

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. академіка Гулого І.С.
Кафедра енергоменеджменту та електропостачання

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій БАЛЮТА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2023р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: Розробка СЕП Херсонського заводу по ремонту сільгосп обладнання.
Інформаційна система інтеграції джерел електроенергії малої потужності та накопичувачів.

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ4-3

_____ Галанзовський Сергій Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник к.т.н., доцент Бориченко О.В. _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Сірик А.О. _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) _____ (підпис)

Рецензент Грищенко А.Г. _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2023_р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) **ННІТІ ім. академіка Гулого І.С.**

Кафедра **енергоменеджменту та електропостачання**

Освітній ступінь **Бакалавр** _____

Спеціальність **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**
(код і назва)

Освітньо-професійна програма **«Електротехніка та інформаційні технології»**
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій БАЛЮТА

“ _____ ” _____ **2023 року**

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Галанзовський Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розробка СЕП Херсонського заводу по ремонту сільгосп обладнання. Інформаційна система інтеграції джерел електроенергії малої потужності та накопичувачів.**

керівник роботи к.т.н., доцент Бориченко О.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “14” 04. 2023 року № 233- кс

2. Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Генеральний план підприємства, план розбудови підприємства, кількість і потужність існуючих електроспоживачів, кількість споживачів, що мають бути приєднаними.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **Вибір головної понижувальної підстанції, розрахунок потужності цехових підстанцій, розрахунок струмоведучих елементів, вибір вимикачів та роз'єднувачів, розрахунок струмів КЗ, розгляд питань з охорони праці, розгляд спецпитання .**

5. Перелік графічного матеріалу

1. Генеральний план з картограмою навантажень.
2. Схема електропостачання підприємства.
3. Схема високовольтної підстанції **(ГПН-110)**

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	К.т.н., доцент Сірик А.О.		

7. Дата видачі завдання __ 15 квітня 2023 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання і умов проектування	17.04.23 р.	
2	Визначення електричних навантажень.	20.04.23 р.	
3	Розрахунок навантажень напругою 10 кВ.	24.04.23 р.	
4	Визначення центру електричних навантажень.	28.04.23 р.	
5	Вибір зовнішнього електропостачання.	30.04.23 р.	
6	Визначення потужності ГПП.	03.05.23 р.	
7	Вибір внутрішнього електропостачання.	07.05.23 р.	
8	Вибір кількості і потужності компенсуючих пристроїв	09.05.23 р.	
9	Вибір перерізів і марок струмоведучих елементів	12.05.23 р.	
10	Розрахунок струмів КЗ.	15.05.23 р.	
11	Вибір електричних апаратів.	19.05.23 р.	
12	Розробка питань з охорони праці.	22.05.23 р.	
13	Розробка індивідуального завдання.	27.05.23 р.	
14	Здача роботи на перевірку.	30.05.23 р.	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Галанзовський С.С.
(прізвище та ініціали)

Бориченко О.В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Галанзовський Сергій Сергійович. Дипломний проект на тему :
« Розробка СЕП Херсонського заводу по ремонту сільгосп
обладнання. Інформаційна система інтеграції джерел електроенергії
малої потужності та накопичувачів.»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2023
141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 6 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 117 сторінок .

У даному дипломному проекті розглядаються питання та розв'язуються актуальні завдання, пов'язані з розробкою системи електропостачання для Херсонського заводу по ремонту сільгоспобладнання. Проект має на меті покращення надійності, ефективності та безпеки електропостачання цього заводу.

Основні аспекти, що розглядаються в рамках проекту:

Аналіз поточного стану електропостачання заводу, виявлення недоліків та слабких місць.

Розрахунок електричних навантажень, вибір оптимальної потужності та розподілу електричного струму для відповідної обладнання.

Проектування СЕП, включаючи вибір трансформаторів, генераторів, розподільчих панелей та інших необхідних компонентів.

Вибір оптимальних напруг живлення та розподільчих мереж з урахуванням потреб заводу.

Розробка системи автоматизації та контролю електропостачання для забезпечення надійності та ефективності роботи.

Застосування заходів з охорони праці та безпеки електропостачання, включаючи заземлення, захисні пристрої та надійність ізоляції.

Дипломний проект також враховує специфіку ремонту сільгоспобладнання та його вимоги до електропостачання. Розробка системи електропостачання спрямована на забезпечення безперебійного та надійного живлення обладнання, що дозволить забезпечити ефективну та безперебійну роботу заводу.

Ключові слова: СЕП; ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ; НАВАНТАЖЕННЯ;
СІЛЬГОСПОБЛАДНАННЯ; АВТОМАТИЗАЦІЯ

Annotation

Halanzovskyi Serhii Serhiiiovych. Diploma project on the topic:
« Development of SEP of Kherson plant for repair of agricultural equipment.
Information system for integration of low-power power sources and storages.»

National University of Food Technologies, Kiev -2023
141. "Electric power engineering, electrical engineering and
electromechanics"

The added explanatory note consists of an introduction, 6 sections and a list of used literature. The project is 117 pages .

This thesis project considers issues and solves urgent tasks related to the development of a power supply system for the Kherson Agricultural Equipment Repair Plant. The project aims to improve the reliability, efficiency and safety of the power supply to this plant.

Key aspects of the project:

Analyzing the current state of the plant's power supply, identifying shortcomings and weaknesses.

Calculation of electrical loads, selection of the optimal power and distribution of electric current for the relevant equipment.

Designing of the EPS, including selection of transformers, generators, distribution panels and other necessary components.

Selection of optimal supply voltages and distribution networks based on the plant's needs.

Development of a power supply automation and control system to ensure reliability and efficiency.

Application of health and safety measures for power supply, including grounding, protective devices and insulation reliability.

The diploma project also takes into account the specifics of agricultural equipment repair and its power supply requirements. The development of the power supply system is aimed at ensuring uninterrupted and reliable power supply to the equipment, which will ensure efficient and uninterrupted operation of the plant.

Keywords: SEPTIC TANK; POWER SUPPLY; AGRICULTURAL EQUIPMENT; LOAD; AUTOMATION

Зміст

Вступ.....	7
1.1 Умови проектування.....	8
1.2 Визначення максимальних і розрахункових електричних навантажень.....	11
1.3 Вибір зовнішнього електропостачання.....	22
1.4 Вибір внутрішнього електропостачання.....	31
2. Розрахунок струмів коротких замикань	43
3. Вибір струмоведучих частин та електричних апаратів.	54
4. Електропостачання ділянки ковальського цеху.....	63
5. Спецпитання.	85
6. Охорона праці.....	106
Перелік використовуваних джерел.	116

Додатки: робочі креслення на 3 аркушах

- 1 — Генеральний план підприємства.
- 2 — Схема внутрішнього електропостачання.
- 3 — План і розрізи ГПНІ 110/10 кВ.

					ДП 2023 141
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		<i>Галанзовський</i>			Літ.
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>			Арк.
					6
Н. Контр.					Аркушів
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>			Зміст
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3

Вступ

Економіка України на сьогоднішній день залишається у кризовому стані.

Практика перетворень в Східній Європі, а особливо в колишній ГДР, показала, що позитивні результати дає не пристосування і реконструкція малими витратами наявного устаткування, будинків, споруд, технологічних ліній до нових технологій, а корінна реконструкція, аж до побудови нових цехів, фабрик, заводів.

До переліку підприємств України, де сьогодні необхідно зробити корінні перетворення, увійшло Запорізьке підприємство по ремонту сільськогосподарської техніки. Для того, щоб на базі цього підприємства побудувати конкурентно здатну автомобілебудівну компанію, необхідно вирішити комплекс питань, що дозволить функціонувати підприємству на рівні західних фірм. Одним з основних питань є забезпечення сільськогосподарської техніки ефективними економічними двигунами.

В даному проекті вирішується питання проектування електропостачання заводу по випуску та ремонту сільськогосподарської техніки, інших автоагрегатів та запчастин до них.

На підприємстві планується створення ділянки для контактного електричного зварювання. При відносно малих значеннях електричних навантажень по нагріву вони створюють великі пікові навантаження і, тим самим, коливання напруги, що може негативно позначатися як на роботі самих електричних установок, так і на роботі інших споживачів електроенергії, що живляться від того ж джерела живлення на даному заводі. Тому, спеціальна частина проекту присвячена забезпеченню якості електроенергії в електропостачальній системі підприємства, в тому числі і в мережах що живлять установки для контактного електрозварювання.

					ДП 2023 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Галанзовський</i>						
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>					7	
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3			

1. Умови проектування

Коротка характеристика підприємства

Підприємство по ремонту сільськогосподарської техніки буде випускати автомобільні двигуни для легкових автомобілів, запасні частини до них і товари широкого вжитку з відходів виробництва.

У виробничому процесі буде задіяно 7860 одиниць устаткування, у тому числі енергетичного 3250 одиниць. Рівень автоматизації і механізації буде складати 85 % . На плавильній ділянці ливарного цеху і частково на термічній ділянці - безупинний технологічний процес. Водопостачання заводу передбачається від артезіанських свердловин, електропостачання - централізоване від районної підстанції (РПС).

Гаряче водопостачання, опалення, подача пару для технологічних потреб буде здійснюватись від заводської котельні.

Постачання стисненого повітря планується від заводської компресорної станції. Виробництво екологічно безпечне, підприємство буде розташоване в Запорізькій області, підприємство працюватиме в основній масі технологічних процесів у три зміни. Загальна чисельність працюючих 10300 чоловік.

Характеристика електроприймачів

У блоці цехів №1 - №5 силовими електроприймачами (ЕП) є різного роду металообробні верстати, крани і тельфери, транспортери, зварювальне устаткування, вентилятори.

В інструментальному і ремонтно-механічному цехах переважають металообробні верстати, зварювальне устаткування, крани, тельфери, вентилятори.

					ДП 2023 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Умови проектування					
Розробив		<i>Галанзовський</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>							8	
Н. Контр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

У сталеливарному і чавуноливарному цехах розташовані дугові й індукційні плавильні печі, що живляться від пічних трансформаторів.

Допоміжне устаткування - це крани, тельфери, вентилятори, конвеєри, насоси і т. д. У ковальському цеху є крани, тельфери, гартівні печі, нагрівальні установки, зварювальні трансформатори, вентилятори, ковальсько-пресове устаткування.

У насосній установлені насоси, приводом яких є асинхронні двигуни напругою 10 кВ.

У котельні є насоси, вентилятори, димососи. Скрізь застосовуються асинхронні двигуни з коротко замкнутим ротором.

У компресорній установлено три компресори, привід яких здійснюється від синхронних двигунів напругою 10 кВ; як допоміжне устаткування в компресорній розташовані: кран-балка, насоси, вентилятори.

Усі приймачі електричної енергії розраховані на живлення трифазним змінним струмом промислової частоти.

По надійності електропостачання ЕП відносяться до другої і третьої категорій. Виняток складають електроустаткування сталеливарного, чавуноливарного цехів, компресорної і насосної станцій, що відноситься до першої категорії.

Від приймального пункту електроенергії даного заводу передбачається жити сусіднє близько розташоване підприємство з максимальними навантаженнями:

$$P_{м.2} = 44371 \text{ кВт}; Q_{м.2} = 40630 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Характеристика джерела живлення

Живлення підприємства, що споруджується, можливо здійснити від РПС, віддаленої на відстань 6,0 км від підприємства. На шинах даної підстанції маються напруги 110 і 10 кВ.

Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ становить 3500 МВ-А.

					ДП 2023 141	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Визначення максимальних і розрахункових електричних навантажень

1.2.1 Загальні відомості

Розрахунок електричних (ЕН) освітлювальних установок робимо методом коефіцієнта попиту [1].

При цьому установлену потужність $P_{y.o}$ освітлювальних установок знаходимо по питомій потужності:

$$P_{y.o} = p_{п.о} \cdot F \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (1.1)$$

де: $p_{п.о}$ – питома потужність, Вт/м²;

F – площа, м².

Максимальну активну потужність освітлення визначаємо по формулі:

$$P_{m.o} = K_{п.о} \cdot P_{y.o} \quad (1.2)$$

де: $K_{п.о}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок, що залежить від призначення цеху; його значення вибираємо по /5,4/.

Максимальну реактивну потужність визначаємо по формулі:

$$Q_{m.o} = P_{m.o} \cdot \text{tg } \varphi_o \quad (1.3)$$

де: $\text{tg } \varphi_o$ – тангенс кута зсуву фаз освітлювального навантаження по /4,5/

Освітлення всередині приміщень буде виконано, в основному, світильниками з люмінесцентними лампами, що мають $\cos \varphi_o = 0,9$.

Освітлення сталеливарного, чавуноливарного і термообробного цехів передбачається виконати спеціальними захищеними світильниками.

Освітлення території заводу буде виконано світильниками з лампами ДРЛ.

Розрахунок ЕН силових ЕП робимо методом упорядкованих діаграм /3,4/.

Порядок виконання розрахунків наступний:

- всі ЕП розбиваються на характерні групи з однаковими коефіцієнтами використання і потужності;

									Арк.
									11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- підраховуються максимальне значення навантажень P_M, Q_M, S_M по формулах:

$$P_M = K_M \cdot P_{c.з.м.з}; \quad (1.15)$$

$$Q_M = 1,1 \cdot Q_{c.з.м.з} \text{ при } n_e \leq 10; Q_M = Q_{c.з.м.з} \text{ при } n_e > 10; \quad (1.16)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}; \quad (1.17)$$

При розробці цехового електропостачання (п. 1.8) використаний також метод розрахункових коефіцієнтів [31].

1.2.2 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів напругою 0,38 кВ

Дані розрахунків ЕН освітлювальних установок зведені в таблицю 1.1. Докладний розрахунок ЕН силових ЕП напругою 0.38 кВ виконаний у п. 1.6.5. для ділянки ковальського цеху. Аналогічно робимо розрахунок для інших ділянок і цехів. Дані розрахунку цих навантажень зведені в таблицю 1.2

Таблиця 1.1 Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок

Номера на генплані	Найменування об'єкта	F, м ²	P _{п.о.} , Вт/м ²	P _{у.о.} , Вт/м ²	K _{п.о.}	tgφ ₀	P _{о.м.} , кВт	Q _{о.м.} , кВт·Ар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Блок цехів №1	20664	16	331	0,95	0,484	314	152
2.	Блок цехів №2	6552	16	105	0,95	0,484	100	48
3.	Блок цехів №3	9360	16	150	0,95	0,484	142	69
4.	Блок цехів №4	5376	16	26	0,95	0,484	82	40
5.	Блок цехів №5	9360	16	150	0,95	0,484	142	69
6.	Інструментальний	4032	16	65	0,95	0,484	62	30
7.	Термообробний	9360	16	178	0,95	1,44	169	244
8.	Сталеливарний	20160	16	383	0,9	1,44	364	524
9.	Чавуноливарний	20808	16	395	0,95	1,44	375	540
10.	Ремонтно-механічний	9360	16	150	0,95	0,484	142	69
11.	ЦЗЛ	792	24	19	0,8	0,484	15	7
12.	Їдальня	2016	20	40	0,8	0,484	32	15
13.	Цех переробки	5616	16	90	0,95	0,484	85	41
14.	Транспортний	4752	12	57	1,0	0	57	0
15.	Будинок побуту	11520	20	230	0,8	0,484	184	89
16.	Заводоуправління	3600	20	72	0,8	0,484	58	28
17.	Прохідна	288	16	5	1,0	0,484	5	2
18.	Ковальський	7056	19	134	0,95	1,44	127	183
19.	Заготівельний	5796	16	93	0,95	0,484	88	43
20.	Склади	23256	10	233	0,6	0	140	0
21.	Котельня	3528	12	42	1,0	0	42	0
22.	Компресорна	3528	15	53	1,0	0	53	0
23.	Пожежне депо	1296	15	19	1,0	0	19	0
24.	Насосна	3600	12	43	1,0	0	43	0
25.	Територія	410172	0,22	90	1,0	1,44	90	130
Разом:							3230	2323

**Таблиця 1.2 Розрахунок електричних навантажень силових електроприймачів
напругою 0,38 кВ**

Назва корпусу чи цеху і номер його на генплані	Кількість ЕП	Потужність приведена до ТВ = 100%		K _в , в. о	cos φ / tg φ	Середні навантаження за найбільш навантажену зміну		п _е , шт	K _м	Максимальні навантаження		
		m	Загальна P _н , кВт			P _{с.зм} , кВт	Q _{с.зм} , кВ·Ар			P _м , кВт	Q _м , кВ·Ар	S _м , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.Блок цехів №1	580		9938	0,23	0,6 1,298	2251	2921	444	1,8	2434	2921	3912
2.Блок цехів №2	112	50/0,5	2292	0,45	0,75 0,88	1031	908	90	1,09	1124	908	1445
3.Блок цехів №3	345	80/0,5	7450	0,34	0,72 0,96	2533	2432	186	1,08	2736	2432	3661
4.Блок цехів №4	250	50/0,5	4036	0,33	0,73 0,94	1332	1252	161	1,08	1439	1252	1907
5.Блок цехів №5	310	100/1	7502	0,37	0,65 1,17	2776	3248	150	1,05	2915	3248	4364
6.Інструментальний цех	450	20/0,5	4368	0,26	0,73 0,93	1136	1056	437	1,0	1136	1056	1551
7.Термообробний цех	610	18/1	4553	0,58	0,76 0,86	2640	2270	120	1,07	2824	2270	2892
8.Сталеливарний Цех	485	75/1	5470	0,75	0,74 0,95	2462	2265	146	1,06	2610	2265	3456
9.Чавуноливарний Цех	386	100/1	4017	0,58	0,78 0,81	2330	1887	80	1,08	2516	1887	3145
10.Ремонтно-механічний цех	480	2/0,5	5320	0,21	0,55 1,54	1117	1720	480	1,0	1117	1720	2050
11. ЦЗЛ	180	40/1	1520	0,35	0,66 1,12	532	596	76	1,11	590	596	839
12.Їдальня	47	30/2	935	0,7	0,78 0,81	654	530	47	1,08	706	530	883
13.Цех переробки стружки	23	30/1	429	0,53	0,68 1,01	227	229	23	1,17	266	229	351
14.Транспортний цех	65	5/0,5	1160	0,3	0,64 1,18	348	412	46	1,16	404	412	577
15.Дім биту	145	20/1	2620	0,35	0,66 1,12	917	1027	145	1,06	972	1027	1414
16.Заводокерівництво	90	10/0,5	350	0,45	0,75 0,88	158	139	70	1,1	174	139	223
17.Прохідна	35	10/1	145	0,35	0,8 0,75	51	38	29	1,24	63	29	76
18.Ковальський цех	218	50/1	3727	0,55	0,63 1,22	2057	2510	149	1,08	2222	2510	3352
19.Заготівельний цех	93	20/1	686	0,45	0,75 0,8	309	247	569	1,1	340	247	420
20.Склади	110	20/2	480	0,72	0,5 1,73	58	100	48	1,4	81	110	137
21.Котельня	95	20/1	840	0,7	0,85 0,63	588	370	84	1,06	623	370	725
22.Компресорна	35	20/1	250	0,7	0,82 0,69	175	121	25	1,1	193	121	228
23.Пожежне депо	33	50/1	1200	0,25	0,56 1,46	300	438	33	1,19	357	438	565
24.Насосна станція	44	40/1	220	0,35	0,6 1,34	77	103	44	1,15	79	75	116
Всього по заводу	5160	100/0,5	68918	0,378	0,7 1,05	26059	26819	1378	1,0	26059	26819	37400

1.2.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів напругою 10 кВ

У сталеливарному цеху встановлено шість електропічних трансформаторів типу ЭТМПЕ 3200/10 для живлення шести дугових сталеплавильних печей (ДСП).

Технічні дані трансформатора:

$$S_H = 2000 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{BH} = 10 \text{ кВ}; U_{HH} = 0,243 \text{ кВ}; \Delta P_{XX} = 7,05 \text{ кВт}; \\ \Delta P_{K3} = 28,0 \text{ кВт}; u_{K3} = 27,5\%; i_{XX} = 1\%.$$

У чавуноливарному цеху встановлено чотири індукційні печі типу НЧТ-60/1,6 СБ із технічними даними : $U_H = 10 \text{ кВ}$; трифазна напруга, місткість печі шість тон. Для їхнього живлення встановлені чотири трансформатори типу ЭТМН-2000/10.72УЗ з наступними технічними характеристиками:

$$S_H = 1600 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{BH} = 10 \text{ кВ}; U_{HH} = 204 \div 1020 \text{ В}; \Delta P_{XX} = 6 \text{ кВт}; \\ \Delta P_{K3} = 17 \text{ кВт}; u_{K3} = 6,0\%; i_{XX} = 1,2\%.$$

У компресорній заводу встановлено три асинхронних двигуни СДН-16-54-10 з наступними технічними характеристиками:

$$P_H = 1600 \text{ кВт}; S_H = 1880 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_H = 10 \text{ кВ}; I_H = 109 \text{ А}; n = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \\ \eta = 92\% .$$

У насосній станції встановлені шість асинхронних двигунів типу АЗ-12-52-8 з наступними технічними даними:

$$P_H = 320 \text{ кВт}; U_H = 10 \text{ кВ}; n = 750 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; \eta = 92\% .$$

Максимальні електричні навантаження ДСП $P_{м,ДСП}$ і $Q_{м,ДСП}$ приймаємо рівними 30-хвилинному максимуму ефективного навантаження $P_{e,30,max}$, $Q_{e,30,max}$ [4], що знаходимо з використанням індивідуального графіка навантаження пічного трансформатора в циклі $T_{ц} = 180 \text{ хв.}$ при однакових зрушеннях за часом $\Delta t = \frac{180}{6} = 30 \text{ хв.}$ між початками індивідуальних графіків навантаження.

								ДП 2023	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						15

Дані цих графіків:

Номер і-ї ступені	1	2	3	4
Потужність S_i і-ї ступені, кВ·А	2000	1400	600	0
Тривалість і-ї ступені t_i , хв.	30	60	40	50
Кількість n_i і-х ступені з потужністю S_i , штук	1	1	1	1
Відносна тривалість і-го навантаження BT_i , в.о.	0,167	0,333	0,222	0,278

Величина BT_i знаходиться по формулі

$$BT_i = \frac{n_i \cdot t_i}{T_{ц}} \quad (1.18)$$

При $\Delta t = 30$ хв. Дані групового графіка навантаження будуть наступні:

Номер за рахунком і-ї ступені графіка	Потужність S_i і-ї ступені, кВ·А	Тривалість і-ї ступені t_i , хв
1	6000	10
2	5400	20
3	6000	10
4	5400	20
5	6000	10
1	2	3
6	5400	20
7	6000	10
8	5400	20
9	6000	10
10	5400	20
11	6000	10
12	5400	20

Півгодинний максимум цього графіка навантаження буде дорівнювати:

$$S_{м.дпс} = \sqrt{\frac{\sum_0^{\theta_{\max}=30} S_i^2 \cdot t_i}{\sum_0^{\theta_{\max}=30} t_i}} ; \quad (1.19)$$

$$S_{м.дпс} = \sqrt{\frac{6000^2 \cdot 10 + 5400^2 \cdot 20}{10 + 20}} = 5607 \text{ кВ} \cdot \text{А} .$$

При $\cos\varphi_{дсп} = 0,8$ одержуємо:

$$P_{м.дсп} = 5607 \cdot 0,8 = 4486 \text{ кВт};$$

$$Q_{м.дсп} = 5607 \cdot 0,6 = 3364 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

									Арк.
									16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2023 141				

Значення середньої повної потужності ДСП за максимально навантажену зміну $S_{с.зм.ДСП}$ приймаємо рівними середньої повної потужності циклу $T_{ц}$, що знаходимо по одній з формул:

$$S_{с.зм.ДСП} = 6 \cdot \sum_{i=1}^4 S_i \cdot VT_i \quad (1.20)$$

- при використанні індивідуальних графіків навантаження;

$$S_{с.зм.ДСП} = \frac{\sum_{i=1}^{12} S_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{12} t_i} \quad (1.21)$$

- при використанні групового графіка навантаження.

Одержимо:

$$S_{с.зм.ДСП} = 6 \cdot (2000 \cdot 0,167 + 1400 \cdot 0,33 + 6000 \cdot 0,222) = 5600 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Завдяки вирівнюванню групового графіка навантаження одержуємо :

$$P_{м.ДСП} = P_{с.зм.ДСП} = 4486 \text{ кВт};$$

$$Q_{м.ДСП} = Q_{с.зм.ДСП} = 3364 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Інші ЕП напругою 10 кВ відносимо до ЕП з постійним графіком навантаження, для яких приймаємо $K_M = 1$.

Дані розрахунків зводимо в таблицю 1.3

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень електроприймачів напругою 10 кВ

Назва і номер на генплані	$P_{нi}$, кВт	п, шт	$\sum P_{нi}$, кВт	K_B	$\cos \varphi / \text{tg} \varphi$	P_m , кВт	Q_m , кВ · Ар	S_m , кВ · Ар
Чавуноливарний цех (індукційні печі 4x180 кВ·А)	630	4	2520	0,8	0,35/2,68	2016	5403	5766
Компресорна (синхронні двигуни)	1600	3	4800	0,9	0,9/0,484	4320	-2091	4718
Насосна станція (асинхронні двигуни)	320	6	1920	0,8	0,85/0,62	1536	952	1807
Разом навантажень 10 кВ:	-	13	9240	-	-	7872	4264	8953

1.2.4 Визначення максимальних навантажень по підприємству

Максимальне навантаження по всьому підприємству визначаємо по формулі

$$S_{м.1} = \sqrt{P_{м.1}^2 + Q_{м.1}^2} \quad (1.22)$$

$$\text{де: } P_{м.1} = K_{р.м}(P_{м.0,38} + P_{м.дсп} + P_{м.10} + P_{м.0} + \Delta P_T);$$

$$Q_{м.1} = K_{р.м}(Q_{м.0,38} + Q_{м.дсп} + Q_{м.10} + Q_{м.0} + \Delta Q_T)$$

У цих виразах $\Delta P_T, \Delta Q_T$ – втрати потужності в розподільних і пічних трансформаторах, що дорівнюють:

$$\Delta P_T = \Delta P_{Т.тп} + \Delta P_{Т.дсп} + \Delta P_{Т.п};$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{Т.тп} + \Delta Q_{Т.дсп} + \Delta Q_{Т.п},$$

де індексами ТП, ДСП, П позначені втрати потужності в розподільних (цехових) трансформаторах, трансформаторах ДСП і індукційних печей відповідно; $K_{р.м} = 0,95$ – коефіцієнт різночасності максимумів навантажень.

Величини $\Delta P_{Т.тп}$ і $\Delta Q_{Т.тп}$ знаходимо по наближених формулах:

$$\Delta P_{Т.тп} = 0,02 \cdot \sqrt{(P_{м.0,38} + P_{м.0})^2 + (Q_{м.0,38} + Q_{м.0})^2};$$

$$\Delta Q_{Т.тп} = 0,01 \cdot \sqrt{(P_{м.0,38} + P_{м.0})^2 + (Q_{м.0,38} + Q_{м.0})^2}. \quad (1.23)$$

Величини втрат потужності в пічному трансформаторі знаходимо по формулах:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз};$$

$$\Delta Q_T = \frac{i_{xx}(\%)}{100} \cdot S_H + K_3^2 \cdot \frac{u_{кз}(\%)}{100} \cdot S_H, \quad (1.24)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів, який рівень S/S_H

Одержуємо:

$$\Delta P_{Т.тп} = 0,02 \cdot \sqrt{(26059 + 2930)^2 + (26819 + 2323)^2} = 0,02 \cdot 41100$$

$$= 822 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{Т.тп} = 0,1 \cdot 41100 = 4110 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}$$

									Арк.
									18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\Delta P_{T,ДСП} = 6 \cdot \left(7,05 + \left(\frac{5600}{6 \cdot 2000} \right)^2 \cdot 28 \right) = 78,9 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T,ДСП} = 6 \cdot \left(\frac{1}{100} \cdot 2000 + \left(\frac{5600}{6 \cdot 2000} \right)^2 \cdot \frac{27,5}{100} \cdot 2000 \right) = 839 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$\Delta P_{T,ІІІ} = 4 \cdot \left(6 + \left(\frac{5760}{4 \cdot 1600} \right)^2 \cdot 17 \right) = 83,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T,ІІІ} = 4 \cdot \left(\frac{1,2}{100} \cdot 1600 + \left(\frac{5760}{4 \cdot 1600} \right)^2 \cdot \frac{6}{100} \cdot 1600 \right) = 396 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$\Delta P_T = 822 + 78,9 + 85,3 = 986 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 4110 + 839 + 396 = 5345 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$P_{M.1} = 0,95 \cdot (26059 + 4486 + 7872 + 2930 + 986) = 40216 \text{ кВт};$$

$$Q_{M.1} = 0,95 \cdot (26819 + 3364 + 4264 + 2323 + 5345) = 40009 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{M.1} = \sqrt{40216^2 + 40009^2} = 56720 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Згідно умов проектування (п.1.1.2) від пункту прийому електроенергії підприємства передбачається живлення сусіднього підприємства з розрахунковими навантаженнями $P_{M.2} = 44371 \text{ кВт}$; $Q_{M.2} = 40630 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}$. Сумарна максимальна активна і реактивна потужності двох підприємств складуть:

$$P_{M,\Sigma} = P_{M.1} + P_{M.2}; P_{M,\Sigma} = 40216 + 44371 = 84587 \text{ кВт};$$

$$Q_{M,\Sigma} = Q_{M.1} + Q_{M.2}; Q_{M,\Sigma} = 40009 + 40630 = 80639 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Для досягнення нульового рівня споживаної реактивної потужності на підприємствах будуть установлені компенсуючі пристрої. При цьому сумарні навантаження двох підприємств будуть рівні:

$$P_M = P_{M,\Sigma} = 84587 \text{ кВт};$$

$$Q_M = Q_{M,\Sigma} = 0 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_M = P_{M,\Sigma} = 84587 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

					ДП 2023	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

1.2.5 Визначення центру і даних картограми електричних навантажень

Приймаємо, що центр ЕН кожного цеху знаходиться в його геометричному центрі. Для побудови картограми навантажень приймаємо, що максимальне навантаження $P_{m,i}$ кожного i -го цеху пропорційна площі кола радіусом r_i :

$$P_{m,i} = \pi \cdot r_i^2 \cdot m, \quad (1.25)$$

де $m = 100 \text{ кВт/см}^2$ – масштаб.

Тоді величина r_i дорівнює:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{m,i}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{P_{m,i}} \cdot 0,056. \quad (1.26)$$

Величина центрального кута $\alpha_{k,i}$, що обмежує сектор кола, площа якого пропорційна певному виду навантажень, знаходиться зі співвідношенням

$$\alpha_{k,i} = \frac{360 \cdot P_{m,k,i}}{P_{m,i}}, \quad (1.27)$$

де: i – номер цеху чи корпусу ;

k – індекс виду навантаження в i -тому цеху чи корпусі.

$$\alpha_{0,4,i} = 360 \frac{P_{m,0,4,i}}{P_{m,i}}; \quad (1.28)$$

$$\alpha_{10,1} = 360 \frac{P_{m,10}}{P_{m,i}}; \quad (1.29)$$

$$\alpha_{ocb,i} = 360 \frac{P_{m,ocb,i}}{P_{m,i}}. \quad (1.30)$$

Дані розрахунки r_i і $\alpha_{k,i}$ зведені в таблицю 1.4.

Координати x_0, y_0 центру ЕН підприємства знаходимо по формулах:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^m P_{m,i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^m P_{m,i}};$$
$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^m P_{m,i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^m P_{m,i}}, \quad (1.31)$$

де: x_i, y_i – координати центрів навантажень окремих цехів, які прийняті розташованими в їхніх геометричних центра; m – кількість цехів.

									Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2023 141				

У таблиці 1.5 приведені дані розрахунків сум, що входять у вирази (1.26).

Підставивши їх у ці вирази, одержимо:

$$x_0 = \frac{2050287}{43129} = 47,54 \text{ см}; y_0 = \frac{1231562}{43129} = 28,56 \text{ см.}$$

Таблиця 1.4 Розрахунок картограми електричних навантажень

Цех або корпус	$P_{м.с},$ кВт	$P_{м.о},$ кВт	$P_{м.і},$ кВт	$r_i,$ см	$\alpha_{осв},$ град.	$\alpha_{с.10},$ град.
1.Блок цехів №1	2434	314	2748	2,93	41,11	-
2.Блок цехів №2	1124	100	1224	1,91	29,4	-
3.Блок цехів №3	2736	142	2878	3,00	17,76	-
4.Блок цехів №4	1439	82	2521	2,184	19,4	-
5.Блок цехів №5	2915	142	3057	3,096	16,7	-
6.Інструментальний	1136	62	1198	1,9	18,63	-
7.Термообробний	2824	169	2993	3,06	20,3	-
8.Ливарний цех	2610-0,4 кВ	364	7460	5,76	17,6	-
	448-10 кВ					216,5
9.Чавуноливарний цех	2516-0,4 кВ	375	4907	3,92	27,5	-
	2016-10 кВ					147,9
10.Ремонтно-механічний	1117	142	1259	1,98	40,6	-
11.ЦЗЛ	590	15	605	1,37	8,9	-
12.Їдальня	706	32	738	1,52	15,7	-
13.Цех переробки	266	85	351	1,05	87,17	-
14.Транспортний	404	57	461	1,20	44,5	-
15.Дім биту	972	184	1156	1,9	57,3	-
16.Заводоуправління	174	58	232	0,85	90	-
17.Прохідна	63	5	68	0,46	26,4	-
18.Ковальський	2222	127	2349	2,71	1946	-
19.Заготівельний	340	88	428	1,158	74	-
20.Склади	81	140	221	0,83	228	-
21.Котельня	623	42	665	1,44	22,7	-
22.Компресорна	193-0,4 кВ	53	4566	3,78	4,2	-
	4320-10 кВ					340,6
23.Пожежне депо	357	19	376	1,08	18,2	-
24.Насосна	89-0,4 кВ	43	1668	2,287	9,3	-
	1536-10 кВ					331,5

Таблиця 1.5 Розрахунок координат центра електричних навантажень

Цех або корпус		$P_{m.i},$ кВт	$X_i,$ см	$Y_i,$ см	$P_{m.i} \cdot X_i,$ кВт·см	$P_{m.i} \cdot Y_i,$ кВт·см
1	Блок цехів №1	2748	4,1	38,9	11266	106897
2	Блок цехів №2	1224	16,8	47	20563	57538
3	Блок цехів №3	2878	17	32,5	48926	93535
4	Блок цехів №4	2521	29,9	48	45477	73008
5	Блок цехів №5	3057	30	32,6	91710	99658
6	Інструментальний	1198	43,8	49	52472	58702
7	Термообробний	2993	44,1	32,5	131991	97272
8	Ливарний цех	7460	68	4	507280	335700
9	Чавуноливарний цех	4907	69,9	31,6	342999	155124
10	Ремонтно-механічний	1259	21	17	26439	21403
11	ЦЗЛ	605	33,4	16,8	20207	10164
12	Їдальня	738	33	5,6	24354	4132
13	Цех переробки	351	4	3,6	1404	1263
14	Транспортний	461	11,4	3,6	5255	1659
15	Дім биту	1156	22	1,3	25432	1502
16	Заводууправління	232	29,5	0,7	6844	162
17	Прохідна	68	33,9	0,6	2305	40
18	Ковальський	2349	43,9	16,1	103121	37818
19	Заготівельний	428	44	3,5	18832	1498
20	Склади	221	60,6	10,1	13392	2232
21	Котельня	665	75,8	18,1	50407	12036
22	Компресорна	4566	75,6	11,9	345189	54335
23	Пожежне депо	376	76,8	1,9	128102	5170
24	Насосна	1668	76,9	3,1	128269	5170
Разом:		43129			2050287	1231562

1.3 Вибір зовнішнього електропостачання

1.3.1 Вибір напруги схеми живлення

Схема зовнішнього електропостачання показана на рис 1.1

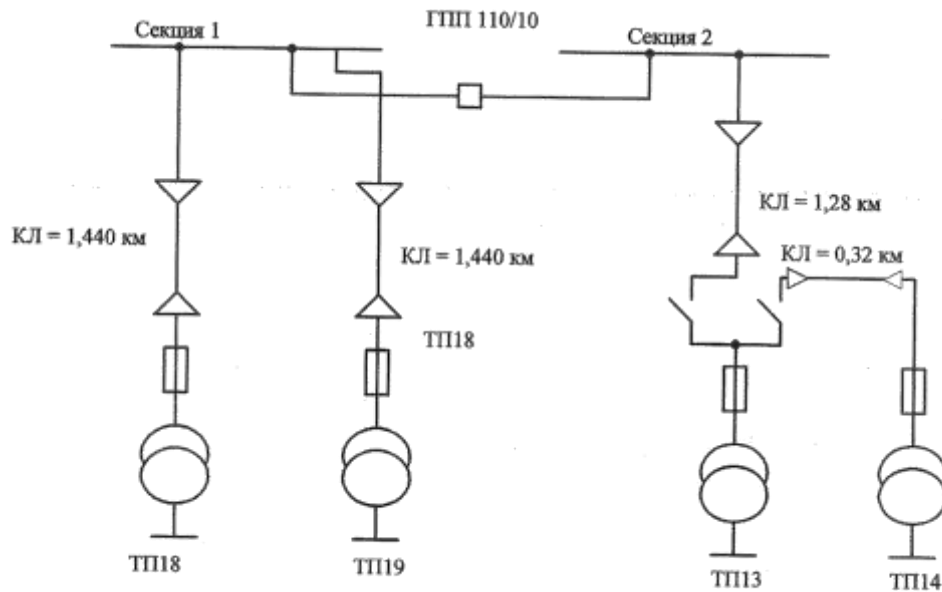


Рис.1.1 Схема зовнішнього електропостачання

Відповідно до умов проектування (п.1.1), живлення підприємства здійснюється від вузлової розподільної підстанції, що має напругу 330/110/10 кВ.

Робимо оцінку економічної напруги згідно [16] при таких даних:

$$P_M = 84587 \text{ кВт}; Q_M = 0 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}; l = 6 \text{ км.}$$

По формулі Стілла:

$$U = 6 \cdot \sqrt{1 + 16P_M}; \quad (1.32)$$

$$U = 6 \cdot \sqrt{6 + 16 \cdot 80,046} = 215 \text{ кВ.}$$

					ДП 2023 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір зовнішнього електропостачання					
Розробив		<i>Галанзовський</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>							23	
Н. Контр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

По формулі інженерів-електриків Швеції:

$$U = 6 \cdot \sqrt{(1/16) + P_M}; \quad (1.33)$$

$$U = 17 \cdot \sqrt{(6/16) + 80,046} = 152,4 \text{ кВ.}$$

Згідно [6] при $l = 6$ км із трьох зазначених напруг 330/110/10, що є на РПС, економічно оптимальним є $U = 110$ Кв.

На підставі цього живлення заводу від вузлової розподільної підстанції виконаємо радіальними лініями напругою 110 кВ.

1.3.2 Визначення кількості і потужності трансформаторів ГПП

Оскільки, як було зазначено в п.1.1.2, на проектуваному підприємстві, а також на сусідньому підприємстві є споживачі першої категорії по надійності електропостачання, на ГПП передбачено встановлення двох трансформаторів. Потужність трансформаторів вибирається по максимальній потужності двох підприємств, що живляться, з урахуванням виходу з ладу одного з трансформаторів чи виводу його в ремонт. У цьому випадку трансформатор, що залишився в роботі, забезпечує роботу підприємств із використанням припустимого його перевантаження.

У нормальному режимі обидва трансформатори працюють роздільно, що зменшує струм короткого замикання і дозволяє вибрати більш дешеву (на менші номінальні значення) апаратуру захисту і комутації. Потужність трансформаторів, які необхідно установити на ГПП, попередньо визначаємо по формулі

$$S_{M.T} = \frac{S_M}{k_3 \cdot N_T}, \quad (1.34)$$

де: $k_3 = 0,7$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів ;

									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

S_M – повна максимальна потужність, прийнята рівної розрахункової потужності, оскільки стала нагрівання обмоток трансформатора складає 3-15 хвилин;

$N_T = 2$ шт. – кількість трансформаторів.

Одержуємо:

$$S_{M.T} = \frac{84587}{0,7 \cdot 2} = 60419 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

До установки можуть бути прийняті трансформатори типу ТРДН-63000/110 з наступними технічними даними:

$$S_H = 63\,000 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{BH} = 115 \text{ кВ}; U_{HH} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$P_{XX} = 73 \text{ кВт}; P_{K3} = 245 \text{ кВт}; u_{K3} = 10\%; i_{XX} = 0,6 \%$$

Інші потужності трансформаторів (40 МВ·А; 100 МВ·А) не прийняті.

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі дорівнює

$$k_3 = \frac{84587}{2,63000} = 0,67;$$

у післяаварійному режимі –

$$k_{3a} = \frac{84587}{63000} = 1,34.$$

Визначимо втрати потужності в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{T.GPP} = 2 \cdot (73 + 0,67^2 \cdot 245) = 396 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T.GPP} = 2 \cdot \left(\frac{0,6 + 0,67^2 \cdot 10}{100} \cdot 63000 \right) = 6412 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Тому, що $S_H > S_M/2$, трансформатори в нормальному режимі перевантажуватись не будуть. Перевантажувальна здатність трансформатора в післяаварійному режимі оцінюється згідно [11] у залежності від попереднього навантаження K_1 , в.о. і тривалості післяаварійного режиму t_a . У таблицях 1.6, 1.7 представлені типові графіки електричного навантаження ГПП.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Одержання цих графіків описано в пункті 4.2.6 економічної частини проекту.

За даними таблиць 1.6 і 1.7 на рис. 1.2 і 1.3 представлені типові добові графіки ЕН, на яких $K = S/S_H$.

Таблиця 1.6 Типовий графік електричного навантаження по ГПП для зимового дня

Доба, години	0	1	2	3	4	5	6
Годинні навантаження, в.о.	0,76	0,73	0,72	0,71	0,71	0,72	0,76
Те саме в МВ·А	64286	61894	60903	60056	60056	60903	64284

7	8	9	10	11	12	13	14
0,81	0,92	0,97	0,92	0,87	0,87	0,92	0,95
68515	77820	82049	79511	82049	73590	73590	77820

15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,95	0,98	1,0	1,0	0,98	0,96	0,95	0,92	0,85
80357	82895	84587	84587	82895	81203	82049	71898	71898

Таблиця 1.7 Типовий добовий графік електричних навантажень для літнього дня

Доба, години	0	1	2	3	4	5	6
Годинні навантаження, в.о.	0,76	0,74	0,73	0,72	0,72	0,72	0,74
Те саме в МВ·А	64284	62594	61748	60902	60902	60902	62594

7	8	9	10	11	12	13	14
0,80	0,89	0,97	0,97	0,93	0,89	0,90	0,94
67669	75282	82049	82049	78665	75282	76128	79511

15	16	17	18	19	20	21	22	23
0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,94	0,97	1,0	0,92
81203	80357	79511	78665	77820	79511	82049	84587	77820

Другий варіант буде явно не економічний, тому що в перший рік експлуатації коефіцієнт завантаження трансформаторів $\kappa_3 = 0,42$ виявляється нижче значення $\kappa_{3,0} = 0,46$, що є рівноекономічним при трьохзмінному режимі роботи [24].

1.3.3 Вибір живильних ліній

Траса від РПС до підприємства проходить як по відкритій місцевості (4,434 км), так і в забудованій міській смузі (1,565 км). Тому для подачі електроенергії в проекті передбачається спорудження повітряної лінії (ПЛ) довжиною 4,435 км із кабельною вставкою довжиною 1,565 км.

З огляду на наявність на підприємстві ЕП 1-ї категорії, передбачено дві одноколової лінії напругою 110 кВ на залізобетонних опорах. Кабельна вставка здійснюється маслонаповненим кабелем напругою 110 кВ.

Визначаємо величину I_M на первинній стороні трансформаторів ГПП з урахуванням втрат потужності на них:

$$P_{M.BH} = P_M + \Delta P_{T.GPP}; Q_{M.BH} = 0 + \Delta Q_{T.GPP}; \quad (1.35)$$

$$S_{M.BH} = \sqrt{P_{M.BH}^2 + Q_{M.BH}^2}; I_M = \frac{S_{M.BH}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot U_H}; \quad (1.36)$$

$$P_{M.BH} = 84587 + 396 = 84983 \text{ кВт}; Q_{M.BH} = 0 + 6412 = 6412 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{M.BH} = \sqrt{80444^2 + 33745^2} = 87235 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$I_M = \frac{87235}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 110} = 229 \text{ А}.$$

Як проводили ПЛ використовуємо провід марки АС.

Вибираємо переріз цих проводів за умовами припустимого нагрівання в нормальному і післяаварійному режимах, механічній міцності і корони.

Попередньо за умовами нагрівання в нормальному режимі приймаємо провід АС-150 з тривало-допустимим струмом $I_d = 445 \text{ А}$.

									ДП 2023	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							28

Струм короткого замикання в точці K_1 (п.1.5) дорівнює 12,06 кА. Тому що $12,06 \text{ кА} < 16,2 \text{ кА}$, то термічна стійкість кабелю до струму короткого замикання буде забезпечена.

1.3.4 Вибір місця розташування і конструкції ГПП

З урахуванням троянди вітрів і генплану підприємства місце розташування ГПП вибираємо в його східній частині, зрушивши її від центра ЕН у бік ДЖ. Відкритий розподільчий пристрій (ВРПр) 110 кВ виконано за схемою 110-4Н типового проекту 407-03-456.7 ЭСП із двома роз'єднувачами в перемичці 110 кВ (з можливою установкою надалі вимикача). На стороні 10 кВ ГПП передбачено закритий розподільчий пристрій (ЗРПр) 10 кВ із 4-ма секціями збірних шин і АВР на секційних вимикачах. Цей пристрій комплектується шафами КЕ-10 Рівненського заводу.

Для живлення власних потреб передбачена установка двох трансформаторів 10/0,4 кВ потужністю 100 кВ·А кожний.

Для зовнішнього освітлення ГПП передбачена установка 2-х прожекторних щогл. Освітлення ЗРПр і ВРПр виконано світильниками типу ЛДОР – $2 \times 40 - 31У4$ і НСП 21×200 відповідно.

					ДП 2023	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			30

1.4 Вибір внутрішнього електропостачання

1.4.1 Вибір напруги розподільної мережі

З огляду на те, що первинна напруга пічних трансформаторів, а також номінальна напруга електродвигунів компресорної і насосної становить 10кВ (п.1.2.3) , приймаємо напругу для розподільних мереж рівною 10 кВ.

1.4.2 Вибір числа, потужності і місця розташування

цехових трансформаторних підстанцій

Згідно п.1.1.2 до ЕП 1-ї категорії напругою 0,38 кВ відноситься устаткування сталеливарного і чавуноливарного цехів, компресорної і насосної. Для їхнього живлення встановлюємо двотрансформаторні підстанції (ТП) (ТП14, ТП15, ТП31 і ТП32 на листах №1 і №2 графічної частини проекту). Інші ЕП одержують живлення від однострансформаторних ТП.

Вибір числа і потужності цехових трансформаторів у кожному цеху чи корпусі здійснюється разом з вибором пристроїв, що компенсують реактивну потужність (КПр), на підставі техніко-економічних розрахунків (ТЕР), виходячи з питомої густини навантаження й активного розрахункового навантаження цеху по дисконтованим затратам виробництва в наступному порядку [30]:

- підраховується питома густина навантаження σ_s і по ній вибираються 1-3 варіанта номінальних потужностей трансформаторів для проведення подальших ТЕР;

					ДП 2023 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір внутрішнього електропостачання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Галанзовський</i>					31	
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>						
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		

- по кожному варіанту потім знаходиться мінімальне число трансформаторів $n_{T.min}$ з умови повної компенсації реактивної потужності (КРП) по формулі

$$n_{T.min} = \frac{P_{M.C} + P_{M.O}}{K_3 \cdot S_H} + \Delta n_T, \quad (1.37)$$

де: Δn_T – дробове доповнення найближчого числа ;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів, прийнятий рівним:

0,7 – для цехів з навантаженнями 1-ї і 2-ї категорій при двотрансформаторних підстанціях ;

0,8 – для цехів з переважними навантаженнями 2-ї категорії при однострансформаторних ТП із резервуванням на стороні низької напруги ;

0,95 – для цехів з навантаженнями 2-ї категорії без резервування і цехів з навантаженнями 3-ї категорії при однострансформаторних ТП ;

– визначається економічне число трансформаторів $n_{T.e}$ по формулі:

$$n_{T.e} = n_{T.min} + m, \quad (1.38)$$

де m – додаткове число трансформаторів за умовою мінімальних втрат потужності;

– визначається найбільша реактивна потужність Q_T , що може бути передана через трансформатори з мережі напругою 10 кВ у мережу напругою 0,38 кВ за рахунок Δn_T , m ;

– визначається потужність низьковольтних конденсаторів $Q_{H.K1}$, яку необхідно компенсувати в мережі напругою 0,38 кВ, і потужність $Q_{H.K2}$ по мінімуму втрат потужності;

– визначаються дисконтовані затрати по кожному варіанту, що включають затрати на трансформатори, лінії, конденсатори по формулі

$$Z = K + (I_a + I_{п.е} + I_{\Delta A}) / e_n, \quad (1.39)$$

де: $e_n = 0,3$ – величина дисконту;

K – вартість трансформаторів, конденсаторів, ліній;

$I_a, I_{п.е}$ – щорічні витрати на амортизацію і поточну експлуатацію;

$I_{\Delta A}$ – щорічна вартість втрат електроенергії у всіх елементах електропостачальної системи (ЕПС);

											Арк.
											32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Таблиця 1.9 Результати розрахунків на вибір числа і потужності цехових трансформаторів

Номера позицій в таблиці 1.8	Значення розрахункових величин по блокам цехів та окремим цехам з номерами ТП:							
	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №4	Блок №5	Інструм. цех	Термообр. цех	Сталелив. цех
	ТП 1;2;3	ТП 4;5	ТП 20;21	ТП 6;7	ТП 18;19	ТП 8;9	ТП 16;17	ТП 10;11
1	2748	1224	2878	1521	3057	1198	2993	2974
2	3073	956	2501	1292	3317	1086	2514	2789
3								
4	0,18	0,23	0,4	0,37	0,48	0,4	0,42	0,2
5	1000	1000	1600	1000	1600	1000	1600	1600
6	3	2	2	2	2	2	2	2
7	0	1030	0	497	7	1060	0	0
8	3050	0	2501	1795	3317	26	2514	2789
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3073	0	2501	795	3317	26	2514	2789
11	864612	167454	709002	306180	940338	179676	712782	790650
12	3	2	2	2	2	2	2	2
13	6×450 3×100	—	4×600 2×50	2×300 2×75	4×600 2×450	—	4×600	4×600 2×150

Продовження таблиці 1.9

Номера позицій в таблиці 1.8	Значення розрахункових величин по блокам цехів та окремим цехам з номерами ТП:							
	Чавунолив. Цех	Ремонт.мех. Цех	ЦЗЛ, Ідальня	ЦПС, Транспортний цех	Дім. биту, Заводоупр., Прохідна	Ковальський та заготівел. Цехи	Насосна, пож. депо, склад	Котельн., компресорна
	ТП 12;13;14	ТП 22;23	ТП 24;25	ТП 28	ТП 29;30	ТП 26;27	ТП 32	ТП 31
1	2891	1259	1343	812	1456	2972	729	911
2	2427	1789	1148	682	1457	2678	623	410
3	3640	2188	1777	1061	2060	4000	959	999
4	0,17	0,23	0,63	0,1	0,13	0,31	0,02	0,14
5	1000	1000	1000	1000	1000	1600	1000	1000
6	4	2	2	1	2	2	2	2
7	1372	987	870	0	663	0	1188	989
8	1055	802	278	682	794	2678	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1055	802	278	682	794	2678	0	0
11	522,114	795,060	335,160	193,28	413,128	759,276	193,032	160,776
10	4	2	2	1	2	2	2	2
13	8×135	4×200	2×150	1×600	4×200	4×600 2×150	—	—

Таблиця 1.11 Визначення втрат потужності в трансформаторах і максимальних навантажень на первинній стороні ТП

Номера ТП	S_H , кВ·А	P_M , кВт	Q_M , кВ·Ар	$Q_{КПР}$, кВ·Ар	$Q'_M = Q_M - Q_{КПР}$, кВ·Ар	$S'_M = \sqrt{P_M^2 + (Q'_M)^2}$, кВ·А	$K_3 = \frac{S'_M}{S_H}$, кВ·А	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВ·Ар	$P_{M,\Sigma}$, кВт	$Q_{M,\Sigma}$, кВ·Ар	$S_{M,\Sigma}$, кВ·А	$I_{M,\Sigma}$, А
1-3	1000	916	1024	1000	24,3	916	0,916	11	58	927	82,3	931	53,7
4,5	1000	612	478	-	478	777	0,77	8,4	45	620	523	811	46,8
6,7	1000	760	646	375	271	701	0,701	7,2	39	767	310	827	47,8
8,9	1000	599	543	-	543	808	0,808	8,95	48	608	591	484	49,0
10,11	1600	1487	1395	1350	45	1488	0,929	18,2	92	1505	137	1511	87,2
12-15	1000	723	607	230	377	815	0,815	9,1	49	732	426	847	48,9
16,17	1600	1496	1256	1200	56	1497	0,935	18,4	93	1514	149	1521	87,8
18-19	1600	1528	1658	1650	8	1528	0,955	19,1	96	1547	104	1550	89,5
20,21	1600	1439	1250	1250	0	1439	0,899	17,2	87	1466	87	1469	84,8
22,23	1000	630	895	400	495	801	0,801	8,8	47	639	542	838	48,4
24,25	1000	674	574	150	424	796	0,796	8,7	47	683	471	830	47,9
26,27	1600	1486	1339	1300	39	1487	0,929	18,2	57	1504	96	1507	87,0
28	1000	812	682	600	82	816	0,816	9,1	49	821	131	831	48,0
29,30	1000	728	728	400	328	798	0,798	8,8	48	727	376	818	47,3
31	1000	452	205	-	205	500	0,5	4,6	26	457	231	512	29,6
32	1000	365	314	-	314	480	0,48	4,4	25	369	239	440	25,4

Таблиця 1.12 Розподіл конденсаторних установок в електропостачальній системі

Позначення	Найменування	РП1: ТП 6,7,8,9, 16,17,18,19	РП2: ТП 10,11; ДСП	РП3: ТП 12,13, 14,15; ІП	РП4: ТП 31; СД	РП5: ТП 32; АД	ГПП: ТП 1-5, 20-30	Разом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{м.0,38},$ кВ·Ар	Розрахункова реактивна потужність електроприймачів 0,38 кВ	8209	2789	2427	410	623	13957	28415
$Q_{м.10},$ кВ·Ар	Розрахункова реактивна потужність електроприймачів 10 кВ	–	3364	5403	-2091	952	–	7628
$\Sigma \Delta Q_T,$ кВ·Ар	Втрати реактивної потужності в трансформаторах	552	1023	690	52	50	885	3252
$0,95Q_{м. \Sigma},$ кВ·Ар	Загальна розрахункова реактивна потужність	8323	6817	8094	-1548	1543	14100	37329
$\Sigma Q_{КПр.0,38},$ кВ·Ар	Реактивна потужність, КПр-0,38 кВ	6450	2700	1080	–	–	10600	20830
$\Sigma Q_{нс.10},$ кВ·Ар	Некомпенсована реактивна потужність, КПр-0,38 кВ	1873	4117	7014	-1548	1543	3500	16499
$\Sigma Q_{КПр.10},$ кВ·Ар	Розрахункова реактивна потужність, КПр-0,38 кВ	1697	3731	6501	–	1398	3172	16499
$n \cdot Q_{БК.10}$	Числа і потужності ВБК-10 кВ	2×19	2×1350 2×900	4×1350 2×900	–	2×450 2×240	2×900 2×450	–
$Q_{БК.10},$ кВ·Ар	Фактична потужність ВБК-10 кВ	1800	4500	7200	–	1380	2700	17580

Типи і потужності КПр, встановлених у РП1 – РП5, а також ЗРПр ГПП:

РП1 – УКЛ-10,5-900 – 2 шт.;

РП2 – УКЛ-10,5 – 1350 УЗ – 2 шт.; УКЛ-10,5-900 УЗ – 2 шт.;

РП3 – УКЛ-10,5 – 1350 УЗ – 4 шт.; УКЛ-10,5-900 УЗ – 2 шт.;

РП4 – немає;

РП5 – УКЛ-10,5 – 450 УЗ – 2 шт.; УКЛ-10,5-240 УЗ – 2 шт.;

ЗРПр – ГПП: УКЛ-10,5 – 900 УЗ – 2 шт.; УКЛ-10,5 – 450 – 2 шт.

1.4.4 Вибір кабелів мережі напругою 10 кВ

Вибір перерізів жил кабельних ліній розподільної мережі 10 кВ підприємства здійснюється за технічними критеріями для нормального і після аварійного режимів.

До технічних критеріїв відносять допустиме нагрівання жил кабелів розрахунковим струмом і забезпечення їх термічної стійкості до струмів к.з.

Розрахунковий струм лінії I_p , визначаємо з урахуванням сталої нагрівання кабелів. [30] При відомих P_M , Q_M , k_M знаходимо струм I_M , що попередньо приймаємо як розрахунковий струм I'_p . Після попереднього вибору перерізів жил кабелю знаходимо його сталу нагрівання T_0 й уточнюємо значення розрахункового струму I_p , по формулі [30]

$$I_p = k \cdot I_M, \quad (1.40)$$

де: k – коефіцієнт, рівний

$$k = \frac{k_M - 1 + a}{a \cdot k_M}.$$

Величина a у формулі (1.42) знаходиться по формулі

$$a = \sqrt{\frac{T_{0,\delta}^2 \cdot (e^{-m_1} - 1 + m_1)}{T_0^2 \cdot (e^{-m} - 1 + m)}},$$

де: $T_{0,\delta} = 10$ хв.; $m_1 = 3T_0/T_k$; $m = 3T_{0,\delta}/T_k$;

T_k – стала кореляції навантаження.

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

При невідомій T_k її величину рекомендується приймати рівної 30 хвилин [30]. При цьому величина a дорівнює:

$$a = \frac{1}{T_0} \cdot \sqrt{272 \cdot (e^{-m_1} - 1 + m_1)} . \quad (1.41)$$

Розрахунковим струмом для живлення електродвигунів є їхній номінальний струм незалежно від фактичного завантаження.

По довідковим даним [4] у залежності від розрахункового струму визначаємо стандартний найближчий більший переріз кабелю з тривало допустимим струмом I_d . З урахуванням умов прокладання кабелів (їх кількість, температура землі і повітря) відповідними коефіцієнтами K_1 і K_2 , допустимого перевантаження кабелів у післяаварійному режимі коефіцієнтом K_n , умови вибору жил кабелів по допустимому нагріванню можна представити у виді [4]:

нормальний режим –

$$I_p \leq K_1 \cdot K_2 \cdot I_d ; \quad (1.42)$$

післяаварійний –

$$I_{p.a} \leq K_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot I_d \quad (1.43)$$

Перевірку обраних перерізів F жил кабелів на термічну стійкість до струму к.з. робимо по формулі [32]

$$F \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} , \quad (1.44)$$

де B_k – імпульс квадратичного струму к.з., $KA^2 \cdot c$;

C – величина, що характеризує теплові властивості кабелю, $\frac{A \cdot \sqrt{c}}{mm^2}$.

Величина B_k підраховується згідно виразу

$$B_k = I_{п.о}^2 \cdot (t_{к.з} + T_a) , \quad (1.45)$$

де: $I_{п.о}$ – діюче значення періодичної складової струму к.з. при $t_{к.з} = 0$;

$t_{к.з}$ – час дії струму к.з.;

T_a – стала часу загасання аперіодичної складової струму к.з.

Зробимо вибір перерізу кабелю, що живить ТПЗ. Максимальне значення струму кабелю I_M згідно таблиці 1.12 дорівнює 53,7 А.

										Арк.
										40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Приймаємо до установки кабелі ААШВУ з посиленою паперовою просочувальною ізоляцією, для яких згідно [4] $k_n = 1,25$, а згідно [32] $C = 99$.

Приймаючи $I_p = I_m = 53,7$ А, з умови (1.42)

При $K_1 = 1$ і $K_2 = 1,13$ знаходимо мінімальне значення тривало допустимого струму:

$$I_{д.мин} = 53,7 / (1 \cdot 1,13) = 47,5 \text{ А.}$$

Виходячи з цього струму, вибираємо найближчий більший стандартний переріз жил кабелю $3 \times 16 \text{ мм}^2$ з $I_d = 60$ А.

У післяаварійному режимі (при підключенні ЕН сусідньої ТП на стороні 0,4 кВ трансформатора) струм $I'_{p.a}$ буде дорівнювати 107,4 А. Мінімум допустимий струм $I_{д.а.мин}$ знаходимо з умови (1.43):

$$I_{д.а.мин} = 107,4 / (1 \cdot 1,13 \cdot 1,25) = 76 \text{ А.}$$

Виходячи з цього значення струму вибираємо кабель $3 \times 25 \text{ мм}^2$ з $I_d = 85$ А.

Термічно стійкий до струму к.з. переріз знаходимо по формулі (1.44) =, приймаючи: $I_{п.о} = 10,5$ кА (п.1.5); $t_{к.з} = 0,45$ с (час дії струмової відсічки $t_{р.з} = 0,4$ с плюс час спрацьовування вимикача $t_{с.в} = 0,05$ с); $T_a = 0,05$ с [32].

Одержуємо:

$$F \geq \frac{\sqrt{10,5^2 \cdot 0,5 \cdot 10^6}}{99} = 75,0 \text{ мм}^2.$$

Цьому критерію задовольняє кабель ААШВУ (3×95), що приймаємо до установки.

Тому що визначальним критерієм при виборі перерізу кабелю є його термічна стійкість до струму к.з., уточнення розрахункового струму (формула 1.41) і перерізів жил кабелів за критерієм допустимого нагрівання в нормальному і післяаварійному режимах не потрібно.

Проведемо вибір перерізу жил кабелю, що живить РП4. Згідно таблиці 1.12 і електропостачальної схеми (лист 3) від РП4 живляться ТП31 і 3 синхронних двигуни (два від однієї секції шин і один від іншої).

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

У нормальному режимі роботи навантаження кабелю, що живить найбільш навантажену секцію шин РП4, складе:

$$P_M = \frac{P_{M.ТПЗ1}}{2} + \frac{2}{3}P_{M.сд};$$

$$Q_M = \frac{Q_{M.ТПЗ1}}{2} - \frac{2}{3}Q_{M.сд};$$

$$P_M = 457 + \frac{2}{3} \cdot 4320 = 3334 \text{ кВт};$$

$$Q_M = 231 - \frac{2}{3} \cdot 2091 = -1163 \text{ кВт} \cdot \text{Ар};$$

$$S_M = \sqrt{3337^2 + 1163^2} = 3534 \text{ кВт} \cdot \text{А};$$

$$I_M = \frac{3534}{\sqrt{3} \cdot 10} = 204 \text{ А}.$$

У післяаварійному режимі до цього навантаження додається навантаження одного трансформатора ТПЗ1 і одного синхронного двигуна:

$$P_{M.a} = 3337 + 457 + \frac{4320}{3} = 5234 \text{ кВт};$$

$$Q_{M.a} = -1163 + 231 - \frac{2091}{3} = -1629 \text{ кВт} \cdot \text{Ар};$$

$$S_{M.a} = \sqrt{5234^2 + 1629^2} = 5482 \text{ кВт} \cdot \text{А};$$

$$I_{M.a} = \frac{5482}{\sqrt{3} \cdot 10} = 316 \text{ А}.$$

За критерієм допустимого нагрівання в післяаварійному режимі вибираємо кабель $(3 \times 150) \text{ мм}^2$ з $I_d = 250 \text{ А}$ з умови $316 \text{ А} < 0,9 \cdot 1,13 \cdot 1,25 \cdot 250 = 318 \text{ А}$.

Термічно стійкий до струму к.з. при $t_{к.з.} + T_a = 1,25 \text{ с}$, $t_{к.з.} = 13,41 \text{ кА}$ буде переріз:

$$F \geq \frac{\sqrt{13,41^2 \cdot 1,25 \cdot 10^6}}{99} = 151,4 \text{ мм}^2.$$

До установки приймаємо два кабелі $(3 \times 150) \text{ мм}^2$ (по одному до кожної секції шин РП4).

Аналогічно робимо вибір всіх інших кабелів напругою 10 кВ. Дані розрахунків зводимо в таблицю 1.13.

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів к.з. робимо з урахуванням струмів підживлення від синхронних і асинхронних електродвигунів напругою 10 кВ. Усі інші двигуни і навантаження, що знаходяться за трансформаторами від точок к.з., не враховуються.

Базисні величини:

$S_6=100$ МВА; $U_{61}=10,5$ кВ; $U_{62}=115$ кВ;

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} ;$$

$$I_{6.2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,503 \text{ кА} ;$$

$$I_{6.1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,51 \text{ кА} .$$

Розрахуємо струми к.з. відповідно до розрахункової схеми (рис.1.4а).

• Знаходимо індуктивні опори елементів електропостачальної системи у відносних базисних одиницях відповідно до цієї схеми і схеми заміщення (рис. 1.4б):

					ДП 2023 141
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		<i>Галанзовський</i>			Літ.
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>			Арк.
					43
Н. Контр.					Аркушів
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3
Розрахунок струмів КЗ					

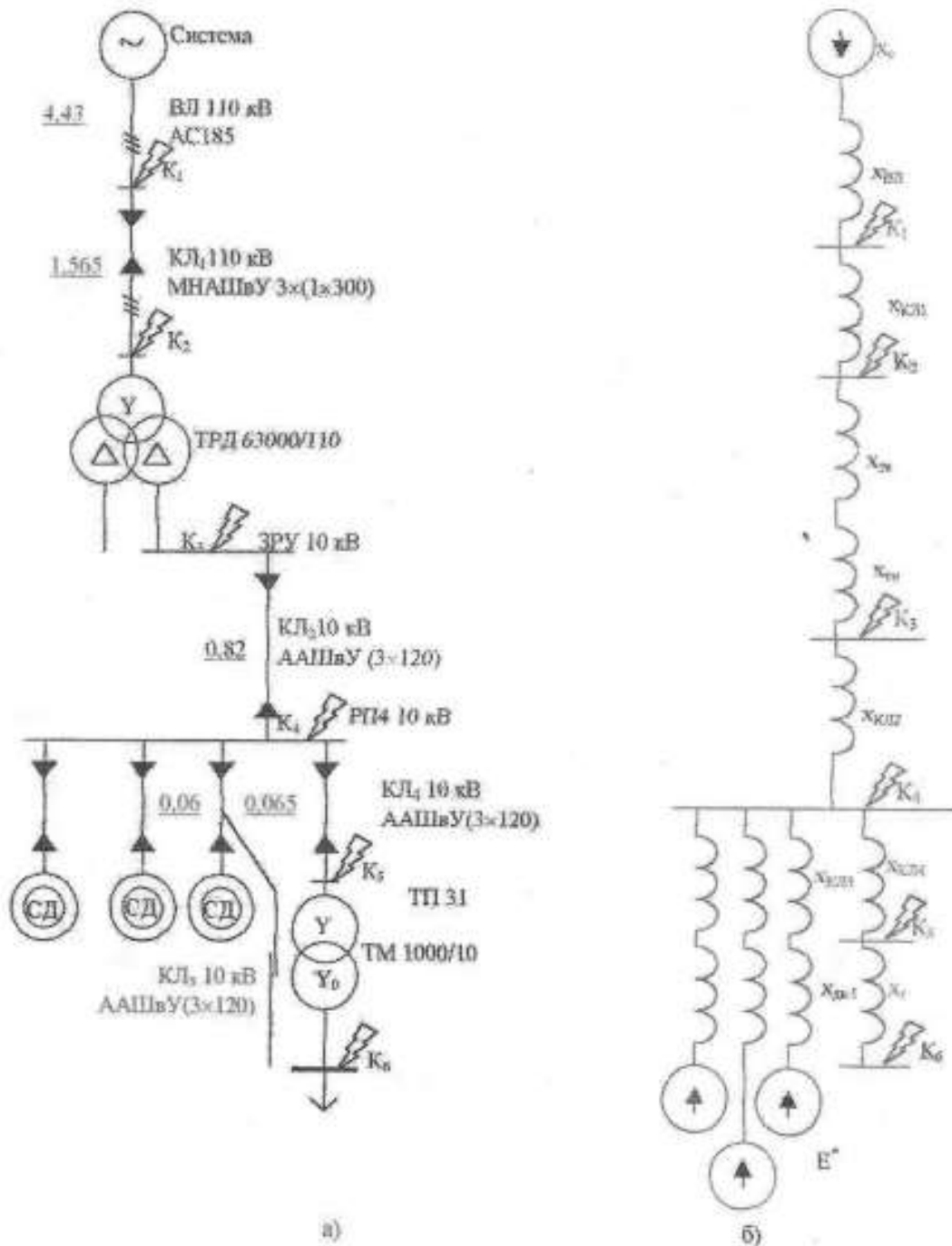


Рис. 1.4. Схемы для расчета токов короткого замыкания
 а – расчетная схема;
 б – схема замещения.

опір системи –

$$x_c = \frac{S_6}{S_c}; \quad (1.47)$$

$$x_c = \frac{100}{3500} = 0,285;$$

опори ПЛ і КЛ 110 кВ –

$$x = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp,n}^2}, \quad (1.48)$$

де: $X_{0\text{ ПЛ}} = 0,4$ Ом/км – погонне значення індуктивного опору фази одного кола ПЛ – 110 кВ;

$X_{0\text{ КЛ}} = 0,18$ – погонне значення індуктивного опору для одножильного маслонаповненого кабелю 110 кВ;

$$X_{\text{ПЛ}} = 0,4 \cdot 4,435 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,0132;$$

$$X_{\text{КЛ.1}} = 0,18 \cdot 1,565 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,0021;$$

опір трансформатора ТРДН – 63 000 / 110 –

– обмотка напруги 110 кВ:

$$X_{\text{Т.В}} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{к.ВН}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{н.Т}}}; \quad (1.49)$$

$$X_{\text{Т.В}} = \frac{0,125 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,0208;$$

– обмотка напруги 10 кВ:

$$X_{\text{Т.Н1}} = X_{\text{Т.Н2}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{к.ВН}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{н.Т}}}; \quad (1.50)$$

$$X_{\text{Т.Н1}} = X_{\text{Т.Н2}} = \frac{1,75 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,2917;$$

– загальний опір:

$$X_{\text{Т}} = X_{\text{Т.В}} + X_{\text{Т.Н}} = 0,0208 + 0,2917 = 0,3125; \quad (1.51)$$

									Арк.
									45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

опір КЛ 10 кВ (формула 1.48) –

$$x_{\text{кл.2}} = 0,08 \cdot 0,82 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0595 ;$$

$$x_{\text{кл.3}} = 0,08 \cdot 0,06 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0044 ;$$

$$x_{\text{кл.4}} = 0,08 \cdot 0,065 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,0047 ;$$

опір двигунів –

$$x_{\text{дв.1}} = \frac{1}{K_{\text{пуск}}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{н}}} ; \quad x_{\text{дв}} = \frac{x_{\text{дв.1}}}{n_{\text{дв}}} ; \quad (1.52)$$

$$x_{\text{дв.1}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{100}{1,88} = 8,8652 .$$

- Визначимо струми к.з у точці K_1 (рис. 1.5):

$$x_1 = x_c + x_{\text{пл}} ;$$

$$x_1 = 0,0285 + 0,0132 = 0,0417 ;$$

$$x_2 = \frac{x_{\text{дв.1}} + x_{\text{кл.3}}}{3} + x_{\text{кл.2}} + x_{\text{т}} + x_{\text{кл.1}} ;$$

$$x_2 = \frac{8,8652 + 0,0044}{3} + 0,0595 + 0,3125 + 0,0021 = 3,3306 ;$$

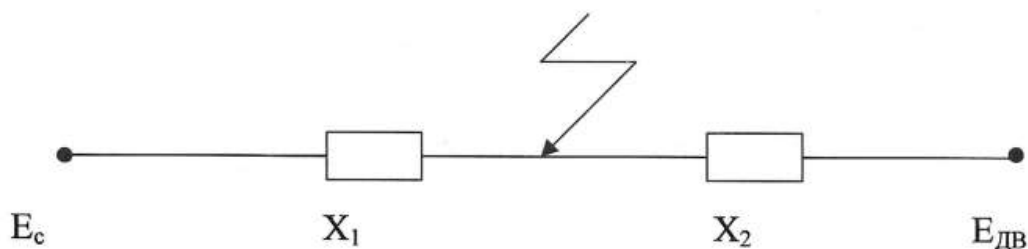


Рис. 1.5

понадперехідний струм від системи –

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$I''_c = \frac{E_c}{x_1} \cdot I_{б.2} ;$$

(1.53)

$$I''_c = \frac{1}{0,0417} \cdot 0,503 = 12,06 \text{ кА};$$

понадперехідний струм від високовольтних двигунів –

$$I''_{дв} = \frac{E_{дв}}{x_2} \cdot I_{б.2} ; \quad (1.54)$$

$$I''_{дв} = \frac{1,1}{3,3306} \cdot 0,503 = 0,166 \text{ кА};$$

загальний понадперехідний струм –

$$I'' = \sqrt{I''_c^2 + I''_{дв}^2} ; \quad (1.55)$$

$$I'' = \sqrt{12,06^2 + 0,166^2} = 12,06 \text{ кА};$$

ударний струм к.з. від системи –

$$i_{y.c} = K_{y.c} \cdot \sqrt{2} \cdot I'' , \quad (1.56)$$

де: $K_{y.c}$ – ударний коефіцієнт від двигунів;

$$i_{y.c} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,06 = 31,55 \text{ кА};$$

ударний струм від двигуна –

$$i_{y.дв} = K_{y.дв} \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{дв} , \text{ кА} \quad (1.57)$$

де: $K_{y.дв}$ – ударний коефіцієнт від двигунів;

$$i_{y.дв} = 1,55 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,166 = 0,364 \text{ кА};$$

загальний ударний струм у точці к.з. –

$$i_y = i_{y.c} + i_{y.дв} ; \quad (1.58)$$

$$i_y = 31,31 + 0,37 = 31,68 \text{ кА};$$

тепловий імпульс к.з. –

$$B_k = I''^2 \cdot (t_{к.з} + T_a) , \quad (1.59)$$

де: $t_{к.з} = t_{р.з} + t_{с.в}$ – повний час відключення, с;

									Арк.
									47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$t_{p.з}$ – час спрацьовування швидкодіючого захисту, прийнятий рівним 1,0 с;

$t_{с.в}$ – час спрацьовування швидкодіючого захисту, прийнятий рівним 0,2 с;

T_a – стала часу загасання аперіодичної складової струму к.з., що рівна 0,065 [3];

$$B_k = 12,06^2 \cdot (1,0 + 0,2 + 0,065) = 183,99 \text{ кА}^2\text{с.}$$

- Визначаємо струми к.з. у точці K_3 (рис. 1.6):

$$x_3 = x_1 + x_{кл.1} + x_T ;$$

$$x_3 = 0,0417 + 0,0021 + 0,3125 = 0,3563 ;$$

$$x_4 = x_2 - x_T - x_{кл.1} ;$$

$$x_4 = 3,3306 - 0,3125 - 0,0021 = 3,016 ;$$

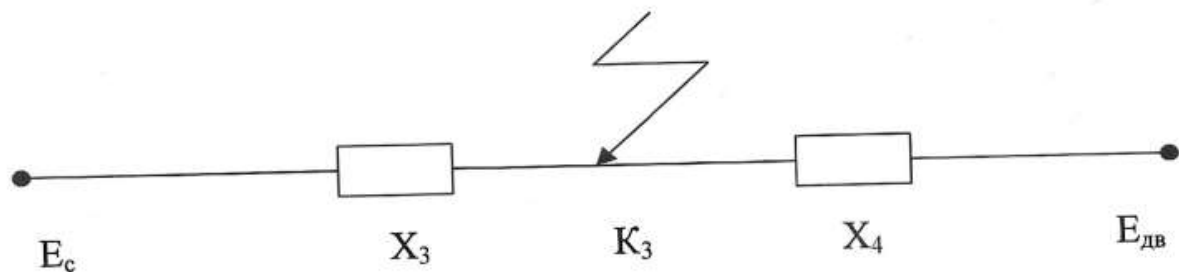


Рис. 1.6

понадперехідний струм від системи –

$$I''_c = \frac{E_c}{x_3} I_{б.1} = \frac{1}{0,3563} \cdot 5,51 = 15,4 \text{ кА};$$

понадперехідний струм від високовольтних двигунів –

$$I''_{дв} = \frac{E_{дв}}{x_4} I_{б.1} = \frac{1,1}{3,016} \cdot 5,51 = 2,01 \text{ кА};$$

загальний понадперехідний струм (формула 1.55) –

$$I'' = \sqrt{15,46^2 + 2,01^2} = 15,59 \text{ кА};$$

ударний струм к.з. від системи (формула 1.56) –

$$i_{у.с} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,46 = 40,45 \text{ кА};$$

ударний струм к.з. від двигунів (формула 1.57) –

					ДП 2023	141	Арк.
							48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$i_{y,дв} = 1,55 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,01 = 4,41 \text{ кА};$$

загальний ударний струм у точці K_3 –

$$i_y = i_{y,c} + i_{y,дв}; i_y = 40,45 + 4,41 = 44,86 \text{ кА};$$

діюче значення періодичної складової струму к.з. у момент часу

$$t = t_{p.з} + t_{0,y}; t = 0,75 + 0,12 = 0,87 \text{ с} -$$

$$I''_{n,t} = \sqrt{I_c''^2 + I_{n,t,дв}^2} = \sqrt{I_c''^2 + (\gamma_{n,t} \cdot I''_{n,t})^2}, \quad (1.60)$$

де: $\gamma_{n,t} = 0,6$ – коефіцієнт загасання періодичної складової струму підживлення від синхронних двигунів при $t=0,87$ с;

$$I''_{n,t} = \sqrt{15,46^2 + (0,6 \cdot 2,01)^2} = 15,5 \text{ кА};$$

аперіодична складова струму к.з. від системи і двигунів (за умови, що стала часу загасання системи $T_{a,c} = 0,065$ с і двигунів $T_{a,дв} = 0,035$ с) –

$$i_{a,t} = \sqrt{2} \cdot (I_c'' \gamma_{a,c,t} + I''_{дв} \gamma_{a,дв,t}) \quad (1.61)$$

де: $\gamma_{a,c,t} = \gamma_{a,дв,t} = 0,1$ – коефіцієнт загасання аперіодичної складової при $t=0,87$ с [3];

$$i_{a,t} = \sqrt{2}(15,46 + 2,01) \cdot 0,1 = 2,47 \text{ кА};$$

амплітудне значення повного струму к.з. –

$$i_{к.з,t} = \sqrt{2} \cdot I''_{n,t} + i_{a,t}; \quad (1.62)$$

$$i_{к.з,t} = \sqrt{2} \cdot 15,5 + 2,47 = 24,4 \text{ кА};$$

тепловий імпульс короткого замикання устаткування, що знаходиться за лінійними вимикачами ЗРПр 10 кВ –

$$t_{к.з} = t_{p.з} + t_{c.в}; t_{к.з} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с};$$

$$W_K = I''^2(t_{к.з} + T_a) = 15,59^2 \cdot (0,15 + 0,05) = 48,61 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

- За аналогією з вище приведеними розрахунками визначаємо струми к.з. у точках K_2, K_4, K_5 . Одержуємо:

$$I''_{к2} = 11,48 \text{ кА}; \quad i_{уд,к2} = 30,4 \text{ кА}.$$

$$I''_{к4} = 13,41 \text{ кА}; \quad i_{уд,к4} = 39,16 \text{ кА}.$$

									Арк.
									49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- Робимо розрахунок стуму однофазного к.з. на шинах 110 кВ ГПП (К₂):

Схема заміщення нульової послідовності представлена нижче на рис.1.7.

Тому, що схема з'єднання обмоток трансформаторів ГПП зірка-трикутник-трикутник, то струм нульової послідовності в мережі 10кВ буде відсутній.

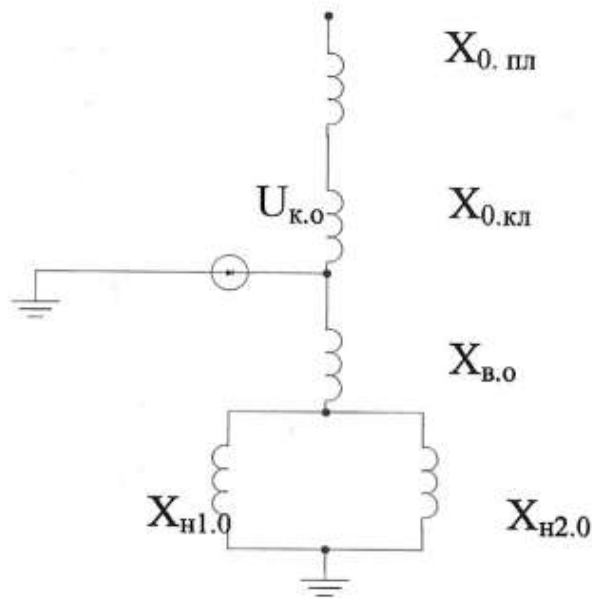


Рис.1.7. Схема заміщення

Визначаємо опори цієї схеми:

Система:

$$X_{0.c} = \frac{m^{(1)} \cdot U_{c.\phi}}{I_{к.з}^{(3)}} - 2X_{1.c} ; \quad (1.63)$$

$$X_{1.c} = X_{c.*б} \cdot \frac{U_H^2}{S_б} ; \quad (1.64)$$

$$X_{1.c} = 0,0285 \cdot \frac{110^2}{100} = 3,45 \text{ Ом} ;$$

$$X_{0.c} = \frac{3 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 11,48} - 2 \cdot 3,45 = 8,8 \text{ Ом} ;$$

$$X_{0.c}^* = \frac{X_{c.o}}{Z_б} = \frac{X_{c.o}}{U_б^2/S_б} ; \quad (1.65)$$

$$X_{o.c.*} = \frac{8,8}{115^2/100} = 0,0665 \text{ в. о.}$$

Повітряна лінія:

$$X_{o.пл.*} = \frac{x'_{o.пл}}{z_6} \cdot l_{пл} = \frac{x'_{o.пл} \cdot l_{пл}}{U_6^2/S_6}, \quad (1.66)$$

$$X_{o.пл.} = 4,7 \cdot x'_{1.пл}; \quad x_{1.пл.} = 4,7 \cdot 0,4 = 1,88 \text{ Ом/км};$$

$$X_{o.пл.*} = \frac{1,88 \cdot 4,435}{115^2/100} = 0,063 \text{ в. о.}$$

Кабельна лінія:

$$X_{o.кл.*} = \frac{x'_{o.кл} \cdot l_{кл}}{U_6^2/S_6};$$

$$x_{o.кл.} = 4,6 \cdot x'_{1.кл}; \quad x_{o.кл.} = 4,6 \cdot 0,18 = 0,828 \text{ Ом/км};$$

$$X_{o.кл.*} = \frac{0,828 \cdot 1,565}{115^2/100} = 0,00098 \text{ в. о.}$$

Трансформатор ГПП:

$$X_{т.в} = 0,031 \text{ в. о.};$$

$$X_{т.н} = 0,27 \text{ в. о.}$$

$$X_{в.о.*} = 0$$

$$X_{н1.о.*} = X_{н2.о.*} = 0,27 \text{ в. о.}$$

Сумарний опір:

$$X_{\Sigma.о.*} = \frac{(X_{л.о.*} + X_{с.о.*} + X_{кл.о.*}) \cdot (X_{в.о.*} + X_{н1.о./2})}{X_{л.о.*} + X_{с.о.*} + X_{кл.о.*} + X_{в.о.*} + X_{н1.о./2}};$$

$$X_{\Sigma.о.*} = \frac{(0,063 + 0,0665 + 0,001) \cdot (0 + 0,27/2)}{0,063 + 0,0665 + 0,001 + 0,27/2} = 0,066 \text{ в. о.}$$

$$X_{\Sigma.1*} = 0,042 \text{ в. о.}$$

Визначаємо додатковий опір однофазного к.з.:

$$\Delta X_*^{(1)} = X_{\Sigma.2*} + X_{\Sigma.о.*} = X_{\Sigma.1*} + X_{\Sigma.о.*};$$

										Арк.
										52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\Delta x_*^{(1)} = 0,042 + 0,066 = 0,108 ;$$

$$\Delta x^{(1)} = \Delta x_*^{(1)} Z_6 = \Delta x_*^{(1)} \cdot U_6^2 / S_6 ;$$

$$\Delta x^{(1)} = 0,108 \cdot \frac{115^2}{100} = 14,28 \text{ Ом.}$$

Струм однофазного короткого замикання в точці К₂:

$$I_{\text{к.з}}^{(1)} = \frac{m^{(1)} \cdot E_{\text{рез.ф.}}}{x_{1.\text{рез}} + \Delta x^{(1)}} ; \quad (1.67)$$

У цьому виразі:

$$x_{1.\text{рез}} = 0,042 \cdot \frac{115^2}{100} = 5,550 \text{ м.}$$

Тоді:

$$I_{\text{к.з}}^{(1)} = \frac{3 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot (5,55 + 14,28)} = 10,04 \text{ кА.}$$

					ДП 2023 141	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Вибір струмоведучих частин і електричних апаратів

3.1 Загальні відомості

Провідники й апарати вибирають по розрахункових умовах нормального режиму і перевіряють на працездатність в умовах аномальних режимів (допустиме нагрівання тривалим максимальним струмом, термічна і динамічна стійкості при к.з., небезпечне зближення гнучких провідників під дією електродинамічних сил к.з. і ін.).

Вибір кабелів мережі 10 кВ був зроблений раніше в п.1.4.2.

Апарати вибирають у такий спосіб [3,7]:

Вибір за умовами тривалої роботи здійснюють згідно виразів:

$$U_{\text{ном.у}} \leq U_{\text{ном.а}} ; \quad (1.68)$$

$$I_{\text{р.у}} \leq I_{\text{ном.а}} ; \quad (1.69)$$

де: $U_{\text{ном.у}}$, $U_{\text{ном.а}}$ – номінальні напруга мережі й апаратів, В;

$I_{\text{р.у}}$, $I_{\text{ном.а}}$ – максимальний струм мережі і номінальний струм апарата, А.

Перевірку апаратів по струму к.з. роблять за умовами:

- електродинамічна стійкість -

$$i_{\text{ном.дин}} \leq i_y ; \quad (1.70)$$

де: $i_{\text{ном.дин}}$ – амплітуда максимально допустимого струму, кА;

i_y – ударний струм к.з.;

					ДП 2023 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір струмоведучих частин і електричних апаратів	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Галанзовський</i>						
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>					54	
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

- термічна стійкість – один з виразів:

$$I_{Т.С.}^2 \cdot t_{Т.С.} \geq B_K; \quad I_{Т.С.}^2 \cdot t_{Т.С.} \geq I^2 \cdot t_n; \quad (1.71)$$

$$I_{Т.С.} \geq \sqrt{\frac{t_n}{t_{Т.С.}}} \cdot I_{\infty}; \quad (1.72)$$

де: $I_{Т.С.}, t_{Т.С.}$ – струм і час термічної стійкості, що задаються заводом-виготовлювачем;

B_K – тепловий імпульс, рівний

$$B_K = \int_0^t i_{к.з.}^2 dt; \quad (1.73)$$

при $t_{к.з.} \geq 0,2$ с величину B_K знаходять по формулі

$$B_K \approx (I'')^2 (t_{к.з.} + T_a), \quad (1.74)$$

де: $I'' \approx I_{\infty}$;

$t_{к.з.}$ – час короткого замикання;

T_a – стала часу загасання аперіодичної складової струму к.з.;

час t_n знаходять по формулі:

$$t_n = t_{n.n} + t_{n.a}, \quad (1.75)$$

де: $t_{n.n}$ – знаходять по кривих у функції від часу включення $t_{відкл.}$;

$\beta'' = I''/I_{\infty}$ (при обмеженій потужності системи $t_{n.n} = t_{відкл.}$);

$$t_{n.a} = 0,05 (\beta'')^2; \quad (1.76)$$

- відключаюча здатність –

$$I_{ном. відкл.} \geq I_{п.о}, \quad (1.77)$$

де: $I_{ном. відкл.}$ – номінальний струм відключення апарата;

$I_{п.о}$ – періодична складова струму к.з. при $t=0$.

					ДП 2023	141	Арк.
							55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.2 Вибір вимикачів на напругу 10 кВ

Вимикачі вибирають по номінальному струму, номінальній напрузі, по типу, роду установки і перевіряють по електродинамічній і термічній стійкості, а також здатності до відключення струмів к.з.

Робимо вибір і перевірку ввідного вимикача ЗРПр 10 кВ ГПП.

Визначимо розрахункове навантаження вимикача в післяаварійному режимі, коли один трансформатор ГПП чи одне коло ПЛ вийдуть з ладу і включаться секційні вимикачі ЗРПр 10 кВ ГПП.

Як впливає з п.1.2.4, сумарне максимальне навантаження на стороні 10 кВ ГПП дорівнює:

$$P_m = 84587 \text{ кВт}; Q_m = Q_{\Pi} = 0 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}; S_m = 84587 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{p.a} = \frac{84587}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 2442 \text{ А}.$$

Вибираємо вимикач ВЭ-10-2500-31, 5У3 з наступними параметрами:

$$U_{\text{ном.}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{ном.відкл.}} = 31,5 \text{ кА}; I_{\text{ном.}} = 2500 \text{ А}; i_{\text{к.з.мах}} = 80 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к.з.мах}} = 31,5 \text{ кА};$$

$$I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{т.с.}} = 4 \text{ с};$$

Робимо перевірку по умовам (1.68-1.77):

$$U_{\text{ном.у}} \geq U_{\text{ном.у}}; 10 = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{ном.у}} \geq I_{p,y}; 2500 \text{ А} > 2442 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{ном.отк}} \geq I_{п.о}; 31,5 \text{ кА} > 15,59 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ном.дин}} > i_y; 80 \text{ кА} > 44,86 \text{ кА};$$

$$I_{\text{т.с.}}^2 \cdot t_{\text{т.с.}} \geq B_k; 31,5^2 \cdot 4 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \geq 48,61 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

де: $B_k = 48,61 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$ знайдемо в п.1.5

Вимикач ВЭ-10-2500-31, 5У3 задовольняє всім умовам вибору і є прийнятним для установки на ввід в ЗРПр 10 кВ ГПП.

Результати вибору вимикачів на відгалудженнях до РП1 і ТП2 представлені в таблиці 1.14

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Аналогічно робимо вибір інших вимикачів, дані яких зазначені на листі №3. На вводах у РП і на лініях, що відходять, установлюємо вимикач ВКЭ-10-20/630УЗ з $I_H = 630$ А.

Як секційні вимикачі на секціях шин ЗРПр 10 кВ ГПП приймаємо вимикач ВЭ-10-2500-31,5УЗ з $I_H = 2500$ А, а на РП1 - РП5 ВКЭ-10-20/630УЗ з $I_H = 630$ А.

Таблиця 1.14 Вибір вимикачів напругою 10 кВ

Установка	Тип вимикача	Розрахункові дані	Припустимі величини	Результати вибору
1	2	3	4	5
РП1	ВКЭ-10-20/630УЗ	$U_{н.у} = 10$ кВ	$U_{н.а} = 10$ кВ	$10 = 10$ (кВ)
		$I_{р.у} = 809$ А	$I_{н.а} = 1000$ А	$529 < 1000$ (А)
		$i_y = 44,86$ кА	$i_{ном.дин} = 52$ кА	$44,86 < 52$ (кА)
		$I_{п.о} = 15,59$ кА	$I_{н.відкл.} = 20$ кА	$15,59 < 20$ (кА)
		$B_k = 48,61$ А ² · с	$I_{т.с} = 20$ кА при $t_{т.с} = 4$ с	$48,61 < 1600$ (А ² · с)
ТП2	ВКЭ-10-20/630УЗ	$U_{н.у} = 10$ кВ	$U_{н.а} = 10$ кВ	$10 = 10$ (кВ)
		$I_{р.у} = 54$ А	$I_{н.а} = 630$ А	$54 < 630$ (А)
		$i_y = 44,86$ кА	$i_{ном.дин} = 52$ кА	$44,86 < 52$ (кА)
		$I_{п.о} = 15,59$ кА	$I_{н.відкл.} = 20$ кА	$15,59 < 20$ (кА)
		$B_k = 48,61$ А ² · с	$I_{т.с} = 20$ кА при $t_{т.с} = 4$ с	$48,61 < 1600$ (А ² · с)

3.3 Вибір вимикачів і роз'єднувачів на напругу 110 кВ

Визначаємо розрахункове значення струму навантаження, що проходить через ці апарати в післяаварійному режимі:

$$I_{р.а} = \frac{85224}{\sqrt{3} \cdot 110} = 447 \text{ А,}$$

де: 85224 кВа – максимальна повна потужність згідно п.1.3.3.

Порівняння розрахункових і каталожних даних вимикачів ВВЭ-110Б-16/1600УХ1 приведено в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{н.у} = 110 \text{ кВ}$	$U_{н.а} = 110 \text{ кВ}$
$I_{р.у} = 447 \text{ А}$	$I_{н.а} = 1600 \text{ А}$
$I_{р.відкл} = I_{к.з} = 12,06 \text{ кА}$	$I_{н.відкл} = 26 \text{ кА}$
$i_y = 31,91 \text{ кА}$	$i_{ном.дин} = 67 \text{ кА}$
$B_k = 12,06^2 \cdot 2 = 291 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} = 26^2 \cdot 3 = 2028 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Порівняння розрахункових і каталожних даних роз'єднувачів РНД32-110/1000ХЛ1 наведено в таблиці 1.16

Таблиця 1.16

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{н.у} = 110 \text{ кВ}$	$U_{н.а} = 110 \text{ кВ}$
$I_{р.у} = 447 \text{ А}$	$I_{н.а} = 1000 \text{ А}$
$i_y = 31,9 \text{ кА}$	$i_{ном.дин} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 12,06^2 \cdot 2 = 291 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

3.4 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму в колі 110 кВ трансформаторів ГПП ТРДН-63000/110 приймаємо типу ТВ110-11У2; ХЛ2. Розрахункові і каталожні дані зведені в таблицю 1.17.

Таблиця 1.17

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{н.у} = 110 \text{ кВ}$	$U_{н.а} = 110 \text{ кВ}$
$I_p = 447 \text{ А}$	$I_{н.а} = 600 \text{ А}$
$i_y = 31,91 \text{ кА}$	$i_{ном.дин} = 60 \text{ кА}$
$B_k = 12,06^2 \cdot 2 = 291 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибираємо трансформатори струму в колі 10 кВ трансформаторів ГПП типу ТВ10-1У2. Порівняння розрахункових і каталожних даних зведено в таблицю 1.18.

Таблиця 1.18

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{н.у} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н.а} = 110 \text{ кВ}$
$I_p = 4884 \text{ А}$	$I_{н.а} = 600 \text{ А}$
$i_y = 44,86 \text{ кА}$	$i_{ном,дин} = 60 \text{ кА}$
$B_k = 15,59^2 \cdot 2 = 365 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} = 85,5^2 \cdot 4 = 29241 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В інших колах напругою 10 кВ приймаємо трансформатори струму на номінальні струми, що відповідають струмам цих кіл.

Перевіряємо обраний трансформатор на роботу у відповідному класі точності. У таблицю 1.19 зведені навантаження трансформатора струму.

Таблиця 1.19

Прилад	Тип	Навантаження в фазах, ВА	
		А	С
Ватметр	Д-325	0,5	0,5
Лічильник активної енергії	Ц-680	2,5	2,5
Амперметр		0,1	0,1
Разом		3,1	3,1

Визначаємо потужність, яку можна втратити в сполучному кабелі від трансформаторів струму до вимірювальних приладів за формулою

$$S_{2,ном} = S_{прил.} + I_{2,ном}^2 \cdot (r_{конт.} + r_{пров.}). \quad (1.78)$$

У нашому випадку $S_{т.т} = S_{2,ном} = 20 \text{ ВА}$; $S_{прил} = 3,1 \text{ ВА}$; $I_{2,ном} = 5 \text{ А}$;

$r_{конт.} = 0.1 \text{ Ом}$.

Тоді:

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$r_{\text{пров.}} = \frac{20 - (3,1 + 5^2 \cdot 0,1)}{25} = 0,776 \text{ Ом.}$$

Приймаємо довжину сполучних кабелів від трансформаторів струму, встановлених у ЗРПр, до вимірювальних приладів, встановлених у колі управління, $L = 20$ м. Тоді при з'єднанні трансформаторів струму в неповну зірку переріз жил сполучного кабелю повинен задовольняти умові

$$F \geq \frac{\sqrt{3} \cdot L}{\gamma \cdot r_{\text{пров.}}} ; \quad (1.79)$$

$$F \geq \frac{\sqrt{3} \cdot 20}{35 \cdot 0,776} = 1,3 \text{ мм}^2 .$$

Приймаємо стандартний переріз жил кабелю АКВР 1,5 мм².

Потужність, що споживана котушкою електромагнітного реле РТ, складає 0,1 В·А. Допустимий опір проводів:

$$r_{\text{пров.}} = \frac{20 - (0,1 + 5^2 \cdot 0,1)}{25} = 0,696 \text{ Ом}$$

Переріз проводу:

$$F \geq \frac{\sqrt{3} \cdot 20}{35 \cdot 0,696} = 1,42 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз 1,5 мм². При обраних перерізах жил кабелів і проводів і заданому споживанні енергії котушками приладів і реле обраний трансформатор струму працює в заданому класі точності.

3.5 Вибір трансформаторів напруги

На секціях ЗРПр 10 кВ ГПП і РП передбачається установка трансформаторів напруги типу НТМИ – 10, що працюють у класі точності 0,5.

3.6 Вибір вимикачів навантаження напругою 10 кВ

У таблиці 1.20 приведене порівняння розрахункових і каталожних даних вимикачів навантаження ВНПУ-10/400-10УЗ на лінії вводу в КТП 31.

									Арк.
									61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Разом з вимикачем навантаження встановлюється струмообмежуючий запобіжник типу ПКТ 101-10.

Таблиця 1.20

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{н.у} = 10 \text{ кВ}$	$U_{н.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_{р.у} = 130 \text{ А}$	$I_{н.а} = 400 \text{ А}$
$I_{к.з} = 13,28 \text{ кА}$	$I_{н.відкл} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 38,75 \text{ кА}$	$i_{ном.дин} = 40 \text{ кА}$
$B_k = 13,28^2 \cdot 0,5 = 88,18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{т.с}^2 \cdot t_{т.с} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

3.7 Вибір захисних апаратів на напругу до 1000 В

Вибір автоматичних вимикачів і запобіжників мережі напругою 0,38 кВ зроблений у п.1.8.10.

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4. Електропостачання ділянки ковальського цеху

4.1 Коротка характеристика ділянки

Ковальський цех призначений для виготовлення кувань і зварених деталей і вузлів для подальшого їхнього використання при виготовленні автомобільних двигунів, а також для їхнього ремонту.

Режим роботи цеху трьохзмінний при 41 - годинному робочому тижні. Річне число годин роботи електроустановок $T_r = 8760$ год/рік. Час використання максимуму навантаження $T_m = 4000$ год/рік.

До складу цеху входять виробничі відділи, допоміжні відділи, склади, службові і побутові приміщення. Заготівлі на дану виробничу ділянку надходять із заготівельного відділу. На ділянці роблять наступні технологічні операції: обробка вихідного матеріалу на заготівки визначених розмірів, нагрів і термообробка, обробка тиском, оздоблювальні операції (обдирання очищення, зняття заусінців і ін.).

Нагрівання заготовок перед куванням здійснюється в печах чи електричних нагрівальних установках. Кування виконують під пневматичними ковальськими молотами. Після кування заготівки передають у тарі однобалковим краном на термообробку і далі на очищення. Після очищення здійснюють контроль і далі ковку здають на склад.

4.2 Характеристика електроприймачів

Споживачами електричної енергії на ділянці цеху є: ковальсько-пресове устаткування, вентилятори, крани, металообробні верстати, гартівні печі й інші нагрівальні пристрої, зварювальні трансформатори, допоміжні верстати, електричне освітлення. Усі приймачі електричної енергії розраховані на трифазний змінний струм промислової частоти $f = 50$ Гц. Система освітлення розрахована на однофазний струм промислової частоти.

					ДП 2023 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання ділянки ковальського цеху					
Розробив		<i>Галанзовський</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Бориченко О.В</i>							63	
Н. Контр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

По надійності електропостачання ЕП відносяться до другої і третьої категорій. Потужність і режими роботи ЕП будуть приведені нижче при розрахунку ЕН.

4.3 Характеристика джерела живлення

Живлення ЕП ділянки цеху здійснюється від цехової трансформаторної підстанції ТП27, що живиться від ЗРПр 10 кВ ГПП підприємства.

Силова частина ділянки трифазна, частота $f = 50\text{Гц}$, напруга $U = 380\text{В}$ з системою живлення від трансформатора з глухозаземленою нейтраллю, що дозволяє одночасно заживлювати як силове, так і освітлювальне навантаження.

4.4 Розрахунок електричних навантажень освітлювальних установок

Згідно ПУЕ в ковальському цеху 5-7-ий розряд зорових робіт. Тому встановлюємо тільки систему загального освітлення. Висота приміщення $h = 8\text{м}$.

Виходячи з умов технології і середовища, вибираємо тип світильника. Для приміщень висотою $h > 6\text{м}$ доцільно приймати світильники глибокого світлорозподілу. Приймаємо до установки світильник ЛСП-06 - підвісний, дифузійний, для виробничих приміщень, пилозахисений [4,5].

Мінімальна норма освітленості E_{\min} на поверхні робочого місця для таких приміщень складає 200 лк.

Визначаємо висоту підвісу світильників h :

$$h = h_n - h_{\text{св}} - h_p \quad (1.100)$$

де: h_n - висота приміщення, м;

$h_{\text{св}}$ – висота звису світильника від місця кріплення;

$h_{\text{св}} = 0,8\text{м}$;

h_p - висота поверхні робочого місця; $h_p = 1,3\text{м}$;

$$h = 8 - 0,8 - 1,3 = 5,9\text{м}$$

Дана висота джерела світла дозволяє застосовувати люмінесцентні лампи.

Визначаємо необхідну кількість світильників для створення рівномірної освітленості при найкращому світлорозподілі світлового потоку лампи.

									Арк.
									64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де: $L_B=L_A=4,2\text{м}$;

A – довжина приміщення, м.

Одержуємо:

$$N_{CB1} = 41,5/4,2=10\text{шт};$$

$$N_{CB2} = 78,5/4,2=19\text{шт}.$$

Кількість світильників на ділянці:

$$N = 19 \cdot 19 + 9 \cdot 10 = 451 \text{ шт}.$$

Визначимо світловий потік для створення нормованої освітленості по методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F_H = \frac{K_3 \cdot S \cdot E_{\min} \cdot Z}{\eta}, \quad (1.103)$$

де: $K_3=1,5$ – коефіцієнт запасу;

$Z=1,1$ – для люмінесцентних ламп;

S – площа приміщення, м^2 ;

η – коефіцієнт використання світильника, що залежить від типу світильника, відбиваючої здатності стелі $\rho_{\text{ст}}$, стін ρ_c , підлоги $\rho_{\text{п}}$ і індексу приміщення i , рівного:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} \quad (1.104)$$

Для даного приміщення: $\rho_{\text{ст}} = 50\%$, $\rho_c = 30\%$, $\rho_{\text{п}} = 10\%$, $\eta_2 = 60\%$, $\eta_1 = 56\%$

Тоді:
$$i_1 = \frac{41,5 \cdot 40}{5,9(41,5+40)} = 3,5;$$

$$i_2 = \frac{78,5 \cdot 78,5}{5,9(78,5+78,5)} = 6,7;$$

Так як $i_2 = 6,7 > 5$, приймаємо $i_2=5$;

$$F_{H1} = \frac{1,5 \cdot 41,5 \cdot 40 \cdot 200 \cdot 1,1}{0,56} = 987107 \text{ лм};$$

$$F_{H2} = \frac{1,5 \cdot 78,5 \cdot 200 \cdot 1,1}{0,6} = 3420049 \text{ лм}.$$

Світловий потік у проєктованій лампі:

									Арк.
									66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$F_{л} = \frac{F_{н}}{N}; \quad (1.105)$$

$$F_{л1} = \frac{987107}{9 \cdot 10} = 10967 \text{ лм};$$

$$F_{л2} = \frac{3420049}{19 \cdot 19} = 9473,8 \text{ лм}.$$

Світильник ЛСП – 06 дволамповий, тому знаходимо потоки однієї лампи для їхнього типу:

$$F_{л1} = \frac{10967}{2} = 4736,9 \text{ лм};$$

$$F_{л2} = \frac{9473,8}{2} = 5483,9 \text{ лм}.$$

Вибираємо лампу виходячи з умови:

$$0,9 F_{л} \leq F_{ст} \leq 1,2 F_{л}, \quad (1.106)$$

де: $P_{н.о.i}$ – номінальна потужність однієї лампи, Вт.

$$P_{н.о} = 2 \cdot 80 \cdot 451 = 72160 \text{ Вт}$$

Максимальне навантаження освітлення знаходимо по формулі (1.2), приймаючи коефіцієнт попиту для виробничих приміщень даного типу $K_{п.о} = 0,95$:

$$P_{м.о} = 0,95 \cdot 72160 = 68552 \text{ Вт}$$

Згідно (1.3):

$$Q_{м.о} = P_{м.о} \operatorname{tg} \varphi_0,$$

де: $\operatorname{tg} \varphi_0 = 0,39$ при $\cos \varphi_0 = 0,93$.

Тоді:

$$Q_{м.о} = 68552 \cdot 0,39 = 39075 \text{ В} \cdot \text{А}_p$$

Повне навантаження

$$S_{м.о} = \sqrt{P_{м.о}^2 + Q_{м.о}^2}; \quad (1.108)$$

$$S_{м.о} = \sqrt{68552^2 + 39075^2} = 78,9 \text{ кВА};$$

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

18-22	Поперечно-строгальний верстат	5	11	55	0,2	0,65/1,1 7	11	12,87
23-26	Токарно-гвинторізний верстат	4	3,4	13,6	0,2	0,65/1,1 7	2,72	3,182
27,28	Плоскошліфовальний верстат	2	5	10	0,2	0,65/1,1 7	2	2,34
29,30	Шліфувальний напівавтомат	2	23	46	0,2	0,65/1,1 7	9,2	10,76 4
31	Кран-балка, ТВ=30%	1	15,34	15,34	0,3	0,5/1,73	4,602	7,916
Разом:		31		338,1 4	0,303		101,4 62	109,2 94

$n_e = 2 \cdot \frac{338,14}{22} = 30,7$ – формула(1.13); $P_M = 1,24 \cdot 101,46 = 125,81$ кВт – формула(1.15);

$K_M = f(n_e, \text{кВ}) = 1,24$; $Q_M = Q_{\text{с.з.м.}\Sigma} = 109,29$ кВА – формула(1.16)

4.6 Визначення максимальних навантажень по ділянці

Максимальне ЕН по ділянці підраховується по формулах:

$$P_M = P_{\text{м.с}} + P_{\text{м.о}}; \quad (1.109)$$

$$Q_M = Q_{\text{м.с}} - Q_{\text{КПр.0,38}} + Q_{\text{м.о}}; \quad (1.110)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}; \quad (1.111)$$

де: $P_{\text{м.с}}, Q_{\text{м.с}}$ – розрахункові ЕН силових електроприймачів напругою до 1000В;

$P_{\text{м.о}}, Q_{\text{м.о}}$ – розрахункові ЕН освітлювальних установок;

$Q_{\text{КПр.0,38}}$ – потужність установок, що компенсують напругою $U_H = 1000$ В;

Потужність $Q_{\text{КПр.0,38}}$ для даної ділянки знаходимо, виходячи з економічного нормативного значення $\text{tg}\varphi_{\text{ек}} = 0,15$ (для споживачів з $U_H < 1000$ В)

$$Q_{\text{КПр.0,38}} = 0,15 (P_{\text{м.с}} + P_{\text{м.о}}) - (Q_{\text{м.с}} + Q_{\text{м.о}}); \quad (1.112)$$

$$Q_{\text{КПр.0,38}} = 0,15 (125,81 + 68,6) - (109,29 + 39,1) = - 119,2 \text{ кВАр};$$

На даній ділянці встановлюємо одну конденсаторну установку УКН - 0,38 - 200-50УЗ.

Визначення сумарного максимального ЕН по ділянці зведено в таблицю 1.22.

								Арк.
								68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2023 141			

Таблиця 1.22

Вид електроприймача	Розрахункове навантаження		
	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВа
1.Силові до 1000В	125,81	109,29	166,7
2.Освітлювальні	68,6	39,1	78,4
Разом:	194,41	148,39	244,6
3.Компенсуючі пристрої		-100	
Разом:	194,41	48,39	200,34

4.7 Вибір схеми електропостачання ділянки

Електричну мережу ділянки виконуємо за змішаною схемою (лист №4). Живлення силових ЕП здійснюємо за радіальною схемою, а інших - за магістральною схемою. Живлення силових пунктів від ТП виконуємо кабелями, прокладеними в каналах у підлозі. З огляду на розташування ЕП на плані, виділимо три вузли живлення споживачів. Для розподілу електроенергії по окремим ЕП установлюємо три силових пункти. Живлення окремих ЕП від силових пунктів виконуємо проводами, прокладеними в трубах у підлозі.

Результати визначення розрахункових ЕН по окремих вузлах методом розрахункових коефіцієнтів зведені в таблицю 1.23.

На силових пунктах установлюємо силові шафи закритого типу серії ЩР - 11 з $I_n = 400$ А. Ввід в шафи здійснюється через рубильник Р16-373, а на відгалуженнях до ЕП установлені запобіжники типу ПН-2 (лист №4). Силові шафи вибираємо по розрахунковому струмі групи ЕП, числу і розрахунковим струмам запобіжників ліній, що відходять. Як освітлювальні щити (ЩО1, ЩО2) використовуємо щитки серії ЯОУ-8501 із шістьма автоматичними вимикачами типу АЕ-1031-1 на номінальній струми 25 А. Дані силових шаф приведені в таблиці 1.24.

									Арк.
									69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 1.23

№	Найменування електроприймачів	п, шт	P _{н.і.} , кВт	ΣP _{н.і.} , кВт	m	K _{в.і}	Середні потужності за максимально навантаженою зміну		пс	Kp· a	Kp· p	Розрахункові потужності			Ip, А
							P _{с.зм.} , кВт	Q _{с.зм.} , кВ·Ар				Pp, кВт	Qp, кВар	Sp, кВа	
1	Вентилятор	1	58	58	1	0,7	40,6	30,45	1	1,14	1,1	49,48	35,81	61,08	92,8
2	Плоскошліфувальний станок	1	22	22	1	0,2	4,4	5,148	1	5,5	1,1	17,6	4,11	18,07	27,5
3-5	Радіально-свердильний станок	3	6	18	1	0,2	3,6	4,212	3	2,55	1,1	16,83	8,49	18,85	28,6
6-8	Горизонтально-фрезерний станок	3	9,4	28,2	1	0,2	5,64	6,6	3	2,55	1,1	3,06	1,54	3,43	5,2
9,10	Зварювальний трансформатор, ТВ=25%	2	15	30	1	0,25	7,5	14,93	2	3,36	1,1	52,08	33,94	62,16	94,4
11	Гідравлічний прес	1	6	6	1	0,2	1,2	1,404	1	5,5	1,1	3,3	0,77	3,39	5,2
12,13	Гальванічна ванна	2	2	4	1	0,65	2,6	1,95	2	1,2	1,1	2,18	1,52	2,66	4
14,15	Універсально-заточний верстат	2	7	14	1	0,2	2,8	3,276	2	4	1,1	14,4	4,63	15,13	23
16,17	Вертикально-фрезерний верстат	2	9	18	1	0,2	3,6	4,212	2	4	1,1	12,8	4,11	13,44	20,4
18-22	Поперечно-строгальний верстат	5	11	55	1	0,2	11	12,87	5	1,62	1,1	19,44	15,44	24,83	37,7
23-26	Токарно-гвинторізний верстат	6	3,4	13,6	1	0,2	2,72	3,182	4	1,78	1,1	4,27	3,09	5,27	8
27,28	Плоскошліфовальний верстат	2	5	10	1	0,2	2	2,34	2	4	1,1	9,6	3,09	10,09	15,3
29,30	Шліфувальний напівавтомат	2	23	46	1	0,2	9,2	10,764	2	4	1,1	38,4	12,35	40,34	61,3
31	Кран-балка, ТВ=30%	1	15,34	15,34	1	0,3	4,602	7,961	1	3,04	1,1	27,36	11,58	29,71	45,1
Разом:		31		338,14	44,3	0,303	101,462	109,294	31	2,16	1,1	270,8	140,47	305,07	463,5

Таблиця 1.24 Типи і параметри розподільних шаф

Вузол мережі	Тип шафи	Число трифазних груп і номінальні струми запобіжників ліній, що відходять, А
СП1	ШР11-73707	$3 \times 100 + 2 \times 250$
СП2	ШР11-73707	$3 \times 100 + 2 \times 250$
СП3	ШР11-73510	$2 \times 60 + 4 \times 100 + 2 \times 250$

4.8 Вибір перерізу проводів і жил кабелів

Для живлення силових розподільних шаф вибираємо кабель ААШВУ, для живлення щитів освітлення - кабель АВВГ. Переріз жил кабелю вибираємо згідно умови 1.43.

Розрахункові навантаження кабелів, що живлять СП, приведені в таблиці 1.25

Визначимо розрахункові струми для живлення щитків освітлення по формулі

$$I_{p.0.1} = \frac{P_{p.0.}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_0} \quad (1.115)$$

Для ЩО1, що живить світильники частини ділянки площею S_1 :

$$I_{p.0.1} = \frac{0,95 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,93} = 22,3 \text{ А}$$

Для ЩО1, що живить світильники частини ділянки площею S_2 :

$$I_{p.0.2} = \frac{0,95 \cdot 19 \cdot 19 \cdot 0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,93} = 89,6 \text{ А}$$

Вибір перерізу кабелів зведемо в таблицю 1.25

Таблиця 1.25 Вибір кабелів цехової мережі

Найменування лінії до	I_p, A	I_d, A	Марка і переріз S, mm^2
ТП – СП1, СП2	404	440	ААШВУ 3 × 240 + 1 × 120
СП1 – СП2	146	145	ААШВУ 3 × 35 + 1 × 16
ТП – СП3	333	335	ААШВУ 3 × 150 + 1 × 70
ТП – ЩО1	22,3	28	АВВГ 3 × 4 + 1 × 2,5
ТП – ЩО2	89,6	90	АВВГ 3 × 35 + 1 × 16

Аналогічно робимо вибір проводів для живлення ЕП. Результати зведені в таблицю 1.26

Зробимо перевірку обраних перерізів проводів і кабелів по допустимій втраті напруги, виходячи з умови

$$\Delta U \leq \Delta U_d, \quad (1.113)$$

де:
$$\Delta U_d = \pm \delta U_{y.1} + \sum E \pm \delta U_{y.ЕП}. \quad (1.114)$$

Приймаючи напругу на вторинній стороні трансформатора рівною 380 В, одержимо:

$$\delta U_{y.1} = 0\%, \delta U_{y.ЕП} = \pm 5\% ;$$

$$\sum E = E_T + E_c = 0 ;$$

$$\Delta U_d = 0 + 0 + 5 = 5\% .$$

Таблиця 1.26 Вибір проводів цехової мережі

Вузол живлення	Номера устаткування на плані	I_p , А	I_d , А	Марка і переріз S , мм ²
1	2	3	4	5
СП1	1,5,6	40	55	АПВ 3 (1 × 16) + 1 × 6
	3,4	58,7	70	АПВ 3 (1 × 25) + 1 × 10
	11	82,3	85	АПВ 3 (1 × 35) + 1 × 25
	12,13	94,3	100	АПВ 3 (1 × 50) + 1 × 25
	14,15	24,1	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
СП2	2,7,8,9,10	26	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	16,22,23,24,25	25,4	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	18,19	51,6	55	АПВ 3 (1 × 16) + 1 × 6
	20,21	36,1	39	АПВ 3 (1 × 10) + 1 × 4
	17	131	140	АПВ 3 (1 × 70) + 1 × 35
СП3	26,30,31	131	140	АПВ 3 (1 × 70) + 1 × 35
	27	43,4	55	АПВ 3 (1 × 16) + 1 × 6
	29,33	20,1	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	28,32	9,03	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	37,38	10,5	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	35,36	10,5	30	АПВ 3 (1 × 6) + 1 × 2,5
	34	131	140	АПВ 3 (1 × 70) + 1 × 35
	39	82,3	85	АПВ 3 (1 × 35) + 1 × 25

Визначимо втрати напруги в кабелях ТП – СП по формулі

					ДП 2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

4.9 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів к.з. робимо, використовуючи схему, показану на рис.1.9.а, і схему заміщення – рис.1.9.б.

Розрахунок струмів короткого замикання в точці K_1 на шинах 0,4 кВ ТП робимо, використовуючи схему заміщення (рис.1.9.б).

Опори елементів короткозамкнутого кола:

Трансформатор:

$$r_T = \frac{\Delta P_{к.з} (1,05 U_H)^2 \cdot 10^6}{S_{H.T}^2} \quad (1.116)$$

$$r_T = \frac{18,0 \cdot (1,05 \cdot 0,38)^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,12 \text{ мОм};$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{к.з}}{S_{H.T}}\right)^2} \cdot \frac{(1,05 \cdot U_H)^2 \cdot 10^6}{S_{H.T}}; \quad (1.117)$$

$$x_T = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{18,0}{1600}\right)^2} \cdot \frac{(1,05 \cdot 0,38)^2 \cdot 10^6}{1600} = 5,36 \text{ мОм}$$

Шини:

$$r_{ш} = r_{ош} \cdot I_{ш}; \quad x_{ш} = x_{ош} \cdot I_{ш}; \quad (1.118)$$

$$r_{ш} = 0,0418 \cdot 10 = 0,42 \text{ мОм};$$

$$x_{ш} = 0,163 \cdot 10 = 1,63 \text{ мОм};$$

Автоматичні вимикачі (таблиця 2.54 [3]):

$$X_{QF1} = 0,13 \text{ мОм}; X_{QF2} = 0,7 \text{ мОм}; X_{QF3} = 0,17 \text{ мОм}; X_{QF4} = 0,7 \text{ мОм}; X_{QF5} = 0,7 \text{ мОм};$$

Кабельні лінії:

$$r_{кЛ} = r_{окЛ} \cdot l_{кЛ}; \quad x_{кЛ} = x_{окЛ} \cdot l_{кЛ}; \quad (1.119)$$

Розрахунок величин $r_{кЛ}$ і $x_{кЛ}$ зведено в таблицю 1.27

					ДП 2023	141	Арк.
							75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

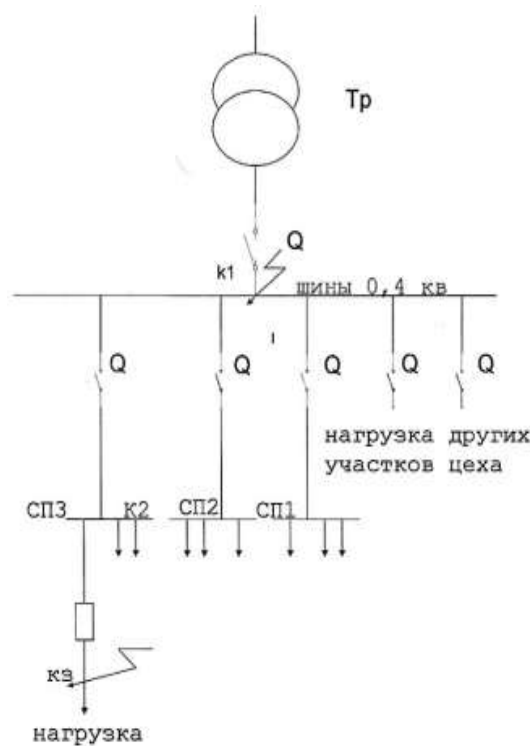


Рис. 1.9а

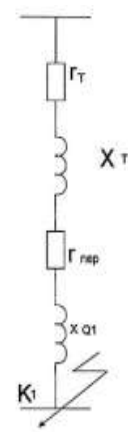


Рис. 1.9б

Таблиця 1.27 Значення опорів кабельних ліній

Найменування лінії від – до	Марка і переріз S, мм ²	Довжина на l, м	Опір, Ом/км		Опір, мОм	
			г ₀	х ₀	г	х
ТП-СП1, СП2	ААШВУ 3 × 240 + 1 × 120	47,5	0,13	0,0587	6,18	2,79
СП1 – СП2	ААШВУ 3 × 35 + 1 × 16	15,25	0,894	0,0637	13,6	0,971
ТП – СП3	ААШВУ 3 × 150 + 1 × 70	30	0,208	0,0596	6,24	1,79
ТП – ЩО1	АВВГ 3 × 4 + 1 × 2,5	72,5	7,85	0,095	56,9	6,89
ТП – ЩО2	АВВГ 3 × 35 + 1 × 16	47,5	0,894	0,0637	42,5	3,02

Провід:

$$r_{\Pi} = r_{0\Pi} \cdot l_{\Pi}; \quad x_{\Pi} = x_{0\Pi} \cdot l_{\Pi};$$

$$r_{\Pi} = 0,06 \cdot 47,5 = 2,85 \text{ мОм};$$

$$x_{\Pi} = 0,9 \cdot 47,5 = 42,8 \text{ мОм};$$

$$I_K = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}; \quad (1.123)$$

$$I_{K,2}^{(3)} = \frac{1,05 - 380}{\sqrt{3} \cdot 18,6} = 12,4 \text{ кА}.$$

Ударний струм к.з:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)}, \quad (1.24)$$

де, $k_y = 1,07$ – ударний коефіцієнт, що визначається по кривій

$k_y = f(x/r)[3]$;

$$i_y = 1,07 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,4 = 18,74 \text{ кА}$$

Аналогічно знаходимо струми к.з в інших точках.

Дані розрахунків зводимо в таблицю 1.29

Таблиця 1.29. Розрахунок струмів короткого замикання

Точки к.з	Опір, мОм			$I_K^{(3)}$, кА	k_y , в.о.	i_y , кА
	r_Σ	x_Σ	Z_Σ			
K_1	10,6	7,12	12,77	18,03	1,09	19,65
K_2	15,12	10,84	18,6	12,4	1,07	18,74
K_3	39,62	12,13	41,4	5,56	1	5,56
K_4	14,8	9,08	17,34	13,28	1,04	13,8
K_5	75,82	12,93	76,9	2,99	1	2,99
K_6	51,04	17,84	54,06	4,26	1	4,26

Визначасмо струми однофазного к.з:

Діюче значення періодичної складової струму к.з

$$I^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot U_H}{\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot U_H}{\sqrt{(r_\Sigma^{(1)})^2 + (x_\Sigma^{(1)})^2}}, \quad (1.125)$$

де:

$r_{1\Sigma}, x_{1\Sigma}$ - сумарні опори прямої послідовності, мОм;

$r_{2\Sigma}, x_{2\Sigma}$ - сумарні опори зворотної послідовності, мОм;

$r_{0\Sigma}, x_{0\Sigma}$ - сумарні опори нульової послідовності, мОм;

Згідно [3] приймаємо: $r_{2\Sigma} = r_{1\Sigma}$; $x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma}$; $r_{0\Sigma} = r_{1\Sigma}$.

Розрахунок індуктивних опорів нульової послідовності зроблений у таблиці 1.30, а результати розрахунків однофазних струмів к.з. зведені в таблицю 1.31.

Таблиця 1.30 Розрахунок індуктивних опорів нульової послідовності

Елемент мережі	Розрахункова формула	Значення опору, мОм
Трансформатор ТМЗ-1600/10	$x_0 = x_1$	5,36
Шини	$x_0 = 2 \cdot x_1$	3,26
Автоматичні вимикачі та відокремлювачі	$x_0 = 2 \cdot x_1$	QF ₁ : 0,26
		QF ₂ : 1,4
		QF ₃ : 0,34
		QF ₄ : 1,4
		QF ₅ : 1,4
		Q ₁ : 0,34
		Q ₂ : 1,1
Кабельні лінії, проводи	$x_0 = 2,5 \cdot x_1$	Q ₃ : 0,46
		КЛ1: 3,58
		КЛ2: 5,58
		КЛ3: 1,942
		КЛ4: 6,04
		П: 5,7

Таблиця 1.31 Струми однофазних коротких замикань

Точки к.з	Сумарні опори			$I_{\text{к}}^{(1)}, \text{кА}$
	$r_{\Sigma}^{(1)}$	$x_{\Sigma}^{(1)}$	$Z_{\Sigma}^{(1)}$	
K ₁	31,8	23,12	39,3	17,6
K ₂	45,36	39,4	60,08	11,53
K ₃	118,86	46,1	127,5	5,43
K ₄	44,4	31,85	54,6	12,08
K ₅	227	44,67	231	2,99
K ₆	153	67,5	167	4,14

4.10 Вибір захисту електричної мережі і перевірка мережі на захищеність

Вибір захищених апаратів (автоматичних вимикачів і запобіжників) виконується згідно умов (1.68 – 1.70, 1.71)

На вторинній стороні ТП встановлюємо автоматичний вимикач типу А3736Ф с $I_H = 630$ А с електромагнітним і тепловим розчіплювачами. Для захисту ліній, що живлять силові пункти і щити освітлення, використовують автоматичні вимикачі:

Лінія від-до:	Тип вимикача	I_H , А
ТП-СП1, СП2	А3736Б	400
ТП – СП3	А3736Б	400
СП1 – СП2	А3716Б	160
ТП – ЩО1	АЕ2036	25
ТП – ЩО2	АЕ2056	100

Розрахунки по їх вибору зведені до таблиці 1.32

Таблиця 1.32 Вибір автоматичних вимикачів

Пристрій	Тип вимикача	Розрахункові дані	Каталожні дані	Умови вибору
1	2	3	4	5
Трансформатор-щит 0,4 кВ	А3736Ф	$U_{н.у} = 380$ В	$U_{н.а.} = 380$ В	$U_{н.у.} = U_{н.а.}$
		$I_p = 514$ А	$I_{н.а.} = 630$ А	$I_p < I_{н.а.}$
		$I_{II} = 1365$ А	$I_{СП.Б.} = 5000$ А	$I_{СП.Б.} > 1.25 \cdot I_{II}$
ТП-СП1, СП2	А3736Б	$U_{н.у} = 380$ В	$U_{н.а.} = 380$ В	$U_{н.у.} = U_{н.а.}$
		$I_p = 404$ А	$I_{н.а.} = 400$ А	$I_p = I_{н.а.}$
		$I_{II} = 775$ А	$I_{СП.Б.} = 4000$ А	$I_{СП.Б.} > 1.25 \cdot I_{II}$
ТП-СП3	А3736Б	$U_{н.у} = 380$ В	$U_{н.а.} = 380$ В	$U_{н.у.} = U_{н.а.}$
		$I_p = 333$ А	$I_{н.а.} = 400$ А	$I_p < I_{н.а.}$
		$I_{II} = 1184$ А	$I_{СП.Б.} = 4000$ А	$I_{СП.Б.} > 1.25 \cdot I_{II}$

1	2	3	4	5
СП1 – СП2	А3716Б	$U_{Н.у} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.а.} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.у.} = U_{Н.а.}$
		$I_p = 146 \text{ А}$	$I_{Н.а} = 160 \text{ А}$	$I_p < I_{Н.а}$
		$I_{П} = 517 \text{ А}$	$I_{СП.Б} = 1600 \text{ А}$	$I_{СП.Б} > 1.25 \cdot I_{П}$
ТП – ЩО1	АЕ2036	$U_{Н.у} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.а.} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.у.} = U_{Н.а.}$
		$I_p = 22,3 \text{ А}$	$I_{Н.а} = 25 \text{ А}$	$I_p < I_{Н.а}$
		$I_{П} = 22,3 \text{ А}$	$I_{СП.Б} = 300 \text{ А}$	$I_{СП.Б} > 1.25 \cdot I_{П}$
ТП – ЩО2	АЕ2056	$U_{Н.у} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.а.} = 380 \text{ В}$	$U_{Н.у.} = U_{Н.а.}$
		$I_p = 89,6 \text{ А}$	$I_{Н.а} = 100 \text{ А}$	$I_p < I_{Н.а}$
		$I_{П} = 89,6 \text{ А}$	$I_{СП.Б} = 1200 \text{ А}$	$I_{СП.Б} > 1.25 \cdot I_{П}$

У таблиці позначені:

$I_{СП.Б}$ – струм спрацювання електромагнітного розчіплювача;

$I_{П}$ – піковий струм.

Величина $I_{П}$ підраховується по формулі

$$I_{П} = I_{П.i.max} + (I_p - \kappa_{в.i} \cdot I_{Н.i.max}), \quad (1.126)$$

де:

$I_{Н.i.max}$ – номінальний струм ЕП, у якого максимальний піковий струм дорівнює $I_{П.i.max}$;

$\kappa_{в.i}$ – коефіцієнт використання.

Так для ліній, що живлять СПЗ від ТП і щит 0,38 кВ від трансформатора максимальний піковий струм має зварювальний трансформатор:

$$I_{П.i.max} = 3 \cdot I_{Н.i.max} = 3 \cdot \frac{P_{писп}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos \varphi};$$

$$I_{Н.i.max} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,4} = 304 \text{ А}$$

$$I_{П.i.max} = 3 \cdot 304 = 912 \text{ А}$$

$$I_{П.СПЗ} = 912 + (333 - 0,2 \cdot 304) = 1184 \text{ А};$$

											Арк.
											81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$I_d \geq K_3 \cdot I_{\text{СП.Т}}, \quad (1.128)$$

I_d – тривало допустимий струм провідника;

K_3 – коефіцієнт захисту, рівний 0,8 згідно [30];

$I_{\text{СП.Т}}$ – струм спрацьовування теплового розчіплювача.

Для кабелю ААШвУ (3×240+1×120), що живить СП1, СП2, $I_d = 440$ А (таблиця 1.25).

Для автоматичного вимикача А3736Б вибираємо $I_{\text{СП.Т}} = 400$ А.

При цьому виконуємо умова

$$440 \text{ А} > 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ А}.$$

Аналогічно перевіряємо на захищеність інші кабельні лінії. Результати перевірки зведені в таблицю 1.33

Перевіримо на захищеність лінію, що живить ЕП №35, 36 від СП3 і виконана проводом АПВ 3(1×6)+1×2,5.

Тривало-допустимий для неї струм $I_d = 30$ А згідно таблиці 1.26. Струм плавкої вставки запобіжника ПН2 з $I_{\text{н.з}} = 100$ А дорівнює 30 А, тобто $I_{\text{н.вст}} = 30$ А.

Величина $k_3 = 0,8$.

Умова (1.128) виконується, тому що

$$30 \text{ А} > 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ А}.$$

Аналогічно робимо перевірку на захищеність всіх інших ліній. Дані перевірки зведені в таблицю 1.33.

					ДП 2023	141	Арк.
							83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 1.33 Перевірка електричної мережі на захищеність

Джерело живлення	Номера СП, ЩО та ЕП, що живляться через лінію	Марка та переріз кабелю чи проводу S, мм ²	Тривало-допустимі струми I _д , А	Номінальні струми теплових розчіплювачів та плавких вставок	Перевірка умови $I_{д} \geq K_{з} \cdot I_{сп.т}$
ТП	СП1, СП2	ААШВУ 3×240+1× 120	440	400	440>0,8·400
	СП3	ААШВУ 3×150+1× 70	335	400	335>0,8·400
	ЩО1	АВВГ 3×4+1× 2,5	28	25	28>0,8·25
	ЩО2	АВВГ 3× 35+1× 16	90	100	90>0,8·100
СП1	СП2	ААШВУ 3×35+1× 16	145	160	145>0,8·160
СП1	1,5,6	АПВ 3(1×16)+1×6	55	60	55>0,8·60
	3,4	АПВ 3(1×25)+1×10	70	60	70>0,8·60
	11	АПВ 3(1×35)+1×25	85	100	85>0,8·100
	12,13	АПВ 3(1×50)+1×25	100	120	30>0,8·30
	14,15	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	30	30>0,8·30
СП2	2,7,8,9,10	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	30	30>0,8·30
	16,22,23,24,25	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	30	30>0,8·30
	18,19	АПВ 3(1×16)+1×6	55	80	55>0,8·80
	20,21	АПВ 3(1×10)+1×4	39	40	39>0,8·40
	17	АПВ 3(1×70)+1×35	140	120	140>0,8·120
СП3	26,30,31	АПВ 3(1×70)+1×35	140	120	140>0,8·120
	27	АПВ 3(1×16)+1×6	55	60	55>0,8·60
	29,33	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	35	30>0,8·35
	28,32	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	35	30>0,8·35
	37,38	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	30	30>0,8·30
	35,36	АПВ 3(1×6)+1×2,5	30	30	30>0,8·30
	34	АПВ 3(1×70)+1×35	140	120	140>0,8·120
	39	АПВ 3(1×35)+1×25	85	100	85>0,8·100

5. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕГРАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИМИ РЕЖИМАМИ ГІБРИДНИХ ВІТРО-СОНЯЧНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

У розділі проведено аналіз сучасних підходів до управління енергодинамічними режимами гібридних вітро-сонячних систем електропостачання за наявності акумулюючого елемента. Визначено основні проблеми, які виникають в процесі управління гібридними системами енергопостачання, на основі яких сформовано перелік основних задач дослідження.

5.1 Перспективи розвитку та особливості режимів роботи відновлювальних джерел енергії.

Відповідно до закріпленому в «Енергетичній стратегії України» плану розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), Україна має збільшити частку ВДЕ в загальній структурі електропостачання з 12,5% в 2020 до 35% до 2035 року.

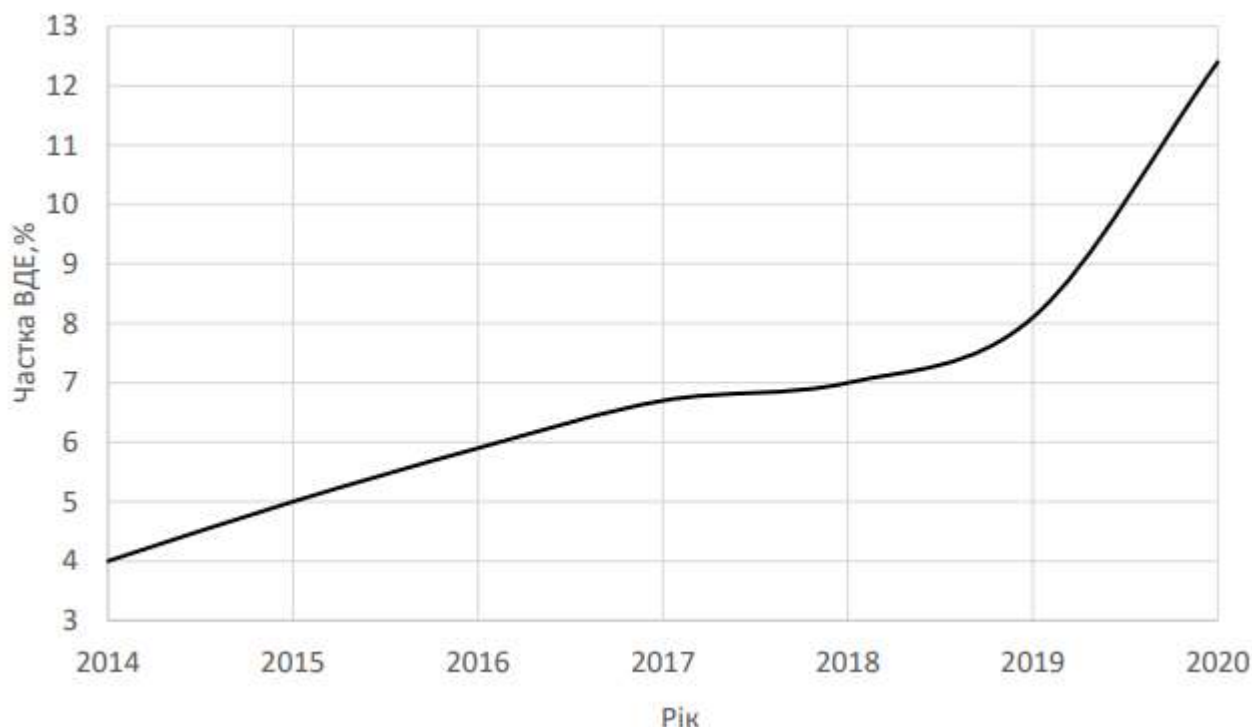


Рис. 5.1 Графік росту частки ВДЕ в загальній структурі електропостачання України

						ДП 2023 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Спецпитання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Галанзовський</i>					85	
Перевірив		<i>Бориченко О.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

споживачів. Суттєве збільшення частки ВДЕ, може привести до збільшення регулюючого діапазону або швидкості реагування балансуєчих електростанцій, або до виникнення дефіциту електроенергії в період несприятливих погодних умов [15]. Проблеми забезпечення балансу ЕЕС при інтеграції значних потужностей ВДЕ досліджувалися в роботах [16, 17, 18, 19]. Один з способів, що дозволяє дещо нівелювати імовірнісний характер енергетичного потенціалу вітрових і сонячних станцій – це об’єднання їх в одну систему електропостачання. Середня швидкість вітру на території України змінюється в 1,5-2 рази протягом року [20]. Взимку сила вітру значно більша, ніж влітку. Інтенсивність сонячної радіації для території України варіюються в 5-6 раз протягом цього ж періоду. Так, сумарна інтенсивність сонячної радіації протягом дня для літнього періоду складає 5-7 кВт*год/м², а для зимнього 0,8-1,2 кВт*год/м² [21]. Об’єднання ВЕС і СЕС в одну систему дає можливо підібрати такі потужності, які б дозволили підтримувати необхідний рівень виробництва електроенергії протягом року. В роботах [22, 23, 24, 25] розглядаються проблеми і задачі повзанні з гібридними системами електропостачання.

Для зменшення негативного впливу ВДЕ на роботу ЕЕС можуть вводитися обов’язкове прогнозування потужності ВЕС і СЕС «на добу наперед» [26, 27]. В Україні при продажу електроенергії через ринок, у випадку не дотримання прогнозованого графіка потужності більш ніж на 20% для ВЕС і на 10% для СЕС постачальник електроенергії змушений оплатити штраф, розмір його прямо пропорційний розміру небалансу потужності [28].

Прогнозування генерованої потужності ВЕС і СЕС дозволяє заздалегідь підготувати необхідний резерв потужності в ЕЕС для компенсації змін потужності ЕЕС. В роботі [24] показано, що використання прогнозування дозволяє значно зменшити обсяги невикористаної енергії чи втраченого навантаження в 1,5-2 рази, в залежності від частки СЕС в виробництві електроенергії та особливостей енергетичного потенціалу регіону. Проте, навіть за умови високої точності прогнозу

						ДП2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			87

потужності вплив СЕС і ВЕС на систему електропостачання може бути значним. Інший спосіб нівелювання негативного впливу СЕС і ВЕС – це введення стандартів, що зобов’язують ВЕС, СЕС або гібридні вітро-сонячні системи енергопостачання [29]: компенсувати реактивну потужності; виконувати контроль частоти і напруги в діапазоні, що залежить від номінальної потужності системи; підтримувати роботу системи, у разі виникнення аварійної ситуації протягом заданого періоду часу; обмежувати потужність системи відповідно до вказівок диспетчера мережі. Диспетчер мережі може накласти три види обмежень на потужності системи електропостачання [29]:

- Абсолютне обмеження генерації – обмеження активної потужності системи електропостачання до наперед визначеного ліміту потужності для захисту мережі від перевантажень;

- Дельта-обмеження генерації – резерв активної потужності електростанцій, що створюється для регулювання частоти та задається у відсотках від можливої генерації електростанцій;

- Обмеження градієнта потужності – обмеження максимальної швидкості зміни активної потужності системи електропостачання.

Обмеження градієнта потужності використовується для підтримки балансів потужності.

З метою вирівнювання добового графіка навантажень і компенсації раптових змін корисного навантаження до складу системи електропостачання можуть включати накопичувачі електричної енергії. Перспективи інтеграції електрохімічних акумулюючих елементів з ВДЕ досліджено в [30, 31, 32]. Результати досліджень показують високу ефективність використання акумулюючих елементів для підтримки балансу активної енергії і частоти в ЕЕС. З метою визначення ефективності різних технологій акумулювання енергії проводилися дослідження [33, 32]. В яких літій-іонні акумулюючі елементи показали високу ефективність при компенсації перепадів потужності при інтеграції енергосистем з ВДЕ і для підвищення стійкості ЕЕС.

5.2 Структура і функціональні можливості гібридних систем енергопостачання

Під комплексною системою електропостачання зазвичай розуміють систему, що використовує кілька джерел енергії. При цьому можливе використання комбінацій відновлювальних і традиційних джерел енергії, або виключно ВДЕ, що ускладнює можливості управління системою. З метою підвищення якості енергоживлення до складу гібридної системи можуть включати акумулюючий елемент (АЕ). Елементи гібридної системи електропостачання можуть підключатися паралельно, послідовно, або паралельно-послідовно [37]. При послідовному підключенні акумулюючий елемент заряджаються від сонячних панелей, або вітрових електричних установок. Далі, за допомогою інвертора енергія з АЕ передається на шину змінного струму. Така гібридна система може працювати в ручному або автоматичному режимі за наявності необхідних сенсорів. Дана схема широко застосовується для «малих» гібридних системи, у зв'язку з своєю простотою [38]. Недоліком схеми є часті перезарядження АЕ, що негативно впливають на терміну служби, збільшення ємності АЕ для зменшення глибини розряду. Також, вузьким місцем є інвертор, вихід з ладу якого призводить до повного відключення системи від мережі.

При паралельному підключенні, подача енергії споживачу може здійснюватися незалежно кожним джерелом енергії, що входять в склад гібридної системи, або всіма разом при пікових навантаженнях. До переваг такої системи можна віднести більшу надійність енергозабезпечення, можливість підключити кілька різних видів поновлюваних джерел енергії. Проте, для ефективної роботи такої системи необхідна складна система управління. По іншим признакам гібридні системи можна розділити на такі групи: автономні; сполучені з загальною енергосистемою; з АЕ, або без; з використанням лише ВДЕ, або з використанням традиційних джерел енергії [39] і інші. До мережевих систем електропостачання відносяться великі електростанції, що можуть працювати як у складі регіональних, так і об'єднаних енергосистемах. В свою чергу невеликі систем

										ДП2023 141	Арк.
											90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

електропостачання можуть бути частково або повністю автономними. Кожен з варіантів має свої недоліки і переваги.

Конфігурація гібридної системи електропостачання визначається виходячи з потреб користувача і можливостей управління режимами генерації. Обмеженим, в цьому плані, є управління ВЕС та СЕС, оскільки, їх режими генерації залежать від погодних умов. Можна виділити три основні топології гібридних вітро-сонячних систем електропостачання: з підключенням через шину постійного струму; з підключенням через шину змінного струму; з підключенням через проміжну високочастотну шину постійного струму.

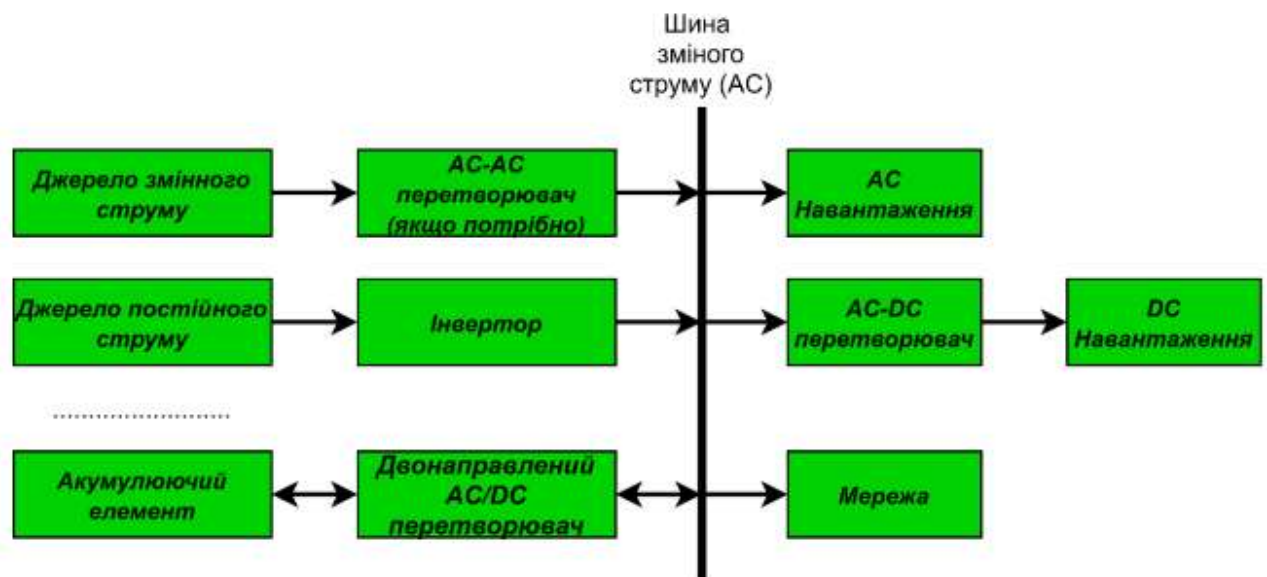


Рис. 5.3 Гібридна вітро-сонячна система електропостачання з підключенням через шину змінного струму.

На Рис. 5.3 наведена топологія гібридної системи електропостачання з підключенням через шину змінного струму. Основна перевага цієї топології в простоті реалізації і легкості масштабування. Відсутність додаткових перетворювачів енергії забезпечує високий КПД системи. Проте, ця топологія вимагає наявності складних системи аеродинамічної стабілізації частоти обертання ВЕУ і іншого обладнання для стабілізації і синхронізації значень напруги і частоти на виходах електричних генераторів і в мережі.

У зв'язку з значною вартістю і складністю такого роду систем, вони зазвичай встановлюють на «великих» ВЕУ. В свою чергу, більшість «малих» ВЕУ використовують безредукторну схему з електричними генераторами на постійних магнітах, що працюють на перемінній частоті обертання вітроколеса [40]. Така схема забезпечує високий КПД вітрової електричної установи при відносно низькій складності і вартості ВЕУ. Використання такого типу ВЕУ у складі гібридної системи з підключенням через шину змінного струму вимагає встановлення перетворювачів енергії для кожної установки. Підключення до шини змінного струму сонячних панелей виконується через індивідуальний інвертор, а підключення акумулюючого елемента, що зазвичай виконується на базі акумуляторної батареї, через двонаправлений перетворювач постійного струму в змінний струм.

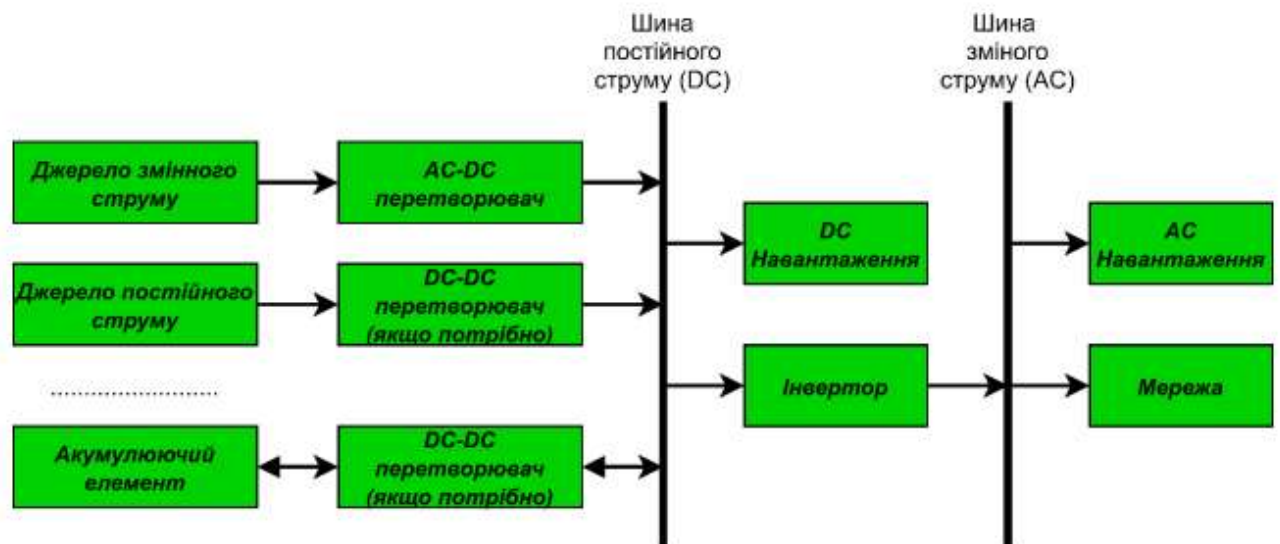


Рис. 5.4 Гібридна вітро-сонячна система електропостачання з підключенням через проміжну шину постійного струму

Інша схема підключення елементів гібридної системи представлена на Рис. 5.4. Схема підключення через проміжну шину постійного струму дозволяє нівелювати деякі недоліки попередньої, незважаючи на складнішу структуру. Основна перевага наведеної схеми це відсутність необхідності в синхронізації роботи ВЕУ, СЕС між собою, що дозволяє управляти цими агрегатами виходячи з критеріїв оптимальності. Також, до переваг такої схеми можна віднести: легкість масштабування; легкість вирішення проблеми з сумісністю

										Арк.
										92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

обкладення; високу якість генерованої електричної енергії, у зв'язку з підключенням користувачів через смільний автономний інвертор; значно спрощується схема підключення сонячних панелей і акумулюючого елемента; ВЕУ з зміною частотою обертання можуть бути підключені через керований ACDC перетворювач. В свою чергу, втрати енергії пов'язані з подвійним перетворенням енергії AC-DC перетворювачами і інверторами є незначними [40]. Така схема гібридної системи електропостачання характерна для малих і середніх систем (1 - 100 кВт).

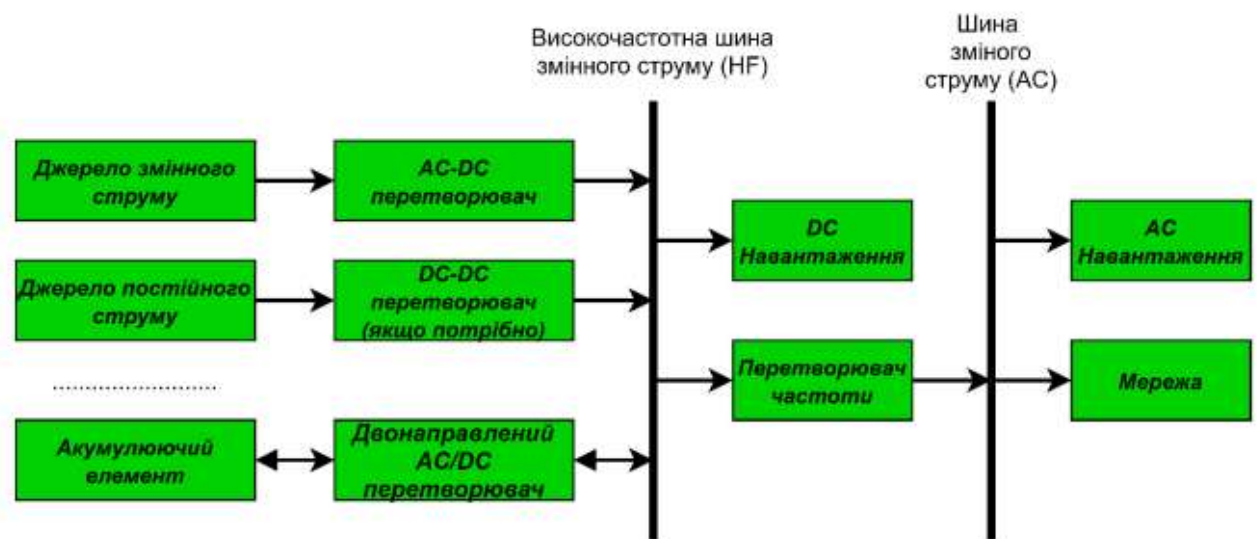


Рис. 5.5 Гібридна вітро-сонячна система електропостачання з підключенням через проміжну височастотну шину постійного струму. На Рис. 5.5 наведена схема підключення елементів гібридної системи через проміжну височастотну шину постійного струму. Такий спосіб підключення описаний в роботах [41, 42, 43]. Подібна схема підключення широко застосовується в електричних мережах літаків і космічних апаратів, з метою мінімізації кількості реактивних елементів в системі і як результат зменшення вартості системи. Проте, у зв'язку з значними відстанями між елементами гібридної системи електропостачання застосування такої схеми має ряд недоліків пов'язаних з значними втратами енергії при її передачі на значні відстані.

Аналіз вище описані схеми організації гібридної системи електропостачання показав, що найбільш перспективним є схема з

використанням проміжної шини постійного струму [40]. Таке схема дозволяє легко масштабувати систему, модернізувати її елементи. Використання проміжної шини постійного струму значно спрощує процес управління енергодинамічними режимами роботи гібридної системи.

5.3 Аналіз методів моделювання режимів роботи акумулюючого елемента

Акумулюючий елемент (АЕ) – це система зберігання енергії в довільній формі. В залежності від форми зберігання енергії можна поділити АЕ на такі типи:

Гідроакумулятори. Одна з перших технології для зберігання великого об'єму енергії. Ідея полягає, перекачці води з одного резервуара в інший, що знаходиться на підвищенні. Такий підхід забезпечує високу маневреність системи, оскільки, напір води можна регулювати механічно, зменшуючи або збільшуючи ширину шлюзу. Недоліком є залежність ємності і собівартості гідроакумулятора від особливостей рельєфу.

Зберігання енергії за допомогою стисненого повітря. Надлишкова електроенергія використовується для нагнітання повітря під тиском в резервуар. До переваг такого підходу можна віднести: меншу ціну порівняно з електрохімічними накопичувачами енергії; відсутність необхідності в рідкоземельних мінералах; можливість переобладнання старих газових сховищ або шахт. До недоліків: не високий ККД, що не перевищує 80%; система займає значну площу; часто використовується природній газ для підігріву вихідного потоку повітря при розряді.

Криогенні накопичувачі енергії. Основна відмінність від накопичувачів попереднього типу, в тому що підчас стискання повітря енергія, що виділяється, зберігається в спеціальному тепло-акумулятор. І використовується при розряді накопичувача для підігріву вихідного потоку повітря. Такий підхід дозволяє підвищити ККД системи накопичення енергії. Одна з проблем накопичувачів такого роду в тому, що в ККД залежить від швидкості охолодження теплоакумулятора. Електрохімічні накопичувачі

енергії. Велика група накопичувачів, що об'єднує в собі свинцево-кислотні, нікелево-кадмієві, літій-іонні акумулятори і акумулятори інших типів. Протягом останніх декількох років, особливо активно розвивалися літій-іонні акумулятори. Вони завоювали 85% ринку промислових систем накопичення енергії [34]. Превагою літій-іонних акумуляторів над іншими електрохімічними акумуляторами є відсутність ефекту пам'яті, висока енергоємність, глибокі цикли заряду-розряду (до 70-80%), більша потужність одиничного елемента. До недоліків можна віднести залежність ресурсу акумулятора від режимів і температури експлуатації.

Суперконденсатори. Суперконденсатор - конденсатор з органічним або неорганічним електролітом, «обкладками» в якому служить подвійний електричний шар на межі розділу електрода і електроліта [44].

Суперконденсатори мають значно меншу енергоємність (одиниці Вт*год/кг), але більшу питому потужністю (2-10 кВт/кг) порівняно з електрохімічними накопичувачами. Також, до переваг можна віднести відсутність обмежень на глибину розряду. У зв'язку з описаними особливостями, перспективним напрямком є поєднання суперконденсаторів і акумуляторів, що дозволяє збільшити ресурс акумулятора і знизити час відгуку системи на зовнішні впливи. Кінетичні накопичувачі (маховики) енергії. Принцип дії маховиків базується на перетворенні кінетичну енергію в електричну і навпаки. При заряді кінетичного накопичувача відбувається розкрутка масивного колеса до значних швидкостей. Такого роду накопичувачі можуть бути заряджені/розряджені за відносно короткий період часу, що дозволяє працювати в діапазоні більш високих потужностей при менших затратах. До недоліків маховиків можна віднести саморозряд в результаті тертя.

В даній роботі розглядається система накопичення енергії, або акумуляційний елемент (АЕ), що складається з літій-іонних акумуляторів. Існує декілька підходів до моделювання АЕ на основі літій-іонних акумуляторів. В загальному, їх можна розділити на три основні категорії [45]:

- електрохімічні моделі – базуються на моделюванні хімічних реакцій,

					ДП2023 141	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		95

що відбуваються в АЕ. Мають високу точність, але вимагають великої кількості обчислень;

- еквівалентні схеми – мають меншу точність, вимагають менших обчислювальних зусиль, ніж електрохімічні моделі. Акумулятор подають як електричне коло із джерелом напруги або конденсатором та низкою опорів. Моделі такого типу широко використовуються в системах управління акумуляторами;

- емпіричні моделі – вимагають меншої кількості обчислювальних зусиль та показують задовільну точність прогнозування поведінки акумулятора.

У зв'язку з складністю процесів моделювання АЕ, інколи автори максимально спрощують модель [46]. В такому випадку можуть бути відсутні обмеження на кількість енергії, яку може прийняти-віддати акумулятор, швидкість заряду-розряду та інше, а АЕ характеризується тільки поточною і максимальною ємністю. Відсутність обмежень, що викликані фізико-хімічними характеристиками, а також іншими особливостями енергодинамічних процесів, зумовлюють низьку коректність моделі, що зменшує якість та обмежує область застосування отриманих наукових та практичних результатів. Окремі результати дослідження, щодо ефектів використання АЕ в складі ВЕС, описано в [47, 48]. У наведених роботах основна увага зосереджена на економічних параметрах – збільшення прибутку, який можна отримати використовуючи АЕ в складі ВЕС. Крім того, значна частина розроблених моделей не є універсальними, їх можна використати для моделювання АЕ конкретної конфігурації [47, 49]. Також, до недоліків відомих моделей можна віднести необхідність використання великої кількості параметрів електрохімічних процесів. Наприклад, для використання моделі поданої у статті [47] необхідно мати залежність між напругою та SOC (State of Charge – рівень заряду акумулятора в відсотках), внутрішній опір акумулятора, інші. На практиці, необхідну залежність складно отримати, що значно ускладнює використання описаної моделі.

					ДП2023 141	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод повного перебору Метод повного перебору, або метод «грубої сили» – це метод знаходження оптимального рішення задачу шляхом перебору всіх можливих варіантів. Основний недолік цього методу це велика обчислювальна складність. При цьому, навіть у випадку коли цільова функція може бути обчислена за поліноміальний час, повний перебір всіх можливих рішень може потребувати експоненціального часу роботи [52]. Метод повного перебору може бути використаний для розв’язання задачі визначення активного складу, що формалізована як задача пакування рюкзака. Припустимо, що існує N предметів, які можна укласти в рюкзак. Тоді, необхідно визначити такий набір предметів, щоб сумарна їхня вага була меншою ніж максимально допустима, а вартість максимальна [53]. Кожен предмет можна покласти в рюкзак, або ні. В такому разі, складність методу повного перебору складатиме $O(2^n)$ [54]. Використання методу повного перебору для розв’язання задачі визначення активного складу ВЕС ускладнене з високою обчислювальною складністю даного методу. На Рис. 4.7 наведена залежність між швидкістю знаходження активного складу методом повного перебору і числом ВЕУ.

					ДП2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

Пропри те, що швидкодія даного методу краща ніж для методу повного перебору, знаходження активного складу ВЕС для великої кількості ВЕУ вимагає значно більшої кількості обчислень підрівняно з деякими іншими методами [56, 57].

Метод динамічного програмування.

Метод динамічного програмування базується на принципі оптимальності Беллмана, що можна сформулювати так: оптимальна стратегія володіє такими якостями, що, який би не був початковий стан або початкове рішення, наступні рішення повинні прийматися, виходячи із оптимальної стратегії відносно стану, що отримується в результаті першого рішення [58]. Іншими словами, для знаходження оптимального рішення на останньому кроці необхідно знайти оптимальні рішення на всіх попередніх кроках.

Суттєвою перевагою використання методу динамічного програмування для розв'язання задачі знаходження активного складу ВЕС є те, що його швидкодію складає $O(N \cdot W)$ [59], де N – кількість ВЕУ, W – необхідна потужність. Для досягнення такої швидкодії необхідно використати оптимізаційну методику «memoізація». На Рис. 1.7 наведена залежність між швидкістю знаходження активного складу методом динамічного програмування і числом ВЕУ. До недоліків методу можна віднести необхідність в значній кількості пам'яті для зберігання проміжних результатів роботи методу і необхідність дискретизувати ваги елементів з певною частотою, що може призводити до накопичення похибок в процесі знаходження розв'язку. Використання методу динамічного програмування для знаходження активного складу ВЕС досліджувалося в роботах [57, 60, 61].

Модифікація динамічного програмування Як було раніше сказано, постановка задачі визначення активного складу як задачу пакування рюкзака має ряд недоліків. Для їх усунення в роботі [7] запропонована інша формалізація задачі знаходження активного складу, а також модифікований метод динамічного програмування (МДП), що дозволяє розв'язати

					ДП2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

поставлену задачу. Головна ідея роботи полягає в зміні обмежень і цільової функції таким чином, щоб мінімізувати відхилення і максимізувати ефективність ВЕС. Цільова функція має вигляд:

$$\Delta P = \left[\sum_{n=1}^N b_n p_n - P \right]$$

$$\bar{K} = \frac{\sum_{n=1}^N b_n k_{\Sigma n}}{\sum_{n=1}^N b_n}$$

$$W(\Delta P, \bar{K}) = a_1 \bar{K} + a_2 (1 - \Delta P) \rightarrow \max \quad (5.4)$$

де b_n – бінарна величина, яка показує включений n -й ВЕУ у набір ($b_n = 1$), чи ні ($b_n = 0$), p_n – потужність n -ї ВЕУ, k_n – коефіцієнт ефективності n -ї ВЕУ, P – потужність, яку необхідно згенерувати, ΔP – різниця між навантаженням, яке необхідно забезпечити, та потужністю активного складу ВЕС, K – коефіцієнт ефективності набору ВЕУ

В класичному методі динамічного програмування значення для знаходження оптимального розв'язку під-задачі $S(i, p)$, де i – кількість ВЕУ, p – необхідна потужність, порівнюються дві альтернативи $S(i - 1, p)$ і $S(i - 1, p - p_i) + w_i$, де p_i – потужність i -ї ВЕУ, w_i – коефіцієнт ефективності i -ї ВЕУ. В модифікованому методі динамічного програмування порівнюються три альтернативи $S(i - 1, p)$, $S(i - 1, [p - p_i]) + \sum w$ і $S(i - 1, [p - p_i]) + \sum w$. Серед них вибирається альтернатива з максимальним значенням цільової функції (вираз 5.4).

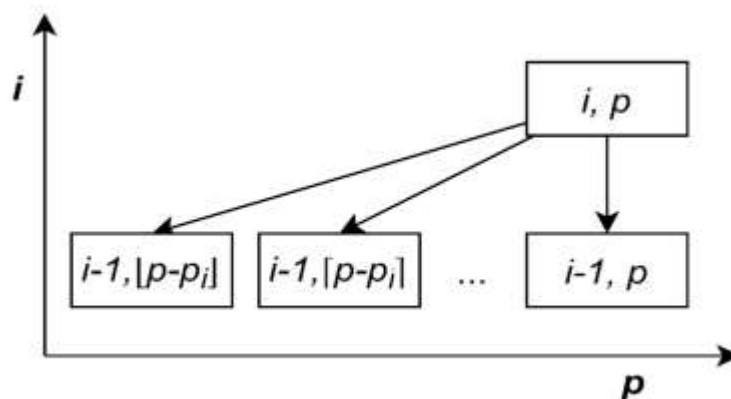


Рис. 5.8 Схема вибору альтернативи модифікованим методом динамічного програмування

На основі аналізу публікацій можна стверджувати, що модифікований метод динамічного програмування показує одні з найкращих результатів при розв'язанні задачі визначення активного складу ВЕС.

Висновки до розділу .

У розділі проаналізовано інформаційні технології управління енергодинамічними режимами гібридної вітро-сонячної системами електропостачання за наявності акумулюючого елемента. Визначено основні проблеми, які виникають в процесі управління. Встановлено, що потужність вітрових, сонячних або гібридних системи електропостачання може бути обмежена диспетчером мережі з метою збереження енергетичного балансу, а також, для підтримки стабільності енергодинамічних режимів роботи мереж загального користування. В умовах виробництва електроенергії відповідно до обмежень диспетчера мережі (графіка навантаження) і в умовах зміни параметрів зовнішнього середовища (швидкість вітру, інтенсивність сонячної радіації, тощо) актуальною є задача визначення активного складу, тобто набору вітрових електроустановок, які б найкращим чином забезпечили потреби користувачів з врахуванням ефективності кожної вітрової електроустановки.

Проведено аналіз існуючих підходів до формалізації і методів визначення активного складу вітрової електричної станції. Встановлено, що на даний момент модифікований метод динамічного програмування показує одні з найкращих результатів по точності знаходження розв'язку і швидкодії. Обґрунтовано, що застосування стохастичних методів, таких як штучні нейронні мережі і генетичні алгоритми, для розв'язання задачі знаходження активного складу є перспективним напрямком дослідження.

Встановлено, що для ефективної роботи блока управління гібридної системи електропостачання необхідно розробити модель акумулюючого елемента з врахування особливостей фізико-хімічних процесів і режиму заряду. Також, один з необхідних елементів інформаційної технології підтримки прийняття рішень є метод прогнозування кількості енергії, яка

					ДП2023 141	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		104

може бути вироблена сонячної електричною станцією протягом заданого періоду часу з врахуванням хмарності в заданий момент часу. Відповідно до закону України «Про ринок електричної енергії» від 2017р. для продажу електроенергії на ринку необхідно на добу наперед надавати погодинний прогноз генерації електроенергії (графік навантаження). У разі відхилення генерації більше ніж на 10% (і на 5% з 2030р.) від поданого графіка навантаження виробник електроенергії повинен виплатити покупцю відшкодування. На основі проведеного аналізу сучасних підходів до управління енергодинамічними режимами гібридних вітро-сонячних систем електропостачання сформульовано мету і задачі дослідження.

					ДП2023 141	Арк.
						105
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Охорона праці Обґрунтування рішення щодо розміщення електротехнічного обладнання

Сучасне виробництво нерозривно пов'язане з використанням електроенергії. В умовах експлуатації потужних енергосистем, електричних машин та апаратів, розвитку обчислювальної техніки і приладобудування, роботизації та комп'ютеризації виробництва важливого значення набуває проблема в електробезпеці і захисті електротехнічного персоналу та інших осіб, які обслуговують електроустаткування від ураження електричним струмом.

Оскільки розташування обладнання у механічних цехах обумовлюється технологічним циклом виробництва, проблеми охорони праці відіграють велику роль. Не завжди виконуються вимоги до освітлення робочих місць, встановлення силових та розподільчих пунктів, прокладання силових мереж.

Основним електричним об'єктом у цеху є силовий трансформатор, що обов'язково розташований у відокремленому приміщенні (трансформаторній підстанції). Оптимальним розташуванням підстанції є місце, що умовно являється серединою електричних навантажень цеху. Але таке розташування підстанції часто заважає технологічному процесу, переміщенню по цеху робітників та технологічного транспорту. Тому приміщення підстанції розміщують біля однієї із стінок цеху, бажано з додатковими дверима на вулицю (для заміни силових трансформаторів у разі ремонту).

					ДП 2023 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Галанзовський</i>						
Перевірив		<i>Сірик А.О.</i>					106	
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЕЛ4-3		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Майже все обладнання цеху має електричний привід – асинхронні двигуни. Робота в такому цеху вимагає певних знань з електротехніки та суворого дотримання норм техніки безпеки та охорони праці на виробництві.

Необережне поводження з електричною частиною верстатів може привести до травмування людини, яка обслуговує електричне обладнання.

Тяжкість ураження електричним струмом може бути з летальним наслідком. Тому людина, яка обслуговує електричне обладнання повинна мати спеціальну групи допуску:

I група. Групу присвоюють особам, котрі не мають спеціальної електротехнічної підготовки, але мають елементарне уявлення про небезпеку ураження електричним струмом і про заходи електробезпеки під час роботи на обслуговуваній дільниці, електроустановці.

II група. Особи цієї групи повинні бути елементарно технічно ознайомлені з електроустановками, чітко уявляти небезпеку ураження електрострумом, наближення до струмопровідних частин, знати основні заходи безпеки при роботі на електроустановках, уміти надати першу допомогу.

III група. Особи, котрі належать до цієї групи, повинні знати будову електричних установок та вміти їх обслуговувати; мати уявлення про небезпеку під час обслуговування електричних установок; знати загальні правила техніки безпеки, правила допуску до роботи в електричних установках напругою до 1000 В, спеціальні правила техніки безпеки з тих видів робіт, які належать до обов'язків цієї особи; вміти здійснювати нагляд за тими, хто працює з електроустановками та надавати першу допомогу.

IV група. Особи цієї групи повинні мати знання з електротехніки в обсязі спеціалізованого профтехучилища; мати повне уявлення про

					ДП2023 141	Арк.
						107
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпеку під час роботи на електроустановках; знати детально правила технічної експлуатації (ПТЕ) та правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕ) під час експлуатації електроустановок; знати установку настільки, щоб вільно орієнтуватись у тому, які саме елементи повинні бути вимкненими для безпечного виконання робіт; перевіряти виконання необхідних заходів з техніки безпеки; вміти організувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд за ними в електричних установках напругою до 1000 В; знати схему та обладнання своєї ділянки; вміти навчати персонал інших груп правилам техніки безпеки; вміти надавати першу допомогу потерпілому.

V група. Особи цієї групи повинні знати всі схеми та обладнання своєї ділянки; знати ПТЕ та ПБЕ в загальній та в спеціальній частинах; знати, чим викликана та чи інша вимога правил; вміти організувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд в електричних установках будь-якої напруги; навчати персонал інших груп правилам техніки безпеки; вміти надавати першу допомогу.

При огляді електричного обладнання обов'язково потрібно звернути увагу на наявність і справність захисного заземлення чи занулення корпусів, каркасів і т.д. не змінюючи кожухів і огорожень з діючого обладнання роботи.

Тяжкість ураження організму електричним струмом залежить від цілого ряду фізіологічних та фізичних чинників і умов середовища. Сюди відноситься: опір тіла людини, сила струму та тривалість його дії, шлях протікання через тіло людини; вид і частота електричного струму, індивідуальні особливості організму людини, стан її здоров'я і нервової системи, середовище, яке оточує людину при ураженні її електричним струмом і т. ін.

					ДП2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

Організаційні та технічні заходи з охорони праці

Тіло людини є провідником електричного струму. Однак провідність живої тканини, на відміну від звичайних провідників, обумовлена не тільки її фізичними властивостями, але й складними біохімічними і біофізичними процесами, які властиві тільки живій матерії.

В результаті опір тіла людини є змінною величиною, яка має нелінійну залежність від великої кількості факторів, у тому числі від опору шкіри, параметрів електричного кола, фізіологічних факторів і навколишнього середовища.

Індивідуальні особливості людини значною мірою впливають на наслідки ураження електричним струмом. Струм, ледь відчутний для одних людей може бути невідпускаючим для інших. Для жінок порогові значення струму приблизно в 1,5 рази є нижчими, ніж для чоловіків. Ступінь впливу струму істотно залежить від стану нервової системи та всього організму в цілому. Так, у стані нервового збудження, депресії, сп'яніння, захворювання (особливо при захворюваннях шкіри, серцево-судинної та центральної нервової систем) люди значно чутливіші до дії на них струму.

Важливе значення має також уважність та психічна готовність людини до можливої небезпеки ураження струмом. В переважній більшості випадків несподіваний електричний удар призводить до важчих наслідків, ніж при усвідомленні людиною існуючої небезпеки ураження.

Умови навколишнього середовища можуть підвищувати небезпеку ураження людини електричним струмом. Так у приміщеннях з високою температурою та відносною вологістю повітря наслідки ураження можуть бути важчими, оскільки значне потовиділення для підтримання теплорівноваги між організмом та навколишнім середовищем, призводить до зменшення опору тіла людини.

В живій тканині не має вільних електронів і тому вона не може бути прирівняною до металевого провідника, електричний струм в якому являє собою впорядкований рух вільних електронів.

					ДП2023 141	Арк.
						109
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більша частина тканин тіла людини має значну кількість води (до 65 %). Тому живу тканину можна розглядати як електроліт, тобто розчин, який розкладається хімічно при проходженні по ньому струму і вважати, що вона має іонну провідність. Інакше кажучи, можна вважати, що перенесення електричних зарядів в живій тканині здійснюється зарядженими атомами або групами атомів – іонами, подібно тому, як це стається в електролітах.

Опір шкіри, а відповідно і всього тіла в цілому, різко зменшується при пошкодженні її рогового шару, наявності вологості на її поверхні, забрудненості, потовиділенні.

Пошкодження рогового шару – порізи, подряпини і інші мікротравми, можуть знизити опір тіла людини до значення, близького значенню опору його внутрішніх тканин (500 – 700 Ом), що безперечно підвищує можливість ураження людини струмом.

З біологічної точки зору цей шар включає в себе декілька десятків рядків мертвих ороговілих клітин, які мають вигляд луски, що щільно прилягає одна до одної. Кожна така луска являє собою щільну рогову оболонку у вигляді стиснутої маленької подушечки, що вміщає невелику кількість повітря.

Роговий шар позбавлений кровоносних судин і нервів і тому і тому являється шаром неживої тканини. Товщина його на різних ділянках тіла різна і коливається в межах 0,05 – 0,2 мм. Найбільшої товщини він досягає в місцях, які піддаються постійним механічним впливам.

Роговий шар має досить велику механічну щільність, погано проводить тепло і електрику і являється захисною оболонкою, яка покриває все тіло людини.

					ДП2023 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

В сухому і незабрудненому стані цей шар можна розглядати як діелектрик, його питомий опір досягає $10^4 - 10^5$ Ом/мм. Тобто у сотні разів перевищує опір інших шарів шкіри і внутрішніх тканин організму.

Зволоження шкіри знижує її опір навіть в тому випадку, коли волога має високий питомий опір. Так, зволоження сухих рук дуже підсоленою водою знижує опір тіла на 30-50 %, а дистильованою водою на 15-35 %. Це пояснюється тим, що волога, що потрапила на шкіру, розчиняє мінеральні речовини та кислоти, які знаходяться на її поверхні, які виводяться з організму разом з потом і шкірним салом, і стає більш електропровідною. При тривалому зволоженні шкіри роговий шар її розпушується, насичується вологою, в результаті чого його опір майже повністю втрачається.

Таким чином, робота сирими руками або в умовах, що викликають зволоження будь-яких ділянок шкіри, створює передумови для тяжких наслідків у разі попадання людини під напругу.

Потовиділення обумовлено діяльністю потових залоз, що знаходяться в нижньому (внутрішньому) шарі шкіри. У людини близько 500 потових залоз на 1 см^2 шкіри.

Піт добре проводить електричний струм, оскільки в його склад входять вода і розчинені в ній мінеральні солі, а також деякі продукти обміну речовин. Він виділяється на поверхню шкіри по видимих протоках – тонких трубочках, які пронизують всю товщу шкіри.

Виділення поту відбувається безперервно, навіть на холоді, але особливо сильно при високій температурі навколишнього повітря, посиленій фізичній праці, місцевому нагріванні шкіри, захворюванні людини та інше.

У шкірі завжди є струмопровідні канали – протоки, що містять ту чи іншу кількість поту. У звичайних умовах провідність їх незначна, але при інтенсивному потовиділенні, коли протоки розширюються і по ним переміщується безперервний струмінь поту, опір шкіри різко падає. Цьому сприяє також змочування потом поверхні шкіри і відкладення на ній

					ДП2023 141	Арк.
						111
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктів виділення.

Робота в умовах, що викликають посилене потовиділення, підсилює небезпеку ураження людини струмом.

Забруднення шкіри різними речовинами, які добре проводять струм (металевий або вугільний пил, окалина та інше), супроводжується зниженням її опору, подібно до того як це спостерігається при поверхневому зволоженні шкіри. Крім того, струмопровідні речовини, проникаючи у вивідні протоки потових і сальних залоз, створюють в шкірі довгостроково існуючі струмопровідні канали, які різко знижують її опір.

Таким чином, токарь по металу, шахтар і особи інших спеціальностей, у яких руки забруднюються струмопровідними речовинами, схильні до більшої небезпеки ураження струмом, ніж особи, які працюють чистими сухими руками.

Залежність опору тіла людини від параметрів електричного кола.

Електричний опір залежить також від місця прикладання електродів до тіла людини, значень струму і прикладеної напруги, роду і частоти струму, площі електродів, тривалості проходження струму і деяких інших чинників.

Місце прикладення електродів впливає тому, що опір шкіри в одній і тій же людині на різних ділянках тіла не однаковий.

Крім того, різним (хоча і в незначних межах) виявляється і внутрішній опір при зміні довжини шляху струму по внутрішніх тканинах організму.

Різниця у значеннях опору шкіри на різних ділянках тіла пояснюється низкою факторів, у тому числі, різною товщиною рогового шару шкіри, нерівномірним розподілом потових залоз на поверхні тіла, неоднаковою мірою наповнення кров'ю судин шкіри. Найменший опір має шкіра обличчя

					ДП2023 141	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		112

шиї, рук на ділянці вище долонь, особливо на стороні, зверненої до тулуба, пахових западин, тильної сторони кистей рук.

Збільшення струму, що проходить через тіло людини, супроводжується посиленням місцевого нагрівання шкіри та подразнюючою дією на тканини. Це, в свою чергу, викликає рефлекторно, тобто через центральну нервову систему, швидку реакцію організму у вигляді розширення судин шкіри, а отже, посилення постачання їх кров'ю і підвищення потовиділення, що приводить до зниження електричного опору шкіри в цьому місці.

Підвищення напруги, прикладеної до тіла людини, викликає зменшення у десятки разів його повного опору, який наближається до найменшого значення опору підшкірних тканин тіла (приблизно 300 Ом).

Численні досліди підтверджують характер цієї залежності, хоча значення опорів, отримані при вимірах різними авторами, зазвичай сильно різняться.

Розрахунок практичного завдання

Завдання 1. Людина доторкнулась до фазного проводу чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю (380/220 В, 50 Гц). Накреслити схему і визначити напругу дотику ($U_{\text{дот}}$) та силу струму, що проходить через людину ($I_{\text{л}}$) для двох режимів роботи електроустановки: нормальному і аварійному.

1. В нормальному режимі для двох випадків :

1.1. при $C_A = C_B = C_C = 0$ і $R_A = R_B = R_C = R$, кОм; опір R має значення, наведені у таблиці.

1.2. $C_A = C_B = C_C = C$ мкФ, і $R_A = R_B = R_C = \infty$; ємність C має значення, наведені в таблиці.

2. В аварійному (людина доторкнулась до фазного провідника в момент, коли інший провідник був замкнений на землю через різні опори замикання на землю $R_{\text{зам}}$, Ом).

(завдання: табл. 5, варіант 11)

Таблиця 6.1

					ДП2023 141	Арк.
						113
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант	R _л , Ом	R ₀ , Ом	Нормальний режим		Аварійний режим		
			1 випадок : C _A = C _B = C _C = 0 R _A = R _B = R _C = R	2 випадок : R _A = R _B = R _C = ∞; C _A = C _B = C _C = C	R, кОм	C, мкФ	R _{зам} , Ом
11	850	3, 7			30	0,06	110; 60; 3; 0,5 .

1.1. У нормальному режимі роботи мережі провідності фазного і нульового проводів відносно землі припущено дорівнюють 0 (рис. 6.1). В цьому випадку напруга дотику знаходиться за формулою

$$U_{\text{дот}} = U_{\phi} \cdot \frac{R_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_0}; \quad U_{\text{дот}} = 220 \cdot \frac{850}{850 + 3,7} = 219 \text{ В.}$$

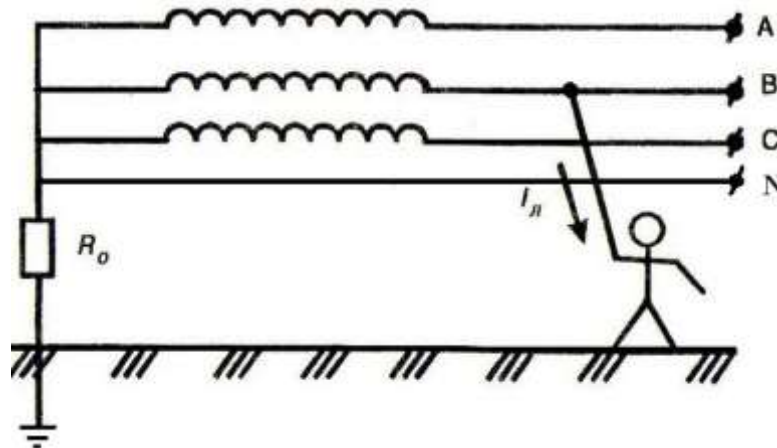


Рис. 6.1. Однофазний дотик до фази 4-провідної мережі з заземленою нейтраллю.

Струм через людину знайдемо за формулою :

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} + R_0};$$

$$I_{л} = \frac{220}{850 + 3,7} = 0,26 \text{ А.}$$

Аварійний режим розглядаємо для випадку, коли одна з фаз замкнута на землю (наприклад – С), через відносно малий активний опір $R_{зам}$ (рис. 6.2).

У цьому випадку напругу дотику визначаємо за формулою :

$$U_{дот} = U_{\phi} \cdot R_{л} \cdot \frac{R_{зам} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{зам} \cdot R_0 + R_{л}(R_{зам} + R_0)} ;$$

Знаходимо $U_{дот}$ для наступних значень :

$$U_{\phi} = 220 \text{ В}; R_{л} = 850 \text{ Ом}; R_{зам} = 110 \text{ Ом}; R_0 = 3,7 \text{ Ом.}$$

$$U_{дот} = 220 \cdot 850 \cdot \frac{110 + 3,7 \cdot \sqrt{3}}{110 \cdot 3,7 + 850(110 + 3,7)} = 205 \text{ В.}$$

За тими же вхідними даними розраховуємо струм через людину :

$$I_{дот} = U_{\phi} \cdot \frac{R_{зам} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{зам} \cdot R_0 + R_{л}(R_{зам} + R_0)} ;$$

$$I_{дот} = 220 \cdot \frac{110 + 3,7 \cdot \sqrt{3}}{110 \cdot 3,7 + 850(110 + 3,7)} = 0,24 \text{ А}$$

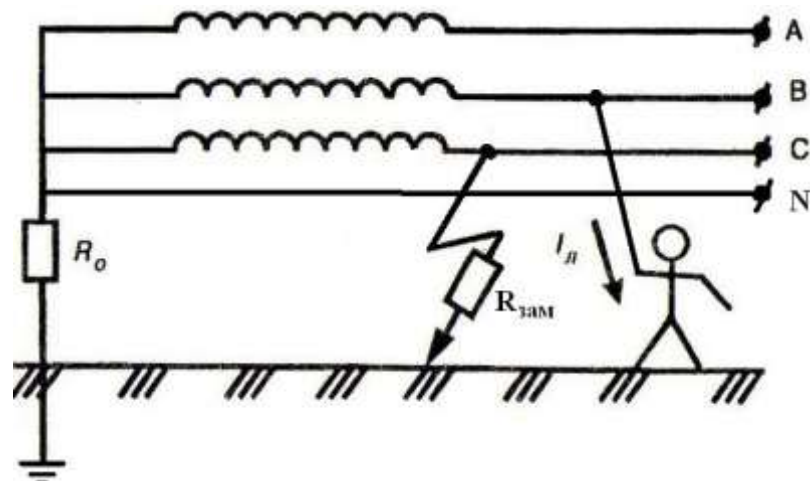


Рис. 6.2. Однофазний дотик до фази 4-провідної лінії (аварійний режим).

									Арк.
									115
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Л і т е р а т у р а

1. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для учащихся техникумов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1981. - 367 с, ил.
2. Методичні вказівки та завдання до курсового проектування з курсу «Електропостачання промислових підприємств» для студентів спеціалізації 10.04. 01. «Електропостачання промислових підприємств»/ Укл. М.А. Денисенко, О.І. Соловей, СМ. Іншеков - К.: КПІ, 1994. - 64 с.
3. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л.: «Энергия», 1976.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). К. 2017., 736 с.
5. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. К. 2010.
6. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник - К.: ІСДО, 1993. - 592 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.
8. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация/ Сост.: Т.В. Анчарова, В.В. Каменева, А.А. Катарская; Под общ. Ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. — 624 с, ил.

						ДП 2023 141					
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Л і т е р а т у р а			Літ.	Арк.	Арк.шіт	
Розроб.		Галанзовський								116	
Перевірив		Бориченко О.									
Н. Контр.											
Затверд.		Балюта С.									
						ННІТІ ім.акад.Гулого І.С. ЕЛ4-3					

9. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т.3. Кн.1. Производст-во, передача и распределение электрической энергии/Под общ. Ред. В. Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. -6-е изд. Испр. и доп. -М.: Энергоиздат, 1982. -656 с, ил.

10. Переходные процессы в системах электроснабжения: Учебник/ В.Н.Винославский, Г.Г.Пивняк, Л.И.Несен и др.; под ред. В.Н.Винославского.-К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989.-422 с, ил.

11. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения: Учебник для студентов вузов специальности «Электроснабжение промышленных предприятий».- 2-е изд. пере-раб. и доп. - М.:Высшая школа, 1985. - 391 с.

12. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей.—3-е изд., перераб. и доп. -Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. - 296 с, ил.

13. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий. В 2-х кн. Под ред. В.В.Белоцерковца, Б.А.Делибаша. К.Изд: 2-е, перераб. и доп. М., "Энергия", 1976.

14.Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Князевского Б.А. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 336 с.

15.Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб.пособие для вузов.—2-е изд., перераб.и доп.—М.: Энергоатомиздат, 1984.—448 с, ил.

16. Благий В.С. Струми коротких замикань. Навч. Посібник – К.ІСДО, 1994- 236 с.

									Арк.
									117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					