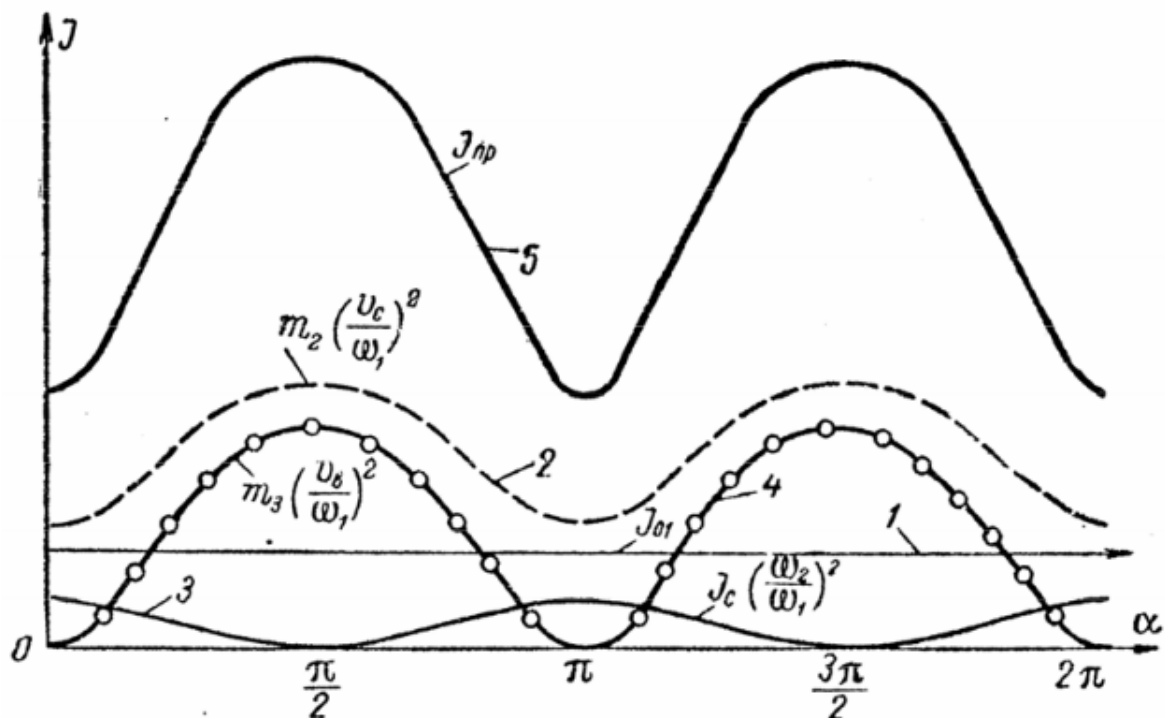


Рис.7.2 – Зведений момент інерції КШМ та його складових відносно кута повороту КШМ.

7.2. Характеристика електроприводу ковальського пресу

Для приведення головного вала преса в рух, зазвичай використовують асинхронні електродвигуни. При потужності до 75 кВт застосовують асинхронні короткозамкнені двигуни, а для більших потужностей - асинхронні з фазним ротором. Інші види двигунів малопоширені в цій сфері. При потужності більше 200 кВт і відсутності маховика можна

					Арк.
					59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

використовувати синхронні двигуни, що забезпечують постійну швидкість обертання при значних змінах статичного моменту. Також у сучасних розробках можуть бути використані синхронні двигуни з постійним магнітним збудженням і прямим зв'язком валу з головним валом пресу.

Характерною особливістю ковальських пресів з ковальсько-пресовим устаткуванням є різка зміна навантаження. Величина цього навантаження може перевищувати критичний момент у декілька разів або навіть десятки разів. Проте тривалість цього навантаження досить коротка - від дольових секунд до 1-2 секунд. Це відбувається лише протягом невеликого кута обертання вала кривошипа - до 60 градусів. Момент змінюється відповідно до гармонійного закону, як описано раніше.

Для того, щоб уникнути зупинки двигуна преса протягом такого короткого проміжку часу, зазвичай встановлюють додатковий маховик. Це дозволяє збільшити запас кінетичної енергії, яка витрачається на підтримання швидкості під час навантаження.

Оскільки прес використовує ковальсько-пресове устаткування, частина зведеного до валу двигуна моменту інерції змінюється відповідно до вищезазначеного матеріалу. Проте порівняно з повним моментом інерції, який в основному формується маховиком, ця частина досить невелика і становить 5-10 % від загального значення. Тому при розрахунках зведений момент інерції вважають сталим значенням.

Робота електропривода преса з ковальсько-пресовим устаткуванням може бути розділена на три етапи:

- розгін електродвигуна з маховиком до досягнення номінальної швидкості на холостому ході. Навантаженням на цьому етапі є момент сил тертя;
- робота на холостому ході з установленою швидкістю;
- відпрацювання імпульсу навантаження.

Процес пуску привода є тривалим через великий момент інерції. Для більшості пресів з ковальсько-пресовим устаткуванням момент інерції

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маховика зведений до валу двигуна виявляється набагато більшим за момент інерції самого двигуна - в 20-70 разів. Це призводить до великої втрати енергії у вигляді тепла при пуску, що може призвести до перегріву і поломки двигуна. Фактичний час розгону повинен бути обмежений до 8-10 с для асинхронних короткозамкнених двигунів звичайної серії та 15-18 с для двигунів з підвищеним ковзанням.

Після розгону або відпрацювання навантаження привід переходить у режим холостого ходу, де двигун навантажений лише силами тертя.

Під час відпрацювання навантаження спостерігається зниження швидкості обертання двигуна і маховика, причому частина енергії маховика використовується для збереження швидкості обертання. При розробці пресів та визначенні розмірів маховика враховують середнє падіння швидкості на рівні 15-20% від номінальної. Розподіл навантаження між двигуном і маховиком під час удару залежить від механічної характеристики двигуна. Асинхронні короткозамкнені двигуни з підвищеним ковзанням або асинхронні двигуни з фазним ротором мають відносно м'яку характеристику. У випадку останніх необхідне ковзання може бути налаштоване шляхом введення додаткового опору в роторі до необхідного рівня.

Зниження швидкості під час накиду навантаження повинно бути достатнім для передачі маховику енергії для виконання роботи, при цьому двигун не повинен перевантажуватися при зниженій швидкості обертання. У той же час, двигун повинен здати розвивати достатній момент для розгону і накопичення енергії маховиком. Саме для таких умов підходять асинхронні двигуни з підвищеним ковзанням, де критичне ковзання може досягати більше 50%.

Під час досліджень встановлено, що накопичення та віддача кінетичної енергії на початкових етапах відбувається дуже інтенсивно. Наприклад, при зниженні швидкості на 10% від номінальної, маховик віддає 19% свого запасу енергії, а при зниженні на половину майже 75% енергії. На практиці

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

намагаються уникати падіння швидкості двигуна та маховика більше, ніж на 20-25%.

7.3. Електромеханічні процеси в електроприводі ковальського пресу

Як зазначено в попередньому розділі, роботу електропривода пресу з ковальсько-пресовим устаткуванням можна розділити на три етапи: розгін електродвигуна з маховиком до досягнення номінальної швидкості на холостому ході; робота на холостому ході з фіксованою швидкістю; відпрацювання імпульсу навантаження. Розглянемо визначення втрат енергії електропривода під час його роботи в режимі безпосереднього живлення від мережі та від перетворювача частоти. У таких умовах втрати енергії в електроприводі можна описати наступним чином. Втрати енергії під час розгону асинхронного нерегульованого електропривода з короткозамкненим ротором від нульової швидкості до певної швидкості ω визначаються як:

$$\Delta A_P = J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} + J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} \frac{R_1}{R_2'},$$

де J_{Σ} - загальний момент інерції, зведений до валу електропривода;

R_1 – опір обмоток статора електродвигуна,

R_2' – зведений опір обмоток ротора.

В приведеному виразі складова $J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2}$ представляє собою втрати енергії в роторі, а складова $J_{\Sigma} \frac{\omega^2}{2} \frac{R_1}{R_2'}$ – втратами енергії в статорі.

Для регульованого електроприводу з використанням перетворювача частоти (ПЧ), втрати енергії можуть бути визначені наступним чином:

$$T_M = J_{\Sigma} \frac{\omega_H s_H}{M_H},$$

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де s_H – значення номінального ковзання двигуна; M_H – значення номінального моменту; ω_H – значення номінальної швидкості двигуна.

Як видно з вищезазначених формул, за допомогою перетворювача частоти можна значно знизити втрати електропривода під час пуску. Враховуючи, що під час інтенсивної роботи пресу розгін стає нечастим, а час розгону майже не впливає на загальну тривалість роботи, можна трохи збільшити час пуску.

Втрати потужності та енергії у статорі та роторі трифазного асинхронного двигуна можна також визначити за допомогою струмів у статорі та роторі:

втрати потужності:

$$\Delta P = 3I_2'^2 R_2' + 3I_1^2 R_1 = M\omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right);$$

де I_1, I_2' – значення струмів статора та зведеного струму ротора;

M – момент двигуна при ковзанні s , що відповідає даному моменту;

ω_0 – значення швидкості ідеального холостого ходу електродвигуна.

втрати енергії:

$$\Delta A = \int_0^t (3I_2'^2 R_2' + 3I_1^2 R_1) dt = \int_0^t M\omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) dt,$$

де t – інтервал дії навантаження.

Аналіз наведених формул свідчить, що для зменшення втрат при збільшенні навантаження необхідно зберігати ковзання на постійному рівні. У такому випадку втрати будуть залежати лише від моменту навантаження.

При безпосередньому живленні двигуна від мережі і при накиді навантаження швидкість ідеального холостого ходу залишається сталою, оскільки частота напруги мережі залишається незмінною. Але швидкість

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ротора зменшується під впливом навантаження, що призводить до збільшення ковзання і втрат.

Якщо для живлення двигуна використовується перетворювач частоти, то під час накиду навантаження можна зменшувати вихідну частоту живлячої напруги, щоб зберегти ковзання на постійному рівні. Таким чином, різниця між швидкістю ідеального холостого ходу та швидкістю ротора буде залишатися постійною.

7.4. Система частотного керування швидкістю електропривода ковальського пресу

Частотне регулювання електроприводу в ковальсько-пресовому устаткуванні - це технологія, що використовується для контролю швидкості обертання електродвигуна, який приводить в рух прес або інше устаткування для ковки. Ця технологія дає змогу ефективно керувати швидкістю та потужністю приводу залежно від потреби, що забезпечує оптимальний режим роботи преса.

Основні переваги частотного регулювання включають:

1. Енергоефективність. Частотні приводи дозволяють ефективно використовувати електроенергію, так як можуть регулювати швидкість роботи приводу в залежності від навантаження.
2. Гнучкість. Частотні приводи надають можливість легко змінювати швидкість роботи устаткування, що важливо для оптимізації процесів виробництва.
3. Зменшення зносу. Плавне запускання та зупинка електродвигуна за допомогою частотного приводу може зменшити знос механізмів та продовжити їхнє термін служби.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Точне керування. Частотне регулювання дозволяє точно керувати швидкістю руху приводу, що особливо важливо для деяких технологій, наприклад, при обробці різних матеріалів або формуванні виробів.

У ковальському виробництві це може бути особливо корисно, оскільки кожний ковальський етап може вимагати різної швидкості та потужності. Таке регулювання дозволяє оптимізувати процеси ковки з мінімальними витратами енергії та зносу обладнання.

Виходячі з дослідження електромеханічних процесів електроприводу, можна виявити такі характеристики системи керування електроприводом пресу:

- плавне регулювання швидкості під час пуску електроприводу;
- підтримання сталого ковзання під час виконання технологічної операції (пресування).

На рисунку 7.3 показано функціональну схему частотно керованого електропривода, яка втілює ці вимоги. Розглянемо, як це реалізується.

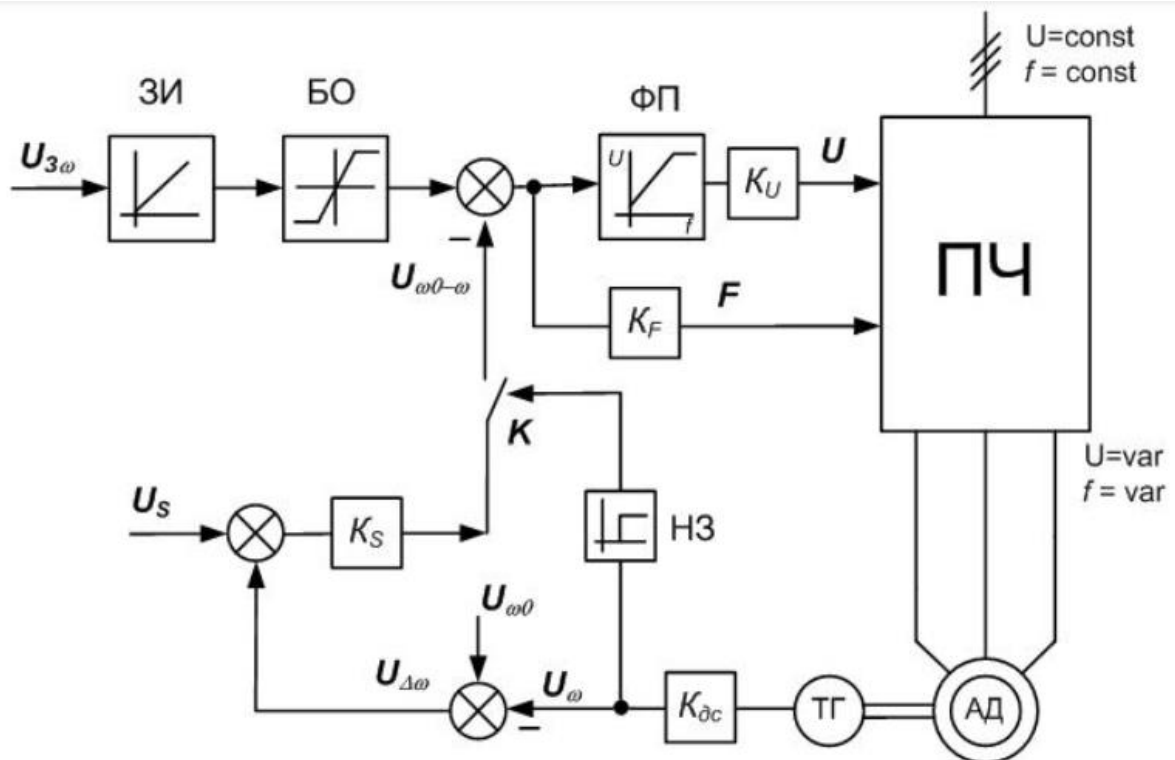


Рисунок 7.3 – Функціональна схема асинхронного електроприводу ковальського пресу з частотним керуванням швидкості.

					Арк.
					65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У випадках, коли момент навантаження пресу залишається сталим протягом технологічної операції, незалежно від швидкості обертання, використовується закон частотного керування $\text{const } U/f = (\text{при } M_C = \text{const})$ для регулювання швидкості. Для плавного змінення вихідної частоти та напруги використовується датчик інтенсивності ЗІ, вихід якого обмежується блоком обмеження БО. Вихідний сигнал датчика інтенсивності подається в канали завдання напруги та частоти для перетворювача. Сигнал завдання перетворюється в сигнал напруги за допомогою функціонального перетворювача ФП та коефіцієнта підсилення K_U . По суті, ФП відтворює залежність напруги на виході перетворювача від заданої частоти F . Канал завдання частоти складається лише з пропорційного коефіцієнта, що визначає зв'язок між максимальним сигналом завдання та максимальною вихідною частотою.

Підтримка постійного ковзання потрібна лише під час штампування під час роботи пресу; в інших режимах це не потрібно. Тому в запропонованій схемі виконано керування вводом каналу керування ковзанням. Підключення відбувається через ключ K , який керує нелінійною ланкою НЗ. Вихід НЗ встановлюється в одиницю після закінчення розгону у функції швидкості двигуна. Канал підтримки ковзання працює так: розраховується фактичне значення ковзання (сигнали напруги, пропорційні фактичному ковзанню):

$$U_{\Delta W} = U_{W0} - U_W ,$$

де $U_{\Delta W}$ – напруга, що пропорційна ковзанню, U_{W0} – напруга, що пропорційна синхронній швидкості обертання, U_W – напруга, що пропорційна фактичній швидкості обертання.

Напруга, яка пропорційна ковзанню $U_{\Delta W}$, порівнюється з напругою, що пропорційна заданому ковзанню U_S . Різниця помножена на коефіцієнт датчика зворотного зв'язку за ковзанням K_S . Вихід датчика ковзання, коли ключ K замкнутий, порівнюється з сигналом завдання на напругу та частоту, і різниця подається як саме сигнал завдання.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.5. Дослідження законів частотного керування електроприводом ковальського пресу на прикладі математичної моделі

Для дослідження робочих режимів електроприводу з ковзанням можна використати математичну модель у середовищі Simulink, що належить пакету MATLAB. Ця модель включатиме в себе не лише математичні аспекти самого двигуна, а й всі додаткові елементи, такі як навантаження, перетворювач, датчики і т. д.

Модель асинхронного короткозамкненого двигуна (АД) для досліджень при частотному керуванні можна побудувати, використовуючи рівняння, які описують роботу АД у системі координат xu . У цій системі вісь x є дійсною, а вісь u - уявною, з вектором напруги статора, що обертається зі синхронною швидкістю. Враховуючи цю конфігурацію, роботу АД можна адекватно моделювати, використовуючи комплексну прямокутну систему координат, де вісь x представляє дійсну частину, а вісь u - уявну, відстає на 90° від вісі x .

Вихідні рівняння для побудови моделі представлені у наступному вигляді:

$$\bar{U}_s = \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

$$\bar{U}_r = \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega Z)\bar{\Psi}_r.$$

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m,$$

$$\bar{\Psi}_r = \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r,$$

де $\bar{U}_s$, $\bar{I}_s$, $\bar{\Psi}_s$ - узагальнені вектори значень напруги, струму та потокозчеплення статора; $\bar{U}_r$, $\bar{I}_r$, $\bar{\Psi}_r$ - узагальнені вектори значень напруги,

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	67

струму та потокозчеплення ротора; R_s, R_r , – значення активних опорів статора і ротора; ω_c – швидкість оберту системи координат; ω – механічна швидкість оберту ротора; L_s, L_r, L_m – значення індуктивності статора, ротора та відповідно взаємна індуктивність статора и ротора; $j = \sqrt{-1}$, Z – кількість пар полюсів.

Струми статора і ротора визначаються з рівнянь потокозчеплення.

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{\Psi}_s - \bar{I}_r L_m}{L_s},$$

$$\bar{I}_r = \frac{\bar{\Psi}_r - \bar{I}_s L_m}{L_r},$$

Після взаємної підстановки:

$$\bar{I}_s = \frac{1}{L_s} \left(\bar{\Psi}_s - L_m \left[\frac{\bar{\Psi}_r - \bar{I}_s L_m}{L_r} \right] \right)$$

Помножимо частини рівняння на L_r і отримаємо вираз наступного вигляду:

$$\bar{I}_s = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m)$$

Аналогічно знаходимо струм ротора:

$$\bar{I}_r = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m)$$

Підставляючи отримані рівняння струму в попередні два рівняння системи, отримуємо:

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{U}_s = R_s \left[\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m) \right] + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

$$\bar{U}_r = R_r \left[\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m) \right] + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega Z) \bar{\Psi}_r.$$

Замінивши $ds/dt \rightarrow p$, та попередньо записавши рівняння в формі Каші, отримуємо:

$$\bar{\Psi}_s = \frac{1}{p} \left[\bar{U}_s - R_s \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m) \right) - j\omega_c \bar{\Psi}_s \right],$$

$$\bar{\Psi}_r = \frac{1}{p} \left[\bar{U}_r - R_r \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m) \right) - j(\omega_c - \omega Z) \bar{\Psi}_r \right].$$

Векторні рівняння розкладаються за проекціями на осі x-y:

$$\Psi_{sx} = \frac{1}{p} \left[U_{sx} - R_s \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sx} L_r - \Psi_{rx} L_m) \right) + \omega_c \Psi_{sy} \right]$$

$$\Psi_{sy} = \frac{1}{p} \left[U_{sy} - R_s \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sy} L_r - \bar{\Psi}_{ry} L_m) \right) - \omega_c \Psi_{sx} \right]$$

$$\Psi_{rx} = \frac{1}{p} \left[U_{rx} - R_r \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{rx} L_s - \Psi_{sx} L_m) \right) + j(\omega_c - \omega Z) \Psi_{ry} \right]$$

$$\Psi_{ry} = \frac{1}{p} \left[U_{ry} - R_r \left(\frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{ry} L_s - \Psi_{sy} L_m) \right) - j(\omega_c - \omega Z) \Psi_{rx} \right]$$

Отримані вирази враховують електромагнітні процеси, що відбуваються в статорі і роторі. Для більш повного опису додамо рівняння, які описують момент і механічний рух:

$$M = \frac{3}{2} Z \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sy} \Psi_{rx} - \Psi_{ry} \Psi_{sx})$$

$$M - Mc = J \frac{d\omega}{dt}$$

На рисунку 7.4 зображено структурну схему моделі асинхронного двигуна для частотного керування при живленні від джерела напруги, яка побудована за наведеними рівняннями.

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою:

$$M_n = \frac{9,55 \cdot P_n}{n_0 \cdot (1 - s_n)},$$

де P_n – значення номінальної потужності електродвигуна; Вт; n_0 – значення синхронної швидкості поля статора, об/хв; s_n – значення номінального ковзання електродвигуна.

Величина номінального фазного струму статора визначається наступним чином:

$$I_{\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi n} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n},$$

де $U_{\phi n}$ – величина номінальної фазної напруги електродвигуна; В; η_n – значення номінального ККД електродвигуна; $\cos \varphi_n$ – значення номінального коефіцієнта потужності електродвигуна.

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

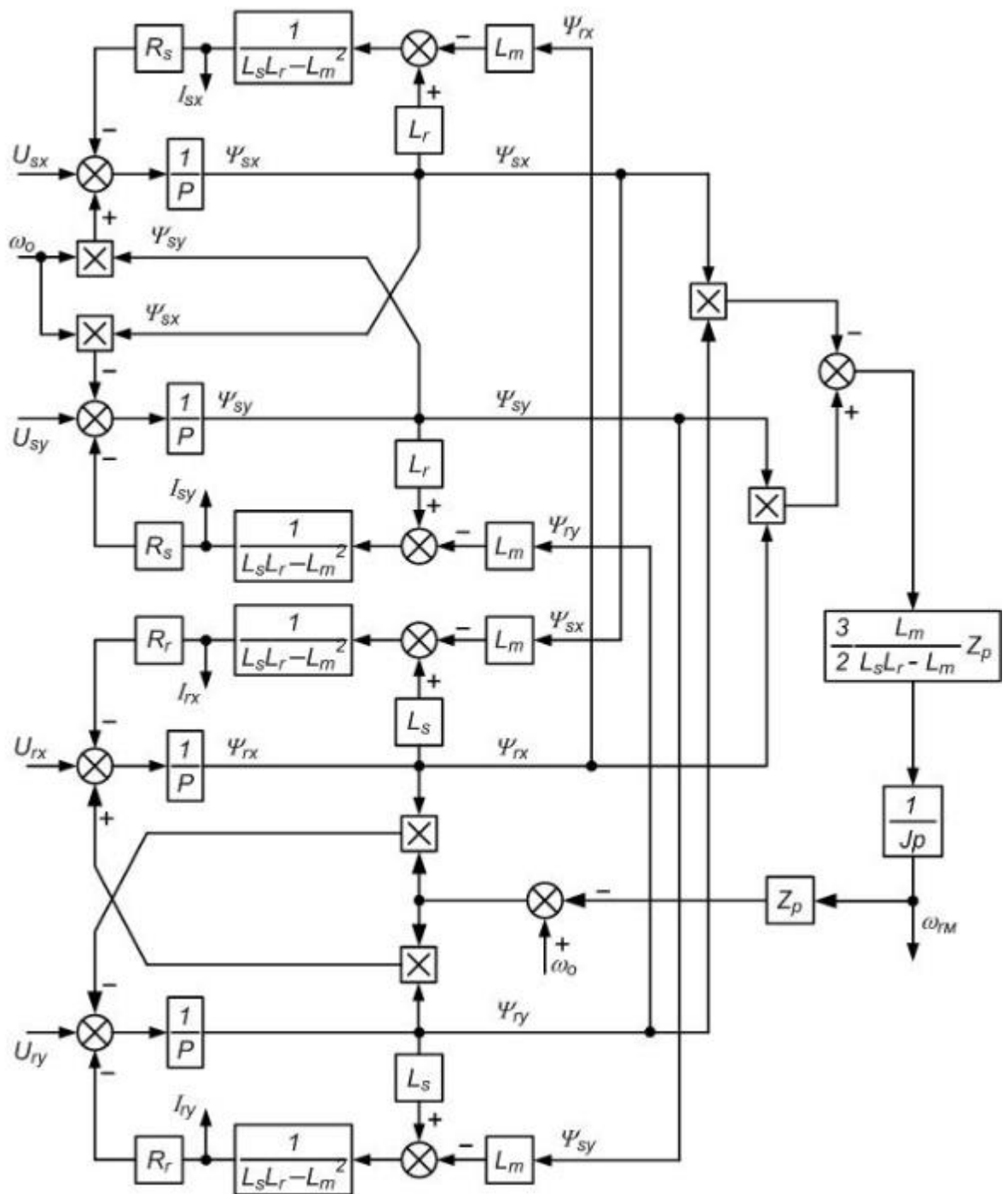


Рисунок 7.4 - Структурна схема асинхронного електродвигуна в системі координат х-у, яка орієнтована за вектором напруги статора.

Величина номінального потокозчеплення електродвигуна:

$$\Psi_H = \frac{M_H}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\phi H} \cdot Z_p \cdot K_r}.$$

7.6. Рекомендації щодо застосування закону частотного керування

Розглянемо застосування законів частотного керування у різних режимах роботи, зокрема, під час розгону та у режимі роботи при встановленій швидкості.

Під час розгону можна використати лінійну залежність $U/f = U_H/f_H = \text{const}$ (лінія OD на Рисунок 7.5) для плавного збільшення моменту двигуна та його поступового розгону. Проте для ефективнішого пуску та установки швидкості після навантаження рекомендується використати ламану лінію ABCD для залежності U/f . Це дозволить впливати на процес розгону на різних етапах (ділянках) за рахунок зміни коефіцієнта співвідношення. Наприклад, на ділянці АВ коефіцієнт U/f обирають таким, щоб струм при пуску був менше номінального, а намагнічування двигуна короткочасно.

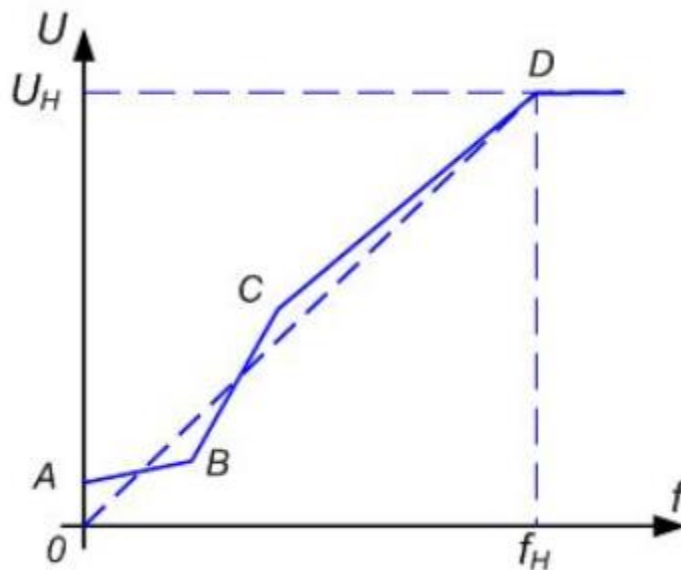


Рисунок 7.5. - Представлення закону частотного керування.

Крива BC впливатиме на формування максимального моменту під час розгону та на коливання цього моменту при досягненні максимального значення. Важливо, щоб формування необхідного моменту під час початку пуску було належним, особливо при руханні та розгоні махових мас. Інтервал CD може співпадати зі стандартною залежністю U/f , але при накиді

навантаження і використанні системи стабілізації ковзання положення точки С вище лінії 0D дозволить сформувати більше початкове значення струму і, відповідно, моменту для відновлення швидкості.

Можливість використання нестандартної залежності U/f реалізована в багатьох комплектних частотних перетворювачах, таких як ПЧ серії АЛТИВАР. Однак вибір необхідної кривої повинен здійснюватись прямо на об'єкті. При налаштуванні ланки стабілізації ковзання слід пам'ятати, що надто малий коефіцієнт зворотного зв'язку знижує ефективність роботи системи. Занадто великий коефіцієнт може призвести до того, що на деякому етапі частота живучої напруги стане менше частоти обертання. Це призведе до переходу машини у режим гальмування, і падіння швидкості при накиді навантаження буде більшим. Рекомендований діапазон зміни коефіцієнта - від 0,1 до 0,2.

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні було проведено проектування системи живлення та енергозбереження в ковальсько-пресовому виробництві заводу сільськогосподарського машинобудування.

Електричні навантаження для кожного цеху були розраховані за допомогою методу впорядкованих діаграм. Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ центральної розподільної підстанції склало 5,9 МВт та 6 Мвар.

При побудові графіків електричних навантажень використовувалися стандартні діаграми. Рік був поділений на зимовий та літній періоди, з урахуванням робочих і вихідних днів в обох сезонах.

При розгляді варіантів внутрішнього електропостачання виробництва було враховано наступне:

1) Електропостачання забезпечується від ГПП машинобудівного заводу через КЛ завдовжки 0,25 км із номінальною напругою 10 кВ. На території КПВ будується центральна розподільна підстанція (ЦРП), де застосовується радіальна схема розподілу електроенергії з глухим приєднанням КЛ до трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП).

2) Електропостачання також здійснюється від ГПП машинобудівного заводу через КЛ завдовжки 0,25 км із номінальною напругою 10 кВ. На території КПВ будується ЦРП, але застосовується змішана схема. Трансформатори приєднуються до КЛ через запобіжник і вимикач навантаження, що дозволяє мінімізувати витрати та час при перспективному розширенні мережі.

На основі техніко-економічних розрахунків був прийнятий варіант №2.

Після аналізу режимів реактивної потужності було визначено доцільність встановлення компенсуючого устаткування (КУ) з наступними параметрами: для мережі 10 кВ - серія УКРМ-10-450У3 з номінальною

						Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напругою 10 кВ, та для мережі 0,4 кВ - моделі УКРМ-0,4-400-1-10 та УКРМ-0,4-600-1-12.

Розрахунок струмів короткого замикання у мережі 10 кВ був проведений у відносних базисних одиницях. На основі отриманих результатів було здійснено вибір високовольтного електрообладнання.

У спеціальному розділі роботи розглянуто частотне регулювання електроприводу в ковальсько-пресовому устаткуванні. Детально розглянуто кривошипно-шатунний механізм ковальсько-пресового обладнання як частину електромеханічної системи, для чого було проаналізовано електромеханічні процеси в електроприводі ковальського пресу.

Розроблена система частотного керування швидкістю електропривода ковальського пресу може бути використана для контролю швидкості обертання електродвигуна, який приводить в рух прес або інше устаткування для ковки. Ця технологія дає змогу ефективно керувати швидкістю та потужністю приводу залежно від потреби, що забезпечує оптимальний режим роботи преса

У цілому робота виконана у відповідності до інженерно-технічних та техніко-економічних вимог.

						Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

2. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

3. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

4. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

5. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – 287 с. ISBN 978-966-402-076-0

6. Збірник завдань та методичні вказівки до курсового проектування по курсу “Електротехнічні комплекси та системи електроспоживання” : для здобувачів освіти II рівня спец. 141 “Електротехнічні системи електроспоживання” / [уклад.: П. Г. Плешков, І. В. Савеленко, А. І. Котиш, Н. Ю. Гарасьова] ; М-во освіти і науки України ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. електротехн. систем та енергетичного менеджменту. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 135 с.

7. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

„Електропостачання промислових підприємств (Електропостачання заводу).

П.Г. Плешков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович. Кіровоград: КНТУ, 2004 р.

8. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 2003. – 225 с.

9. Сучасне ковальсько-пресове обладнання: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090206, 7.090404. – Краматорськ: ДДМА, 2008.– Ч.1. – 56с.

10. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 227 с.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.А1 Розрахунок навантаження на шини 0.4 кВ

[illegible]

№ док-м.

Продовження Табл.А1																
№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _ε	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _М	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ	P _{CM}					Q _{CM}	P _P			Q _P	S _P	
	Адміністративний корпус															
16	Оргтехніка	22	0,3	0,5	4,4	<3	0,8	0,45	1,985	3,52	6,99					
17	Кондиціонери	10	1,8	2,5	14	<3	0,6	0,7	1,02	8,40	8,57					
18	Теплові насоси	5	2	3	14	<3	0,6	0,35	2,676	8,40	22,48					
19	Холодильники	4	3	3	12	<3	0,6	0,805	0,737	7,20	5,31					
	Всього	41	0,3	3	44,4	>3	0,62	0,54	1,57	27,52	43,34	30	1,14	31,47	43,34	53,56
	Склад штампів															
20	Підйомники	2	4	4	8	<3	0,1	0,5	1,732	0,80	1,39					
21	Насоси	3	5,5	5,5	17	<3	0,7	0,8	0,75	11,90	8,93					
22	Кран ТВ=25%	1	4	4	4	<3	0,6	0,9	0,484	2,40	1,16					
23	Мийна машина	2	2,5	2,5	5	<3	0,6	0,8	0,75	3,00	2,25					
	Всього	8	2,5	5,5	34	<3	0,53	0,80	0,76	18,10	13,72	8	1,40	25,33	15,10	29,48
	Гарячий цех КПВ															
24	Вальці	8	1,7	15	94	>3	0,2	0,65	1,169	18,80	21,98					
25	Електропіч опору	6	100	210	1100	<3	0,5	0,85	0,62	550,00	340,86					
26	Вентилятори	28	2,2	15	380	>3	0,65	0,8	0,75	247,00	185,25					
27	Камерна мазутна піч	5	11	11	55	>3	0,5	0,85	0,62	27,50	17,04					
28	Крани ТВ=40%	8	1,4	11	74,5	>3	0,1	0,5	1,732	7,45	12,90					
29	Молоти	40	18	71	1974	>3	0,2	0,65	1,169	394,80	461,57					
30	Преси	40	22	75	1820	>3	0,19	0,65	1,169	345,80	404,28					
	Всього	135	1,4	30	5497,5	>3	0,29	0,74	0,91	1591,35	1443,89	135	1,14	1821,58	1443,89	2324,43

80

Продовження Табл.А1

[illegible]

№ док.м.

Продовження Табл.А1																
№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	Відділення ЕМПЧ															
44	Апаратура керування	8	1	1	7	<3	0,7	0,8	0,75	4,90	3,68					
45	Вентилятори	10	1,5	7,5	32,7	>3	0,65	0,8	0,75	21,26	15,94					
46	Двигун-генератори	8	132	160	1124	<3	0,7	0,8	0,75	786,80	590,10					
47	Насоси	8	4	4	28	<3	0,7	0,8	0,75	19,60	14,70					
	Всього	34	1	160	1191,7	>3	0,70	0,80	0,75	832,56	624,42	15	1,16	965,37	624,42	1149,71
	Склад металу															
48	Кран мостовий ТВ=25%	2	15	18	33	<3	0,05	0,5	1,732	1,65	2,86					
49	Ножниці кривошипні	4	10	20	60	<3	0,17	0,65	1,169	10,20	11,93					
50	Кондиціонери	3	1,8	2,5	6	<3	0,4	0,7	1,02	2,40	2,45					
	Всього	9	1,8	20	99	>3	0,14	0,64	1,21	14,25	17,23	9	2,11	30,05	18,95	35,53
	Всього по ков-прес відділ.															
	по напрузі 0,4 кВ													5829,81	4305,71	7247,47

82

Таблиця А.2. Розрахунок освітлювального навантаження.										
№ п/п	Найменування підрозділу	F, м ²	P ₀ , кВт/м ²	P _y , кВт	tg	Q _y , кВар	K _C	P _p , кВт	Q _p , кВр	S _p ,кВа
1	Заготівельний цех	10080	23	231,8	1,16	268,9	0,95	220,248	255,4877	337,32
2	Склад штампів	750	12	9,0	0,9	8,1	0,8	7,2	6,48	9,69
3	Ремонтно-механічний цех	2160	18	38,9	1,42	55,2	0,85	33,048	46,92816	57,40
4	Адмінкорпус	12680	22	279,0	0,8	223,2	0,8	223,168	178,5344	285,79
5	Гарячий цех КПВ	7150	18	128,7	0,92	118,4	0,95	122,265	112,4838	166,14
6	Побутове приміщення	540	20	10,8	0,7	7,6	0,8	8,64	6,048	10,55
7	Відділення шихтне	2700	19	51,3	1,35	69,3	0,95	48,735	65,79225	81,88
8	Відділення ЕМПЧ	600	15	9,0	0,75	6,8	0,85	7,65	5,7375	9,56
9	Склад металу	2500	5	12,5	1,25	15,6	0,6	7,5	9,375	12,01
10	Освітлення території	34080	0,3	10,2	1	10,2	1	10,224	10,224	14,46
		73240		781,2		783,2		688,7	697,1	979,9046

Табл.А3. Розрахунок навантаження по підстанціям

[illegible]

Продовження Табл.А3

[illegible]

№ п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _е	K _М	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{сМ}	Q _{сМ}			P _Р	Q _Р	S _Р	
7	Відділення шихтне															