

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛІШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи електропостачання
підприємства з виробництва хімічної продукції»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–20-3СК

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Володимир ОДАРЧЕНКО

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

« _____ » _____ 2023 р.

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

Одарченка Володимира Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції. Design of the power supply system of the enterprise for the production of chemical products

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є створення сучасної системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції з мінімальними втратами в елементах мережі та розробленням заходів з підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів підприємства

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції). 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 4. Компенсація реактивної потужності 5. Трансформаторні підстанції 6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 7. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів валіфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>14.04.23</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	<i>17.04.23</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>21.04.23</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>24.04.23</i>	
5	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>28.04.23</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>04.05.23</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05.23</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>15.05.23</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>02.06.23</i>	

Дата видачі завдання

«10» квітня 2023 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«10» квітня 2023 р.

Підпис здобувача _____

Володимир ОДАРЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 70 с.; 14 рис.; 30 табл.; 11 джерел.

Одарченко В. М. Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Метою роботи є проектування ефективної системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції з мінімально можливими втратами в елементах мережі та розробленням заходів з підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів.

У роботі розглянуто вибір альтернативних варіантів схем електропостачання, виконано розрахунки навантажень, обрано необхідні компенсуючі пристрої, комутаційне обладнання, перевірено устаткування на дію струмів короткого замикання тощо.

У спеціальному розділі розглянуто заходи з підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів підприємства, розроблена електрична схема керування, виконано розрахунок освітлення та вентиляції приміщення резервного джерела живлення. Розглянуто вимоги до обслуговуючого персоналу.

Результати досліджень доцільно буде використати під час проектування систем електропостачання промислових підприємств, які спеціалізуються на виробництві хімічної продукції. Наведена методика розрахунку резервного джерела живлення може бути використана для будь-якого промислового об'єкта.

Ключові слова: система електропостачання, електричне навантаження, електричне обладнання, надійність, резервне джерело живлення

ABSTRACT

Qualification work: 70 p.; 14 fig.; 30 tables; 11 sources.

Odarchenko V. M. Design of the power supply system of the enterprise for the production of chemical products. – Manuscript.

Bachelor's thesis on speciality 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The goal of this work is to create a efficient power supply system for a chemical production enterprise with minimal losses in network elements, including the development of measures to enhance the reliability of power supply for critical consumers within the enterprise.

The study considers the selection of alternative power supply schemes, conducts load calculations, selects necessary compensating devices and switching equipment, and verifies equipment performance under short-circuit conditions, among other aspects.

A dedicated section discusses measures to enhance the reliability of power supply for critical consumers within the enterprise. An electrical control scheme is developed, lighting and ventilation calculations for the backup power source facility are performed, and requirements for the maintenance staff are considered.

The research findings will be valuable for designing power supply systems for industrial enterprises specializing in chemical production. The provided methodology for calculating the backup power source can be applied to any industrial facility.

Key words: power supply system, electrical load, electrical equipment, reliability, backup power source.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	10
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В.....	10
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	12
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	14
1.4. Графіки електричних навантажень.....	18
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП).....	21
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	23
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	23
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання.....	26
4. Компенсація реактивної потужності.....	27
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	27
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.....	29
5. Трансформаторні підстанції	33
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	33
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	35
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	36

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	В. Одарченко				Проектування системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції Design of the power supply system of the enterprise for the production of chemical products	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	К. Петрова						5	69
Н.контр.	К. Петрова					ЦНТУ гр. ЕЕ-20-3СК		
Затв.	П. Плешков							

6.1. Розрахунок струмів КЗ	36
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	39
6.3. Вибір електрообладнання.....	41
7. Підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів промислового об'єкта	49
7.1. Розроблення схеми АВР на напругу 0,4 кВ.....	51
7.2. Визначення необхідної потужності РДЖ та вибір обладнання.....	52
7.3. Електрична схема керування резервним джерелом живлення.....	54
7.4. Розрахунок освітлення приміщення резервного джерела живлення.	55
7.5. Розрахунок вентиляції приміщення резервного джерела живлення	57
7.6. Вимоги до обслуговуючого персоналу резервного джерела живлення.....	61
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЕ	— активна енергія
АВР	— автоматичне ввімкнення резерву
БК	— батарея конденсаторів
ВП	— власні потреби
ГЕН	— графіки електричних навантажень
ЕЕ	— електрична енергія
КЗ	— коротке замикання
КЛ	— кабельна лінія
КП	— компенсуючий пристрій
МВ	— механізм витримки часу
МКН	— механізм контролю напруги
МОД	— мережа одноразової дії
НН	— низька напруга
ПЛ	— повітряна лінія
ПМ	— пусковий механізм
ПП	— промислове підприємство
РЕ	— реактивна енергія
РДЖ	— резервне джерело живлення
РЗ	— релейний захист
ТН	— трансформатор напруги
ТН	— трансформатор напруги
ТР	— трансформатор
ТС	— трансформатор струму
ТП	— трансформаторна підстанція

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі розглянуто проектування оптимальної системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції. В роботі виконано вибір альтернативних рішень електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції, здійснено розрахунки силових та освітлювальних навантажень, визначено та обрано типи та місця розташування компенсуючих пристроїв, перевірено електричне обладнання на дію струмів коротких замкнень, обрано комутаційне обладнання тощо. У спеціальному розділі роботи виконані дослідження з підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів підприємства. Запропоновано підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів підприємства за рахунок встановлення додаткового резервного джерела живлення.

Коротка характеристика технологічного процесу промислового об'єкта

Технологічний процес підприємства з виробництва хімічної продукції включає ряд етапів, що забезпечують перетворення сировини в готову продукцію. Основна характеристика такого процесу може включати наступні елементи:

1. Підготовка сировини: Цей етап включає отримання та підготовку необхідних сировинних матеріалів для подальшої обробки. Сировина може бути природними ресурсами, які потрібно очистити, розчавити, фракціонувати або піддати іншим передварних операціям.

2. Хімічні реакції: На цьому етапі сировина піддається хімічним реакціям, що здійснюються у спеціальних реакторах або установках. Ці реакції можуть включати синтез, окиснення, взаємодію з реагентами або інші хімічні процеси, що перетворюють сировину на бажану хімічну сполуку або продукт.

3. Розділення та очищення: Після хімічних реакцій вироблену суміш потрібно розділити на окремі компоненти або продукти. Цей етап може включати використання різних методів, таких як дистиляція, екстракція,

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

фільтрація, випаровування або хроматографія. Це дозволяє отримати чисту хімічну сполуку або продукт з встановленою специфікацією.

4. Упакування та маркування: Після отримання готової хімічної продукції необхідно її упакувати відповідно до вимог і стандартів. Упаковка може бути виконана у вигляді бочок, контейнерів, мішків або іншого типу пакетів. Крім того, продукція маркується з інформацією про склад, назву, безпеку та інші важливі відомості.

5. Контроль якості: Протягом всього технологічного процесу важливим елементом є контроль якості. Це включає вимірювання параметрів продукції, перевірку відповідності стандартам та виявлення відхилень або дефектів. Контроль якості може здійснюватись за допомогою різних методів, таких як хроматографія, спектрофотометрія, фізичні вимірювання та хімічні аналізи.

До основних виробничих цехів та будівель підприємства з виробництва хімічної продукції належать: цех виробництва побутової хімії, очищення промислових стоків, адміністративно-побутовий корпус, склад сировини та готової продукції, цех з виробництва водно-дисперсійною продукції, блок ремонтних служб, парокотельний цех, вагова, цех виробів із полімерів, цех з переробки ароматичних вуглеводних, цех технічних миючих засобів, насосно-фільтрувальна станція.

Метою роботи є проєктування сучасної системи електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції з оптимальними втратами в елементах мережі та розробленням заходів з підвищення надійності електропостачання.

Результати досліджень доцільно використовувати під час розроблення проєктів систем електропостачання об'єктів хімічної промисловості, а також для підвищення рівня надійності промислових об'єктів зі значною кількістю у складі навантаження відповідального обладнання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Визначаємо розрахункові ЕН згідно рекомендацій [2].

Для цеху нейтралізації та очищення промислових стоків визначаємо показники (див. табл. 1.1):

- кількість одиниць встановленого обладнання $n = 34$ шт.;
- загальна номінальна потужність $\sum P_H = 662,3$ кВт;
- середнє значення активного навантаження $\sum P_{CM} = 430,5$ кВт та відповідно реактивного $\sum Q_{CM} = 233$ кВар.

У такому випадку n_E :

$$n_E = 2 \cdot \sum P_H / P_{H.MAX} = 2 \cdot 662,3 / 75 = 18.$$

Відповідно до n_E визначаємо $K_M = 1,17$.

Значення розрахункових навантажень:

$$P_P = \sum P_{CM} \cdot K_M = 430,5 \cdot 1,17 = 503,2 \text{ кВт};$$

$$Q_P = \sum Q_{CM} = 233 \text{ кВар};$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = 554,53 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогічно розрахунок здійснено для інших цехів та ПП загалом, результати наведено у таблиці 1.1.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	

Таблиця 1.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В

Назва групи споживачів	n	Р одного		P _Σ	m	K _B	cos φ	tg φ	Середнє		n _E	K _M	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{CM} , кВт	Q _{CM} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цех нейтралізації та очищення промислових стоків	34	0,1	- 75	662,3	750	0,65	0,88	0,541	430,50	233,00	18	1,17	503,2	233,00	554,53
Адміністративно-побутовий корпус	34	0,2	- 8,0	97,2	37	0,58	0,82	0,702	56,6	39,7	26	1,17	66,2	39,71	77,17
Цех виробництва побутової хімії	40	0,6	- 22	227,2	36	0,53	0,78	0,809	121,5	98,3	21	1,22	148,1	98,30	177,78
Склад сировини та готової продукції	17	0,2	- 16	51,8	80	0,41	0,73	0,932	21,47	20,01	6	1,63	35,1	22,01	41,40
Блок ремонтних служб	22	0,3	- 30	67,8	100	0,33	0,71	1	22,31	22,30	5	1,88	42,0	24,53	48,66
Цех з виробництва водно-дисперсійною продукції	33	0,5	- 22	205,6	44	0,61	0,77	0,817	125,47	102,50	19	1,19	148,9	102,50	180,79
Парокотельний цех	20	1,5	- 15	74	10	0,58	0,79	0,785	42,95	33,70	10	1,30	55,8	37,07	67,00
Вагова	30	1,2	- 14	123,8	11	0,73	0,74	0,906	90,21	81,7	18	1,12	100,9	81,70	129,85
Цех виробів із полімерів	119	0,2	- 15	339	75	0,71	0,73	0,944	241,63	228,05	45	1,08	260,2	228,05	345,97
Цех з переробки ароматичних вуглеводних	32	0,3	- 27	72,4	89	0,48	0,79	0,786	34,84	27,40	5	1,61	56,0	30,14	63,63
Цех технічних миючих засобів	54	1,1	- 14	265,2	12	0,80	0,81	0,737	211,1	155,5	38	1,04	219,8	155,51	269,29
Насосно-фільтрувальна станція	51	1,1	- 17	254,8	15	0,68	0,76	0,85	173,1	147,06	30	1,11	192,6	147,06	242,30
Всього на стороні 0,4 кВ	486	0,1	- 75	2441	750	0,64	0,80	0,757	1572	1189	65	1,08	1702,6	1189,2	2076,79

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Детально розглянемо методику розрахунку освітлювального навантаження для цеху нейтралізації та очищення промислових стоків. Встановлену потужність визначаємо:

$$P_B = \rho_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 1720 \cdot 10^{-3} = 27,52 \text{ кВт}$$

де $\rho_0 = 16 \text{ кВт/м}^2$ – значення питомої потужності освітлювального навантаження цеху нейтралізації та очищення промислових стоків; $F = 1720 \text{ м}^2$ – загальна площа цеху цеху нейтралізації та очищення промислових стоків.

Розрахункове значення активної:

$$P_p = K_C \cdot K_1 \cdot P_B = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 27,52 = 24,7 \text{ кВт}$$

та реактивної потужності:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 24,7 \cdot 1,73 = 42,7 \text{ кВар}$$

Розрахункове значення повної потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{24,7^2 + 42,7^2} = 49,3 \text{ кВА}.$$

Розрахунок освітлювальних навантажень інших підрозділів ПП з виробництва хімічної продукції див. у таблиці 1.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2. Освітлювальні навантаження підрозділів ПП

№ з/п	Найменування підрозділу	F , м ²	ρ_0 , Вт/м ²	P_B , кВт	K_C	K_1	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_P , кВт	Q_P , кВар	S_P , кВА
1	Цех нейтралізації та очищення промислових стоків	1 720	16	27,52	0,80	1,12	0,50	1,73	24,7	42,7	49,3
2	Адміністративно-побутовий корпус	2 200	20	44,00	0,80	1,20	0,90	0,48	42,2	20,5	46,9
3	Цех виробництва побутової хімії	785	18	14,13	0,80	1,12	0,50	1,73	12,7	21,9	25,3
4	Склад сировини та готової продукції	3 300	6	19,80	0,60	1,00	1,00	0,00	11,9	0,0	11,9
5	Блок ремонтних служб	1 240	14	17,36	0,95	1,12	0,50	1,73	18,5	32,0	36,9
6	Цех з виробництва водно-дисперсійною продукції	1 680	16	26,88	0,80	1,12	0,50	1,73	24,1	41,7	48,2
7	Парокотельний цех	520	8	4,16	0,85	1,20	0,90	0,48	4,2	2,1	4,7
8	Вагова	375	18	6,75	0,90	1,20	0,90	0,48	7,3	3,5	8,1
9	Цех виробів із полімерів	2 200	16	35,20	0,85	1,20	0,90	0,48	35,9	17,4	39,9
10	Цех з переробки ароматичних вуглеводних	930	18	16,74	0,95	1,12	0,50	1,73	17,8	30,9	35,6
11	Цех технічних миючих засобів	790	16	12,64	0,95	1,12	0,50	1,73	13,4	23,3	26,9
12	Насосно-фільтрувальна станція	680	14	9,52	0,80	1,20	0,90	0,48	9,1	4,4	10,2
13	Освітлення території підприємства	150 100	0,2	30,02	0,6	1,12	0,50	1,73	20,2	29,1	35,4
	Всього по підприємству			265					242	269	379

Арк.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Для ТП № 1 обираємо 2 ТМ 630 кВА, їх номінальні параметри:

$S_{НОМ}$, кВА	U_{K3} , %	ΔP_{K3} , кВт	ΔP_{XX} , кВт	I_{XX} , %
630	5,5	7,6	1,31	2,0

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,64^2) = 8,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{2,0}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,64^2 \right) = 53,9 \text{ кВар}$$

Аналогічно визначено втрати й для інших ТП (див. таблиці 1.3).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі вище 1000 В

№	Назва групи споживачів	Кіл ькі сть ЕС	Р одного			Р сума рна	m	K _и	cosφ	tgφ	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП №1 (2х630)																	
1	Цех виробництва побутової хімії																
	Силові навантаження	40	0,6	-	22	227,2	36	0,535	0,778	0,81	121,5	98,3	21	1,22	148,1	98,3	177,8
	Освітлювальне навантаження										14,1	24,5			12,7	21,9	25,3
	Всього по цеху										135,7	122,8			160,8	120,2	200,8
2	Цех з виробництва водно-дисперсійною продукції																
	Силові навантаження	33	0,5	-	22	205,6	44	0,61	0,774	0,82	125,5	102,5	19	1,19	148,9	102,5	180,8
	Освітлювальне навантаження										26,9	46,6			24,1	41,7	48,2
	Всього по цеху										152,3	149,1			173,0	144,2	225,2
3	Парокотельний цех																
	Силові навантаження	20	1,5	-	15	74	10	0,58	0,787	0,78	43,0	33,7	10	1,3	55,8	37,1	67,0
	Освітлювальне навантаження										4,2	2,0			4,2	2,1	4,7
	Всього по цеху										47,1	35,7			60,1	39,1	71,7
4	Цех з переробки ароматичних вуглеводних																
	Силові навантаження	32	0,3	-	26,8	72,4	89	0,481	0,786	0,79	34,8	27,4	5	1,61	56,0	30,1	63,6
	Освітлювальне навантаження										16,7	29,0			17,8	30,9	35,6
	Всього по цеху										51,6	56,4			73,9	61,0	95,8
5	Цех технічних миючих засобів																
	Силові навантаження	54	1,1	-	14	265,2	12	0,796	0,805	0,74	211,1	155,5	38	1,04	219,8	155,5	269,3
	Освітлювальне навантаження										12,6	21,9			13,4	23,3	26,9
	Всього по цеху										223,8	177,4			233,3	178,8	293,9
Всього силова по ТП 1		179	0,3	...	26,8	844	89	0,63	0,79	0,78	535,9	417,4	63	1,00	535,9	417,4	679,3

Продовження таблиці 1.3

2		3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Всього освітлювальна по ТП 1											74,6	123,9			72,2	119,8	139,9
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1											610,5	541,3			608,2	537,3	811,5
Втрати в тр-рах ТП 1(2х630)															8,9	53,9	54,7
Всього на шинах 10 кВ по ТП 1															617,1	591,2	854,6
ТП №2 (2х630)																	
1	Цех нейтралізації та очищення промислових стоків																
	Силове навантаження	34	0,1	-	75	662,3	750	0,65	0,879	0,54	430,5	233,0	18	1,17	503,2	233,0	554,5
	Освітлювальне навантаження										27,5	47,7			24,7	42,7	49,3
	Всього по цеху										458,0	280,7			527,9	275,7	595,5
2	Блок ремонтних служб																
	Силове навантаження	22	0,3	-	30	67,8	100	0,329	0,707	1	22,3	22,3	5	1,88	42,0	24,5	48,7
	Освітлювальне навантаження										17,4	30,1			18,5	32,0	36,9
	Всього по блоку										39,7	52,4			60,5	56,5	82,8
3	Освітлення території заводу																
	Всього по території підприємства										30,0	52,0			20,2	29,1	35,4
Всього силова по ТП 10		56	0,1	...	75	730	750	0,72	0,81	0,73	527,7	385,0	19	1,00	527,7	385,0	653,2
Всього освітлювальна по ТП 2											74,9	129,7			63,3	103,8	121,6
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 2											602,6	514,8			591,0	488,9	767,0
Втрати в тр-рах ТП 2 (2х630)															8,3	50,9	51,5
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3															599,3	539,7	806,5
ТП № 3 (2х630)																	
1	Адміністративно-побутовий корпус																
	Силове навантаження	34	0,2	-	7,5	97,2	37	0,582	0,818	0,7	56,6	39,7	26	1,17	66,2	39,7	77,2
	Освітлювальне навантаження										44,0	21,3			42,2	20,5	46,9
	Всього по АПК										100,6	61,0			108,4	60,2	124,0

Продовження таблиці 1.3

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	2	
2	Склад сировини та готової продукції																
	Силове навантаження	17	0,2	-	16	51,80	80	0,41	0,73	0,93	21,5	20,0	6	1,63	35,1	22,0	41,4
	Освітлювальне навантаження										19,8	0,0			11,9	0,0	11,9
	Всього по складу										41,3	20,0			46,9	22,0	51,9
3	Вагова																
	Силове навантаження	30	1,2	-	14	123,8	11	0,729	0,741	0,91	90,2	81,7	18	1,12	100,9	81,7	129,8
	Освітлювальне навантаження										6,8	3,3			7,3	3,5	8,1
	Всього по ваговій										97,0	85,0			108,2	85,2	137,7
4	Цех виробів із полімерів																
	Силове навантаження	119	0,2	-	15	339	75	0,713	0,727	0,94	241,6	228,1	45	1,08	260,2	228,1	346,0
	Освітлювальне навантаження										35,2	17,0			35,9	17,4	39,9
	Всього по цеху										276,8	245,1			296,1	245,4	384,6
5	Насосно-фільтрувальна станція																
	Силове навантаження	51	1,1	-	17	254,8	15	0,679	0,762	0,85	173,1	147,1	30	1,11	192,6	147,1	242,3
	Освітлювальне навантаження										9,5	4,6			9,1	4,4	10,2
	Всього по станції										182,6	151,7			201,7	151,5	252,3
Всього силова по ТП 3		251	0,2	...	17	866,6 0	85	0,67	0,75	0,89	583,0	516,5	102	1,00	583,0	516,5	778,9
Всього освітлювальна по ТП 3											115,3	46,2			106,5	45,8	117,0
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 3											698,2	562,8			689,4	562,3	889,7
Втрати в тр. ТП 3 (2х630)															10,2	59,7	60,6
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3															699,6	622,1	936,2
Всього по підприємству на стороні 0,4 кВ															1888,6	1588,4	2467,8
Загальні втрати в тр-рах ТП 1-3															27,4	164,6	166,8
Всього по підприємству на стороні 10 кВ															1916,0	1753,0	2596,9
Всього по підприємству															1916,0	1753,0	2596,9

1.4. Графіки електричних навантажень

Побудова ГЕН виконувалась з використанням програмного пакету «Графік 1.0».

Таблиця 1.4. Добове навантаження у відсотках для побудови ГЕН

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %
1	65	75	15	33
2	65	75	15	33
3	65	75	15	33
4	65	75	31	54
5	65	75	38	47
6	65	75	33	47
7	74	72	25	47
8	90	73	25	35
9	100	85	18	35
10	100	88	18	35
11	92	88	18	35
12	95	73	18	35
13	95	86	18	35
14	90	89	18	35
15	100	89	18	35
16	100	77	18	35
17	90	87	18	35
18	100	89	18	35
19	100	89	18	35
20	90	89	18	35
21	90	89	18	35
22	85	74	18	35
23	65	70	25	44
24	65	70	25	44

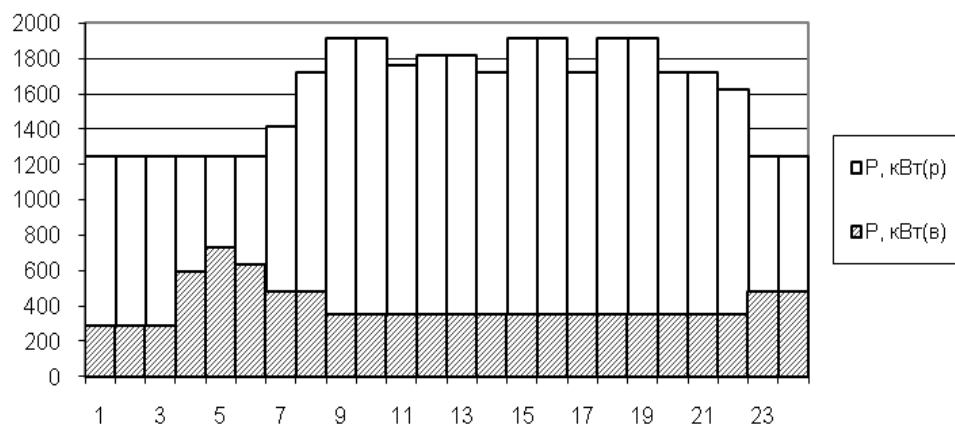


Рисунок 1.1. Добовий ГЕН робочого та вихідного днів (активне навантаження, зимовий період)

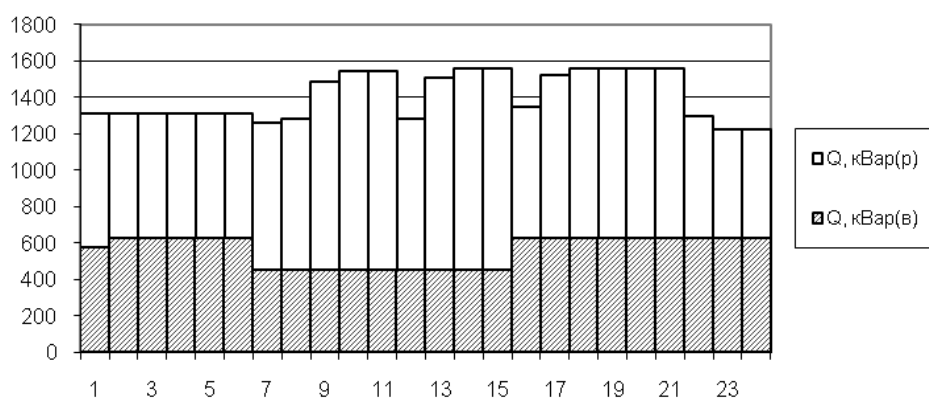


Рисунок 1.2. Добовий ГЕН робочого та вихідного днів (реактивне навантаження, зимовий період)

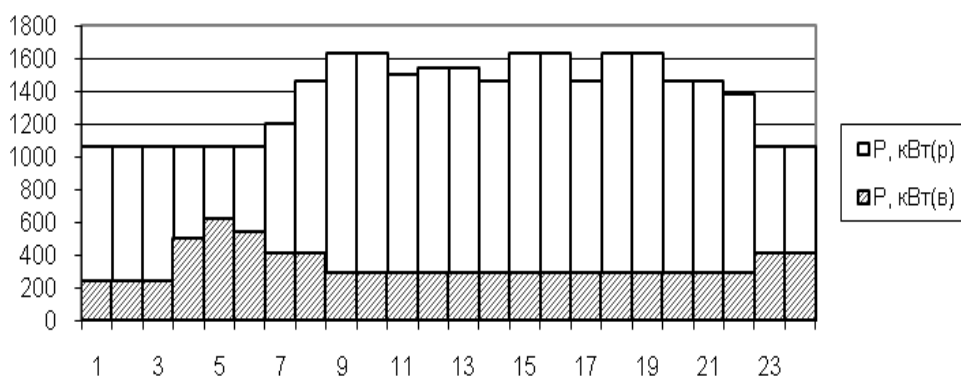


Рисунок 1.3. Добовий ГЕН робочого та вихідного днів (активне навантаження, літній період)

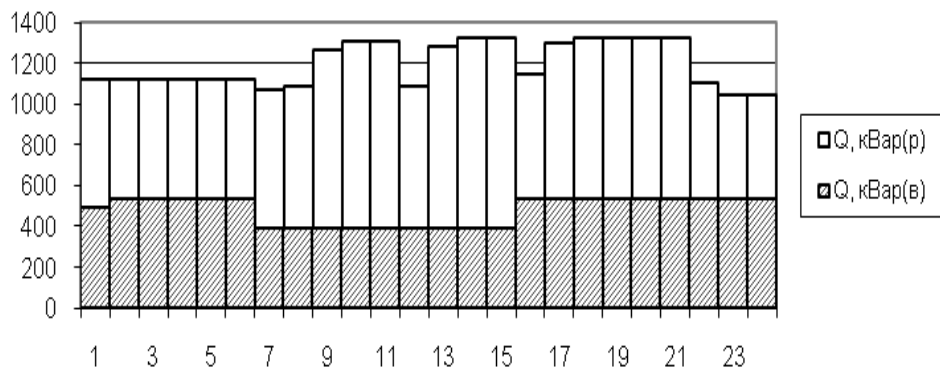


Рисунок 1.4. Добовий ГЕН робочого та вихідного днів (реактивне навантаження, літній період)

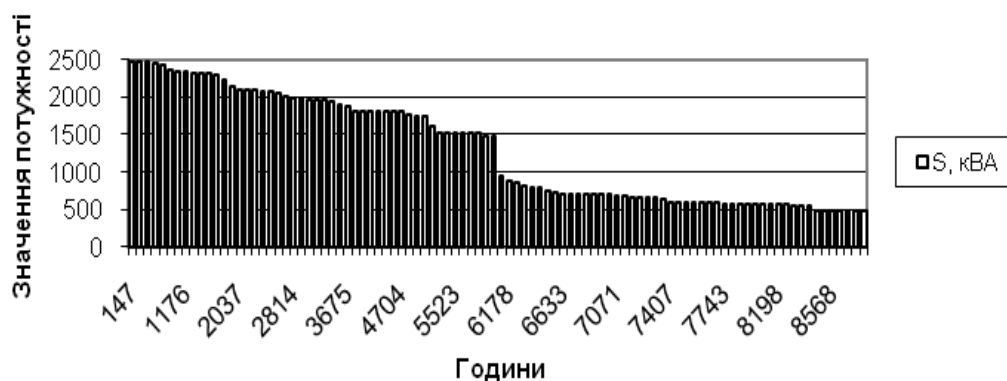


Рисунок 1.5. Річний ГЕН повного навантаження за тривалістю

Час використання максимуму навантаження:

$$T_M = \sqrt{\frac{W_P^2 + V_P^2}{S_P^2}} = \frac{7563045^2 + 6749781^2}{2596^2} = 4799,7 \text{ год.}$$

Час максимальних втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4799,7}{10^4}\right) \cdot 8760 = 3195,5 \text{ год.}$$

2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГЗП)

Площа кола для побудови картограми цеху нейтралізації та очищення промислових стоків:

$$P_1 = \pi R_1^2 m = 527,86 \text{ кВА}.$$

Значення радіусу кола R_1 , що відповідає силовому навантаженню:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{527,86}{3,14 \cdot 0,5}} = 18,33 \text{ мм},$$

де $m = 0,5 \text{ кВт/мм}^2$ – обране масштаб навантаження.

Частина кола, що відповідає освітлювальному навантаженню:

$$\alpha_1 = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^0}{\pi \cdot R_1^2 \cdot m} = \frac{24,66 \cdot 360^0}{3,14 \cdot 18,33^2 \cdot 0,5} = 16,82^0$$

Аналогічно виконано розрахунки для інших підрозділів ПП, результати подано у вигляді табл. 2.1.

Для визначення географічних координат (X, Y) центру навантаження розраховуємо центр мас:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{422135,22}{2070,9} = 203,8 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{419045,74}{2070,9} = 202,4 \text{ м}.$$

Відповідне місце вказано на генеральному плані ПП.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 2.1. Вихідна інформація для побудови картограми ЕН

№ з/П	Найменування відділення	$P_{P_{\text{сил}}}$, кВт	$P_{P_{\text{осв}}}$, кВт	ΣP_r , кВт	R, мм	α , град	X, м	Y, м	P_x , кВт•м	P_y , кВт•м
1	Цех нейтралізації та очищення промислових стоків	503,20	24,66	527,86	0,5	18,33	16,82	125	276	65718,88
2	Адміністративно-побутовий корпус	66,17	42,24	108,41	0,5	8,31	140,27	45	294	4878,46
3	Цех виробництва побутової хімії	148,13	12,66	160,79	0,5	10,12	28,35	45	273	7235,73
4	Склад сировини та готової продукції	35,07	11,88	46,95	0,5	5,47	91,09	210	279	9859,48
5	Блок ремонтних служб	42,02	18,47	60,49	0,5	6,21	109,93	210	240	12702,54
6	Цех з виробництва водно-дисперсійною продукції	148,93	24,08	173,01	0,5	10,49	50,11	210	200	36332,70
7	Парокотельний цех	55,81	4,24	60,05	0,5	6,18	25,44	324	258	19457,69
8	Вагова	100,92	7,29	108,21	0,5	8,30	24,25	453	210	49019,99
9	Цех виробів із полімерів	260,17	35,90	296,07	0,5	13,73	43,66	318	195	94151,76
10	Цех з переробки ароматичних вуглеводних	56,04	17,81	73,85	0,5	6,86	86,82	36	219	2658,68
11	Цех технічних миючих засобів	219,85	13,45	233,30	0,5	12,19	20,75	207	45	48292,26
12	Насосно-фільтрувальна станція	192,56	9,14	201,70	0,5	11,33	16,31	344	44	69285,19
13	Освітлення території заводу		20,17	20,17	0,5	3,58	360,00	126	201	2541,85
14	Всього	1829	242,0	2070,9						422135,22

Координати центру:

$X_0 = 203,8$ м;

$Y_0 = 202,4$ м.

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Живлення ЕЕ ПП може бути здійснено або КЛ 10 кВ із встановленням центрального розподільчого пристрою на території ПП (варіант 1, рис.3.1а), або ж ПЛ 35 кВ з встановленням ГЗП (варіант 2, рис.3.1 б).

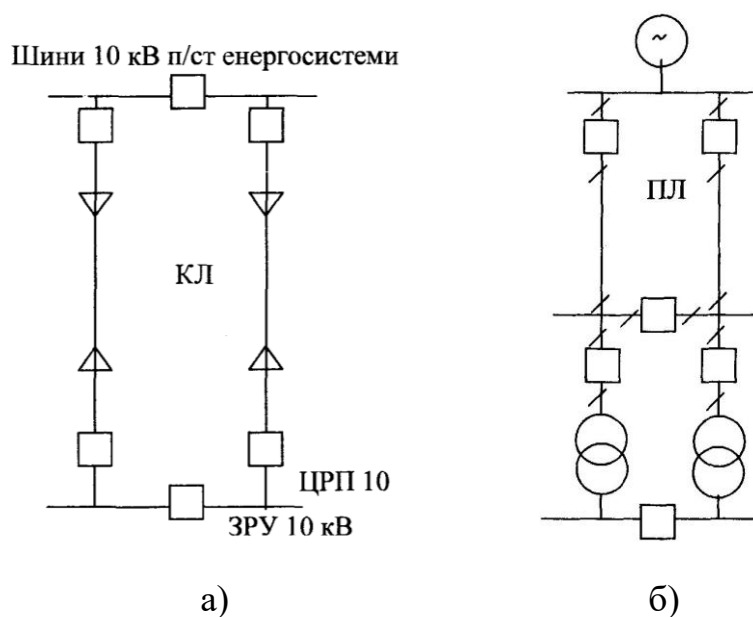


Рисунок 3.1. Варіанти зовнішнього електропостачання ПП

Детальні розрахунки наводимо для варіанту №1 (рис.3.1 а):

Струм в КЛ визначаємо:

$$I_p = \frac{S'_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{2597}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 72,75 \text{ А.}$$

Розрахункова площа перерізу КЛ:

$$F_{ЕК} = \frac{I_p}{j_{ЕК}} = \frac{72,75}{1,3} = 55,96 \text{ мм}^2$$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Арк.

Обираємо КЛ марки ААШв (3х50) з $I_{доп} = 120$ А, втратами потужності на 1 км $\Delta P_{1км} = 16$ кВт/км та вартістю 1 км - $K_0 = 500$ тис.грн/км.

Визначаємо рівень завантаження КЛ в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{n \cdot I_{доп}} = \frac{72,75}{1 \cdot 120} = 0,6.$$

З врахуванням коефіцієнта аварійною перевантаження [3]:

$$I'_{доп} = I_{доп} K_{II} = 120 \cdot 1 = 120 \text{ А};$$

Розрахункове значення втрат потужності $\Delta P_{л}$ та енергії $\Delta W_{л}$ в КЛ:

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 16 \cdot 0,96 \cdot 0,6^2 = 5,52 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau_{ноб} = 5,52 \cdot 3195,5 = 17639,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Орієнтовна вартість втрат ЕЕ:

$$C_{втр} = \Delta W C_0 = 17639,2 \cdot 5,5488 \cdot 10^{-3} = 977,21 \text{ тис. грн.}$$

де $C_0 = 5,5488$ грн/кВт·год – вартість 1 кВт·год ЕЕ відповідно до тарифів.

Значення для обох варіантів капітальних вкладень наведено у табл.3.1, у табл. 3.2 - витрат.

Таблиця 3.1. Визначення капітальних вкладень

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

№ з/п	Найменування об'єкту	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами ВВ	шт	2	30	60
	КЛ	км	1,92	350	682,5
	Траншея	км	1,92	220	422,4
	Всього				1164,9
II варіант	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	1,92	560	1075,2
	ВРП 35 кВ	компл	1	920	920
	Трансформатори 35/10 кВ	шт.	2	680	1360
	Всього				3355,2

Таблиця 3.2. Визначення поточних витрат

№ з/п	Найменування об'єкту	К _i , тис грн	Р _а , %	С _а , %	Р _е , %	С _е , %	С _п , тис.грн
I варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	345	15	51,75	5	17,25	69
	Кабельні лінії з урахуванням траншеї	4920	5	246	5	246	246
							315
	Всього						
II варіант	Лінія 35 кВ	3600	5	180	5	180	360
	ВРП 35 кВ	980	15	147	5	49	196
	Трансформатори	1400	15	210	5	70	280
	Всього						836

Таблиця 3.3. Розрахунок зведених витрат за варіантами, т.грн.

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення	1164,90	3355,20
Поточні затрати	315,00	836,00
Вартість втрат електроенергії	977,21	845,75
Зведені витрати	1431,99	1784,40

Зведені витрати за варіантами різняться менше ніж на 20 %, тому, враховуючи перспективу розвитку підприємства обираємо варіант № 2..

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Для схеми внутрішнього електропостачання ПП обрано напругу рівнем 10 кВ. Електропостачання силового та освітлювального навантаження цехів виконуємо із використанням напруги 380/220 В.

Розподільчу мережу ПП виконуємо КЛ-10 кВ із застосуванням радіальної, магістральної та змішаної схем електропостачання. Тип схеми обираємо індивідуально, виходячи із умов територіального розміщення окремих навантажень, їх значень потужності та категорійності.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Значення навантаження на НН стороні:

$$P_n = 1702,6 \text{ кВт},$$

$$Q_n = 1189,2 \text{ кВар}.$$

Розрахункове значення втрат у ТР:

$$\Delta P_m = 27,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m = 164,6 \text{ кВар}.$$

Повне навантаження ПП:

$$P_p = 1916 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1753 \text{ кВар}.$$

Реактивна потужність, яка виробляється енергосистемою:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 1916 \cdot 0,15 = 287,4 \text{ кВар}.$$

Значення реактивної потужності, яка підлягає компенсації:

$$Q_{\text{КП}} = Q_p - Q_e = 1916 - 287 = 1737 \text{ кВар}.$$

Розрахунок кількості цехових ТР:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_z P_{\text{ном}}} = \frac{1702,6}{0,7 \cdot 630} \approx 6 \text{ шт.}$$

Варіант 1. Кількість цехових ТР $N = N_0 = 6$ шт.

Визначимо значення реактивної потужності для $N = N_0$:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_n^2} = \sqrt{(6 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 1702,6^2} = 2646 \text{ кВар}.$$

Потужність КП для встановлення в мережі НН:

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

$$Q_{\kappa H} = Q_{\kappa} - Q_n = 560 \text{ кВар} .$$

Визначену реактивну потужність розташовуємо на стороні НН ПП.

Таблиця 4.1. Розміщення КП на НН

ТП	n	P _p	Q _p	Q _{кп(ст)}	K _з	S _p	K _i , тис грн
ТП № 1	2	608,2	537,3	200	0,62	642,2	720,78
ТП № 2	2	591,0	488,9	200	0,67	612,4	320,98
ТП № 3	2	689,4	562,3	150	0,74	766,3	140,89

Загальна потужність КП на стороні 0.4 кВ:

$$Q_{\kappa H} = 550 \text{ кВар}.$$

Обираємо КП потужністю $Q_{\kappa H} = 550$ кВар, з них :

БК потужністю 100 кВар - 4 шт.

БК потужністю 50 кВар - 3 шт.

КП для встановлення у мережі 10 кВ:

$$Q_{\kappa B} = Q_P - Q_{\kappa B} - Q_e = 920 \text{ кВар}.$$

Обираємо 2 БК загальною потужністю 900 кВар.

Додаткові втрати в ТР:

$$\Delta P_{тр} = \frac{Q_{np}^2 \Delta P_{\kappa}}{n \cdot P_{ном}^2} = \frac{550^2 \cdot 12.2}{6 \cdot 630^2} = 1,54 \text{ кВт}.$$

Орієнтовне значення втрат в БК:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Delta P_{KH} = 0.0045 Q_{KH} = 0,0045 \cdot 550 = 2,475 \text{ кВт.}$$

$$\Delta P_{KB} = 0.003 Q_{KB} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Вартість БК та комплектних ТП:

$$K_{KH} = 1182,65 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{KB} = 279,90 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{КТП} = 4800 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати:

$$\begin{aligned} Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) C_0 \tau = \\ &= 0,12(1182,65 + 279,90 + 4800) + (1,54 + 2,47 + 2,7) \cdot 4,475 \cdot 3195,5 = 966,52 \\ &\text{тис. грн.} \end{aligned}$$

Аналогічно виконуються розрахунки для інших варіантів з $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$. Результати для зручності порівняння наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Визначення затрат на КП

Показник	Варіант		
	1	2	3
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	550	387	133
Потужність КП в мережі 10 кВ	900	1350	1600
Споживання реактивної потужності від енергосистеми	287	287	287
Всього по балансу	1737	1737	1737
Сумарні затрати на компенсацію	966,52	1 028,40	2 080,09

Вочевидь, за мінімальним значенням затрат на КП обираємо перший варіант (див. таблицю 4.2).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 6.3. Розрахунок ЕН підприємства з врахуванням встановлених КП

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			Рсумарна	m	Kи	cosφ	tgφ	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №1 (2Х630)																	
1	Цех виробництва побутової хімії																
	Силове навантаження	40	0,6	-	22	227,2	36	0,535	0,778	0,81	121,5	98,3	21	1,22	148,1	98,3	177,8
	Освітлювальне навантаження										14,1	24,5			12,7	21,9	25,3
	Всього										135,7	122,8			160,8	120,2	200,8
2	Цех з виробництва водно-дисперсійною продукції																
	Силове навантаження	33	0,5	-	22	205,6	44	0,61	0,774	0,82	125,5	102,5	19	1,19	148,9	102,5	180,8
	Освітлювальне навантаження										26,9	46,6			24,1	41,7	48,2
	Всього										152,3	149,1			173,0	144,2	225,2
3	Парокотельний цех																
	Силове навантаження	20	1,5	-	15	74	10	0,58	0,787	0,78	43,0	33,7	10	1,3	55,8	37,1	67,0
	Освітлювальне навантаження										4,2	2,0			4,2	2,1	4,7
	Всього										47,1	35,7			60,1	39,1	71,7
4	Цех з переробки ароматичних вуглеводних																
	Силове навантаження	32	0,3	-	26,8	72,4	89	0,481	0,786	0,79	34,8	27,4	5	1,61	56,0	30,1	63,6
	Освітлювальне навантаження										16,7	29,0			17,8	30,9	35,6
	Всього										51,6	56,4			73,9	61,0	95,8
5	Цех технічних миючих засобів																
	Силове навантаження	54	1,1	-	14	265,2	12	0,796	0,805	0,74	211,1	155,5	38	1,04	219,8	155,5	269,3
	Освітлювальне навантаження										12,6	21,9			13,4	23,3	26,9
	Всього										223,8	177,4			233,3	178,8	293,9

Зм

Арк

№ док-м

Підпис

Дата

Арк.

3м	Апр	№ докум.	Підпис	Датум
----	-----	----------	--------	-------

Продовження таблиці 6.3.

[illegible]

Зм	
Арк	
№ док-м	
Підпис	
Дата	
Арк.	

Продовження таблиці 6.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ														689,4	412,3	803,3
Втрати в тр. ТП 3 (2х630)														8,8	53,4	54,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3														698,2	315,7	766,3
Всього на стороні 0,4 кВ														1888,6	1588,4	2467,8
Загальні втрати в тр-рах ТП 1-3														22,8	143,8	145,6
Всього на стороні 10 кВ														1911,4	1732,2	2579,5
Всього по заводу														1911,4	1732,2	2579,5
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-550,0	
Компенсуючі пристрої 10 кВ															-900,0	
Всього по підприємству з врах КП														1911,4	282,2	1932,1

tgφ1 = 0,15

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Визначаємо мінімальну номінальну потужність ТР для ГЗП:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав} (n - 1)} = \frac{1932,1 \cdot 0,9}{1,4(2 - 1)} = 1242,1 \text{ кВА.}$$

Відповідно обираємо найближчий ТР: 2хТМН-1600/35/10.

Перевіряємо коефіцієнт завантаження ТР у нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{1932,1}{2 \cdot 1600} = 0,6.$$

Аналогічним є й розрахунок потужності ТР цехових ТП.

Обираємо потужність ТР для ТП №1:

$$S_{TP \text{ } P} = \frac{S_p}{K_3 \cdot (n - 1)} = \frac{811,5}{1,4 \cdot 2} = 289,8 \text{ кВА.}$$

Відповідно, обираємо ТР потужністю 630 кВА.

Перевіряємо коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{TP}} = \frac{811,5}{2 \cdot 630} = 0,64.$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших ТП, результати наведено у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів

№ ТП	n	S _{роз} ,кВА	Тип ТР	K _з	$\frac{S_{ном}}{S_p/K1} >$	$\frac{S_{ном}}{S_p/K2} >$
ТП 1	2	811,50	ТМ-630	0,64	751,00	580,00
ТП 2	2	766,98	ТМ-630	0,61	710,00	548,00
ТП 3	2	889,67	ТМ-630	0,71	824,00	635,00

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Нехай $S_{\delta} = 100 \text{ МВА}$, тоді:

$$I_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА.}$$

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,33 \text{ кА.}$$

Відповідно опір системи:

$$X_c = \frac{S_{\delta}}{S_{\kappa 3}} = \frac{100}{208} = 0,5$$

Значення опору КЛ 10 кВ ААШВ(3×50) ($r_0 = 0,167$, $x_0 = 0,08$):

$$X_{\kappa 1} = x_0 l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,92 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,06675 \text{ в.о.},$$

$$R_{\kappa 1} = r_0 l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2} = 0,167 \cdot 0,92 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,13936 \text{ в.о.}$$

Значення опору до т. К1:

$$x_{\kappa 1} = x_{\kappa 1} + x_c = 0,06675 + 0,48 = 0,547 \text{ в.о.},$$

$$r_{\kappa 1} = r_{nl} = 0,13936 \text{ в.о.},$$

$$z_{\kappa 1} = \sqrt{x_{\kappa 1}^2 + r_{\kappa 1}^2} = \sqrt{0,547^2 + 0,13936^2} = 0,564 \text{ в.о.}$$

Значення надперехідних струмів в т. К1:

$$I_{\kappa 2}'' = \frac{I_{\delta}}{z_{\kappa 2}} = \frac{5,499}{0,564} = 9,75 \text{ кА.}$$

Тривалість затухання аперіодичної складової З:

$$T_{a1} = \frac{x_{\kappa 1}}{\omega \cdot r_{\kappa 1}} = \frac{0,547}{314 \cdot 0,13936} = 0,0125, K_{y\partial 1} = 1,449.$$

Значення ударних струмів в т. К1:

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}'' \cdot K_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 9,75 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,0125}}) = 19,984 \text{ кА};$$

Значення періодичні складових струму:

						Арк.
Зм.	Арк.					

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 56,6 \text{ А.}$$

$$I_{CD}'' = n \cdot \frac{E_*''}{x_{*CD}} \cdot I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,11}{0,2} \cdot 0,0566 = 0,623 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial AD} = \sqrt{2} \cdot I_{CD}'' \cdot K_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 0,623 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,0015}}) = 0,882 \text{ кА.}$$

Результуюче значення струму в т. К1:

$$I_{\Sigma \text{к1}}'' = I_{\text{к1}}'' + I_{CD}'' = 9,75 + 0,623 = 10,373 \text{ кА;}$$

$$i_{y\partial \Sigma \text{к1}}'' = i_{y\partial \text{к1}}'' + i_{y\partial CD}'' = 19,984 + 0,882 = 20,866 \text{ кА.}$$

Виконуємо вибір перерізу КЛ до цехової ТП№1 (для всіх інших результати подано у табл.6.1).

Розрахункова потужність та струм для ТП1:

$$S_p = 854,6 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{854,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 23,93 \text{ А.}$$

Під час аварійного режиму:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 23,93 = 47,86 \text{ А.}$$

Економічно доцільний поперечний перетин:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{23,96}{1,4} = 18,4 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо до встановлення КЛ 2хААШв – 10 (3 х 25) з відповідними параметрами: $r_0 = 1,24 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,099 \text{ Ом/км}$, $l = 1,2 \text{ км}$

Значення опорів для КЛ 1 становлять:

$$R_{кл} = l \cdot r_0 = 1,2 \cdot 1,24 = 1,48 \text{ Ом;}$$

$$X_{кл} = l \cdot x_0 = 1,2 \cdot 0,099 = 0,1188 \text{ Ом.}$$

Кінцеві результати наведено в табл. 6.1-6.3.

						Арк.
Зм.	Арк.					

Таблиця 6.1. Попередній вибір КЛ 10 кВ

№ КЛ	$S_p, \text{кВА}$	n	$I_p, \text{А}$	$I_{p.ав}, \text{А}$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	Марка КЛ
КЛ 1	854,6	2	23,93	47,86	18,4	ААШВ-10 (3 х 25)
КЛ 2	806,5	2	22,59	45,18	16,13	ААШВ-10 (3 х 25)
КЛ 3	936,2	2	26,22	52,51	18,73	ААШВ-10 (3 х 25)

Таблиця 6.2. Параметри КЛ 10 кВ

№ з/П	$l, \text{км}$	$r_0, \text{Ом/км}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	$R \cdot b$	$X \cdot b$
КЛ 1	1,2	0,89	0,095	0,623	0,067	0,565	0,06
КЛ 2	1,2	0,89	0,095	0,623	0,067	0,565	0,06
КЛ 3	1,2	0,89	0,095	0,623	0,067	0,565	0,06

Визначення значень струмів КЗ виконано для найзавантаженішої секції шин.

Таблиця 6.3. Розрахунок струмів КЗ в т.1-4

№ з/П	$X_{сум}$	$R_{сум}$	$Z_{сум}$	$Ta, \text{с}$	$K_{уд}$	$I'', \text{кА}$	$I_{уд}, \text{кА}$
1	0,5470	0,139360	0,5640	0,01251	1,4498	9,751	19,9843
2	0,6270	0,7040	0,9430	0,002831	1,0299	5,8322	8,490
3	0,7010	1,8260	1,9570	0,001222	1,000278	2,8112	3,9767
4	0,6960	1,770	1,9030	0,001251	1,000364	2,8911	4,0892

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Розрахункова потужність та струм для ТП1:

$$S_p = 854,6 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{854,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 23,93 \text{ А.}$$

Під час аварійного режиму:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 23,93 = 47,86 \text{ А.}$$

Економічно доцільний поперечний перетин:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{23,96}{1,4} = 18,4 \text{ мм}^2.$$

Термічний імпульс:

$$B_{\kappa} = I_{\kappa 3}^2 (t_{відкл} + T_a) = 3,434^2 (0,2 + 0,0003518) = 0,691 \text{ кА}^2\text{с}$$

Значення перерізу КЛ відповідно до значення термічної стійкості:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} = \frac{\sqrt{0,691 \cdot 10^6}}{94} = 8,854 \text{ мм}^2$$

Для КЛ: 2хААШВ – 10 (3 х 25) $I_{дон} = 90 \text{ А} > I_{p.ав} = 51,52 \text{ А.}$

З врахуванням коефіцієнту $K_n = 0,85$ перевіряємо КЛ за умовою допустимого значення струму:

$$I_p = 23,93 \text{ А} < K_n I_{дон} = 76,5 \text{ А.}$$

- за умовою роботи у випадку аварійного режиму:

$$I_{p.ав} = 51,52 \text{ А} < K_{ан} K'_n I_{дон} = 1,3 \cdot 0,9 \cdot 90 = 105,3 \text{ А.}$$

Аналогічно виконуємо й розрахунки для всіх інших КЛ (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4 Вибір КЛ

№ КЛ	$S_p, \text{ кВА}$	n	$I_p, \text{ А}$	$I_{p.ав}, \text{ А}$	$F_{ек}, \text{ мм}^2$	Марка КЛ
КЛ 1,2	854,6	2,0	23,93	47,86	18,4	ААШВ-10 (3 х 25)
КЛ 3,4	806,5	2,0	22,59	45,18	16,13	ААШВ-10 (3 х 25)
КЛ 5,6	936,2	2,0	26,22	52,51	18,73	ААШВ-10 (3 х 25)

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір всіх типів електрообладнання наведено у табл.6.4 – 6.14.

Таблиця 6.4. Вибір вимикачів 35 кВ (ВРС-35)

Умова	Результат розрахунку
$U_{уст} \leq U_{ном}$	35,00 = 35,00
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	577,35 ≤ 1000,00
$I'' \leq I_{дин.ст}$	4,01 ≤ 52,00
$i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	7,62 ≤ 132,37
$I_{н\tau} \leq I_{ном.відкл}$	4,01 ≤ 20,00
$\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_n)$	5,68 ≤ 19,80
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	1,108 ≤ 1200,00

Таблиця 6.6. Вибір вимикача для вводу (10.5 кВ)

Умови вибору	Розрахунок
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10.50 ≤ 11,00
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	769,80 ≤ 1000,00
$I'' \leq I_{дин.ст}$	6,12 ≤ 52,00
$i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	13,693 ≤ 132,37
$I_{н\tau} \leq I_{ном.відкл}$	6,12 ≤ 20,00
$i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 - \beta_i)$	0,397 ≤ 8,485
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	2,5735 ≤ 1200,00

Момент розходження контактів τ :

$$\tau = t_{\epsilon} + t_{pz.min} = 0,04 + 0,01 = 0,05 \text{ с.}$$

Аперіодична складова струму КЗ:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} I'' e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 6,21 e^{-\frac{0,052}{0,0168}} = 0,397 \text{ кА.}$$

Встановлюємо вимикач ВР1-10-20/1000 ТЗ з параметрами:

$$U_{ном} = 11,00 \text{ кВ}$$

$$I_{TH} = 20,00 \text{ кА}$$

$$U_{max.pob} = 12,00 \text{ кВ}$$

$$I_{дин.ст} = 52,00 \text{ кА}$$

$$I_{ном} = 1000,00 \text{ А}$$

$$t_{відкл.вл} = 0,040 \text{ с}$$

$$I_{відкл} = 20,00 \text{ кА}$$

$$t_{відкл.заг} = 0,060 \text{ с}$$

$$t_{TH} = 3,00 \text{ с}$$

$$\beta_n = 0,40.$$

Обираємо до встановлення ВР1-10-20/1000 ТЗ.

Таблиця 6.7. Вибір секційного вимикача (10.5 кВ)

Умови вибору	Розрахунок
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,50 \leq 11,00$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$384,90 \leq 630,00$
$I'' \leq I_{дин.ст}$	$6,12 \leq 52,00$
$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$13,693 \leq 132,37$
$I_{n\tau} \leq I_{ном.відкл}$	$6,12 \leq 20,00$
$i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{відкл} \beta_i$	$0,397 \leq 11,30$
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$2,5735 \leq 1200,00$

Час розходження контактів τ :

$$\tau = t_{\epsilon} + t_{pz.min} = 0,01 + 0,01 = 0,05 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к.з. для моменту розходження контактів:

									Арк.
Зм.	Арк.								

Обираємо роз'єднувач РНДЗ-35/1000 У1.

На напругу 35 кВ приймаємо до встановлення розрядник типу РВМ-35У. Додатково встановлюємо ОПНн-10/11.5/10/2 УХЛ1 на напругу 10кВ.

Вибір ізоляторів

Обираємо тип КРП - зовнішній, отже вибирати будемо тільки опорні ізолятори напругою 10 кВ. Приймаємо до встановлення опорний ізолятор типу ИОС-10-500УХЛТ1.

Перевіряємо за допустимим механічним навантаженням:

$$F_p = 1,62 \cdot k_\phi \cdot i_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,62 \cdot 1,0 \cdot 13.693^2 \cdot \frac{2}{0,80} \cdot 10^{-7} = 75,90 \text{ Н.}$$

Умова вибору:

$$F_p \leq 0,60 \cdot F_{руий}, \text{ отже } 75,90 < 0,60 \cdot 5000,00, \text{ тобто } 75,90 < 3000,00.$$

Ізолятор даного типу задовольняє умови вибору, отже обраний правильно.

Навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{35,8^2 + 6,2^2} = 36,3 \text{ кВА.}$$

Відповідно потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 36,3 = 29,066 \text{ кВА.}$$

Отже, встановлюємо для ВП 2 х ТМ-25/10 з параметрами: $S_{ном} = 25,0$ кВА, $U_{BH} = 10,0$ кВ, $U_{HH} = 0.40$ кВ.

Коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{29,066}{2,0 \cdot 25,0} = 0,581.$$

Таблиця 6.10. Вибір ТВП

№ з/п	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	n	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВар
1	Двигуни охолодження трансформаторів	5,0	2,0	0,85	0,62	10,0	6.2

						Арк.
Зм.	Арк.					

Обираємо до встановлення ТС типу ТПШЛ-10 з параметрами:

$$U_{ном} = 10,0 \text{ кВ}; I_{ном} = 1500,0 \text{ А}; \text{ клас точності: } 0.50; I_{дин.ст} = 128,0 \text{ кА}, \\ Z_{2ном} = 0.80 \text{ Ом}, I_{термст} = 40,0 \text{ кА}, t_{ТН} = 3,0 \text{ с}.$$

Щоб ТС працював в обраному класі точності, необхідно виконувати:

$$Z_{прил} + R_{пров} + R_{конт} \leq Z_{2ном}$$

$$R_{пров} = Z_{2ном} - Z_{прил} - R_{к} = 0.80 - 0.160 - 0.100 = 0.536 \text{ Ом}$$

$$F = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{R_{пров}} = \frac{0.0175 \cdot 20}{0.536} = 0.6530 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель типу АКРВГ-1,5, $F = 1.50 \text{ мм}^2$ з опором:

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{F_{пр.ст}} = \frac{0.0175 \cdot 20,0}{1.50} = 0.0350 \text{ Ом}$$

Навантаження ТС:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{провст} + R_{конт} = 0.160 + 0.0350 + 0.10 = 0.300 \text{ Ом}$$

Виконаємо вибір ТС для відхідних КЛ (табл. 6.12). Опір приладів:

$$Z_{прил} = \frac{I_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4.10}{5,0^2} = 0.160 \text{ Ом}$$

Обираємо ТС типу ТПЛ-10: $U_{ном} = 10,00 \text{ кВ}$, $I_{ном} = 100,00 \text{ А}$, відповідно з класом точності: 0.50.

$$I_{дин.ст} = 74.50 \text{ кА}; Z_{2ном} = 0.40 \text{ Ом}; I_{термст} = 9.450 \text{ кА}; t_{ТН} = 3,0 \text{ с}$$

$$R_{пров} = Z_{2ном} - Z_{прил} - R_{к} = 0.40 - 0.160 - 0.10 = 0.1400 \text{ Ом}$$

$$F = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{R_{пров}} = \frac{0.0175 \cdot 10,0}{0.1360} = 1.290 \text{ мм}^2$$

Обираємо АКРВГ-1,5 з відповідним опором:

$$R_{пров} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{F_{пр.ст}} = \frac{0.0175 \cdot 10,00}{10,00} = 0.01750 \text{ Ом}$$

Навантаження ТС:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{провст} + R_{конт} = 0.160 + 0.01750 + 0.10 = 0.2800 \text{ Ом}$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

Таблиця 6.12. Вибір ТС для КЛ 10 кВ

Умови вибору	Розрахунок
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,0 \leq 10,0$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$76,980 \leq 200,0$
$i_y \leq I_{дин.ст}$	$13,6930 \leq 74.50$
$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$1,94508 \leq 19,7990$
$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0.2815 \leq 0.40$

Таблиця 6.13. Розрахунок вторинного навантаження ТС

Обладнання	Навантаження фази		
	А	В	С
Ватметр	0,50	-	0,50
Варметр	0,50	-	0,50
Амперметр	0,10	-	0,10
Лічильник АЕ	1,50	-	1,50
Лічильник РЕ	1,50	-	1,50
Всього	4,10	-	4,10

Вибір трансформаторів напруги

Таблиця 6.14. Розрахунок навантаження ТН

Прилад	S, BA	Кількість обмоток	Кількість приладів	S_{Σ}, BA
Вольтметр	2,00	1,00	3,00	6,00
Лічильник	1,80	2,00	1,00	3,60
Ватметр	1,50	1,00	1,00	1,50
Варметр	2,00	1,00	1,00	2,00
Лічильник АЕ	3,00	2,00	12,00	72,00
Лічильник РЕ	3,00	2,00	12,00	72,00
Всього				157,10

Обираємо ТН типу НАМИ-10-66 УЗ з номінальними параметрами:

$$U_{перв} = 10,00 кВ, U_{втор} = 100,00 В, S_{ном0.5} = 200,00 ВА.$$

Отже, результати розрахунків підтверджують, що обрані трансформатори будуть працювати в заданому класі точності. На іншій секції вибір трансформаторів напруги виконано за тією ж методикою.

						Арк.
Зм.	Арк.					

7. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ СПОЖИВАЧІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА

Надійність електропостачання належить до стабільності та неперервності електричного живлення в системі постачання електроенергії. Це означає, що споживачі отримують електричну енергію без перебоїв і знижень якості.

Надійність системи електропостачання на хімічному заводі є критично важливою з кількох причин:

1. Безпека працівників: Надійне електропостачання забезпечує безпеку працівників на хімічному заводі. Багато процесів на заводі потребують електричної енергії для роботи обладнання та систем управління. Відключення електропостачання може створити небезпеку для працівників, зокрема через втрату контролю над процесами, неможність регулювати параметри та реагувати на аварійні ситуації.

2. Уникнення аварій та втрати продукції: Хімічні заводи часто працюють з небезпечними речовинами та високими температурами. Навіть короточасне відключення електропостачання може призвести до порушення процесів, втрати контролю над реакціями та спричинити аварії. Це може мати серйозні наслідки, включаючи витoki небезпечних речовин, забруднення довкілля та збитки вартістю у великі суми.

3. Забезпечення стабільності виробництва: Електроенергія є необхідною для роботи багатьох процесів на хімічному заводі, включаючи насоси, компресори, системи охолодження та інші установки. Недостатність або ненадійність електропостачання може призвести до перерв у виробництві, зупинки обладнання та втрати продуктивності. Це може мати серйозний вплив на бізнес-процеси, затримки поставок та негативно вплинути на репутацію компанії.

4. Виконання нормативних вимог та стандартів: Хімічні заводи зазвичай підпорядковані строгим нормативним вимогам та стандартам, що

						Арк.
Зм.	Арк.					

стосуються безпеки, якості та дотримання екологічних стандартів. Надійна система електропостачання допомагає забезпечити виконання цих вимог і уникнення можливих порушень, що можуть мати серйозні юридичні, фінансові та репутаційні наслідки.

Отже, надійна система електропостачання на хімічному заводі є важливою для забезпечення безпеки працівників, уникнення аварій та втрати продукції, забезпечення стабільності виробництва та виконання нормативних вимог. Це допомагає зберегти безпеку, ефективність та конкурентоспроможність хімічного заводу.

Забезпечити надійність електропостачання можна за допомогою різних заходів:

1. Розподілена система постачання електроенергії: Застосування розподіленої системи постачання, яка складається з різних джерел енергії і мереж, дозволяє знизити ризик перебоїв у разі відмови одного джерела або мережі. Наприклад, використання альтернативних джерел енергії або ж встановлення резервних джерел живлення.

2. Запобігання відмовам: Проведення регулярного технічного обслуговування, періодична перевірка та планова заміна обладнання допомагають запобігти відмовам в системі. Ретельна діагностика стану обладнання та виявлення потенційних проблем дозволяють вчасно усунути неполадки перед тим, як вони призведуть до перебоїв.

3. Резервне живлення: Встановлення резервних джерел живлення, таких як генератори аварійного живлення або UPS (унітераптебл-пауер-сурс), дозволяє підтримувати живлення в разі відмови основного джерела енергії.

4. Автоматизовані системи керування: Використання автоматизованих систем керування може допомогти виявити проблеми в системі та автоматично перемикати на резервне живлення без втрати живлення для споживачів.

						Арк.
Зм.	Арк.					

5. Резервні мережі: Розподіл системи на резервні мережі дозволяє уникнути перебоїв у постачанні електроенергії, навіть якщо одна з мереж виходить з ладу.

7.1. Розроблення схеми АВР на напругу 0,4 кВ

Для підвищення надійності СЕП споживачів підприємства хімічного спрямування на стороні НН ТП розглянемо можливість застосування схем АВР (рисунок 7.1.). Застосування подібних схем дозволяє унеможливити втрату напруги у разі аварійних ситуацій на ділянках приєднання трансформатор-розподільний пристрій, а також у випадках пошкоджень власне ТР і є достатньо ефективним засобом управління резервуванням.

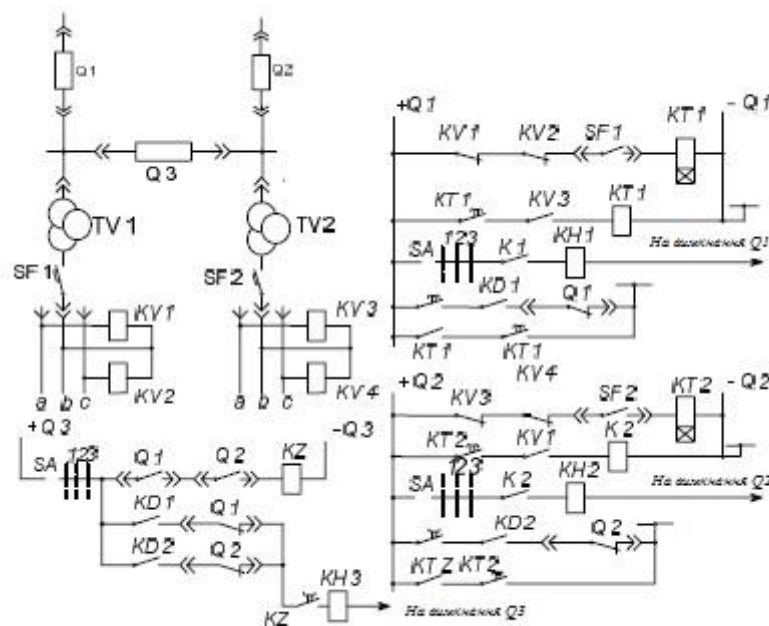


Рисунок 7.1. Електрична схема пристрою АВР

ABP має:

1) пусковий механізм, що відповідає за надійне визначення факту переривання електропостачання від основного джерела живлення. У ролі ПМ використовують вихідні кола пристроїв РЗ та автоматики, спрацювання яких подає сигнали на відімкнення робочого джерела.

Даний блок виконано з використанням двох реле напруги РН-53/60 Д, під'єднаних на вторинну напругу.

2) Механізм витримки часу - необхідний задля збереження селективності дії УАВР відносно захистів ліній та інших пристроїв автоматики.

3) Механізм контролю напруги – необхідний задля контролю рівня та частоти напруги РДЖ.

Дія УАВР забезпечена принципом одноразовості за рахунок наявності проміжного реле із встановленням затримання під час повернення.

Конструкція УАВР дозволяє забезпечити можливість його дії у разі зникнення напруги споживачів через відімкнення РЗ пошкодженого основного джерела живлення; мінімальне значення тривалості ввімкнення живлення, значно зменшуючи тривалість простої технологічного обладнання; ввімкнення РДЖ, лише після відімкнення вимикача робочого джерела на введенні до споживача; одноразовості дії та дозволяє контролювати технічний стан кола увімкнення.

7.2. Визначення необхідної потужності РДЖ та вибір обладнання

Визначимо значення приєднаної потужності споживачів II категорії та загального навантаження резервної електростанції у момент відімкнення від електропостачання лінії 10 кВ для вибору потужності РДЖ.

Для ПП основними споживачами, які потребують додаткового резервування є: холодильні камери, насоси опалення, компресорні установки та установки зниження тиску аміаку.

Розрахунок загального навантаження виконуємо аналогічно до розрахунків п.1. Для зручності результати розрахунків наведемо у окремій таблиці (див.табл.7.1.).

							Арк.
Зм.	Арк.						

Назва групи споживачів	n	Р одного		P_{Σ}	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
		min	max					P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Установка зниження тиску аміаку	2	8,8	8,8	17,6	0,70	0,80	0,75	12,3	9,24					
Холодильна камера	2	11	11	22,0	0,70	0,80	0,75	15,4	11,6					
Насос опалювання	2	2,2	2,2	4,4	0,70	0,80	0,75	3,30	1,09					
Аміачно-гвинтовий компресор	2	100	100	200,0	0,70	0,80	0,75	140,0	105,0					
Аміачно-поршневий компресор	1	60	60	60,0	0,70	0,80	0,75	42,0	31,5					
Всього по РП	9	2,2	100	335,0	0,68	0,80	0,75	227,0	167,0	282	22	1,20	1,00	272,0
ЩО				9,66	0,8	0,90	0,3	8,20	2,72	8,68	-	-	-	8,20
Всього на шинах НН								236	171	290	-	-	-	280,20

На рисунку 7.2 наведено зовнішній вигляд такого джерела живлення, а на рисунку 7.2 – його габаритні розміри, що в подальшому дозволить коректно визначити місце розташування резервного джерела.



Рисунок 7.3. Зовнішній вигляд дизельної електростанції типу АД-350

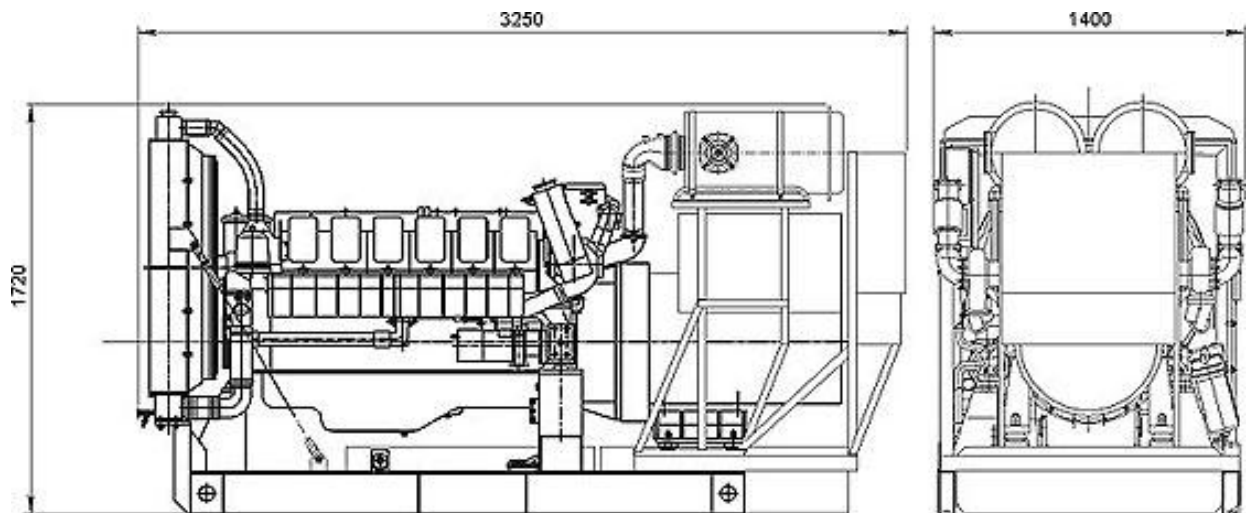


Рисунок 7.4. Креслення дизельної електростанції типу АД-350 з нанесенням габаритних розмірів

Система автоматичного керування може бути виконана для локального контролю або ж керування з використанням ноутбуку, чи персонального комп'ютера або додаткового пульта керування.

7.3. Електрична схема керування резервним джерелом живлення

Принципова електрична схема резервування системи електропостачання наведена на рисунку 7.5.

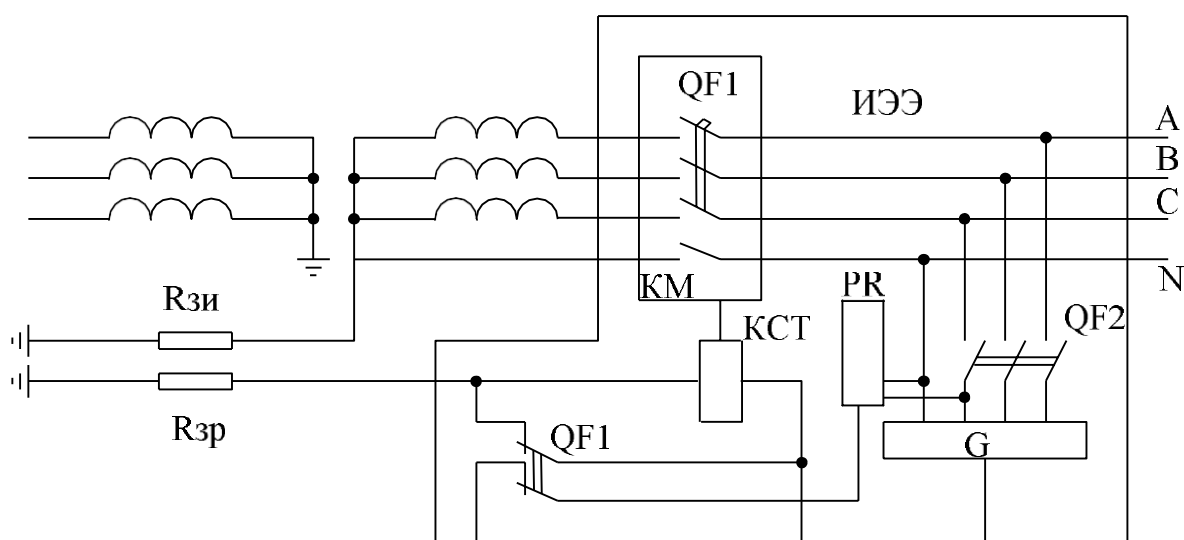


Рисунок 7.5. Електрична схема резервного живлення

У разі наявності напруги в мережі автоматичний вимикач $QF2$ генератора відімкнений, автоматичний вимикач $QF1$ та відповідний контактор KM вимкнені, і резервна електростанція отримує електропостачання для ВП (наприклад, робота протипожежної системи тощо). У такому випадку допоміжні контакти вимикача $QF1$ мережі роз'єднані, а реле KCT ввімкнене між робочим заземленням $R_{зр}$ та корпусом резервної електростанції. У випадку зникнення напруги в основній мережі, або у випадку виникнення КЗ реле електростанції KCT спрацює, сигналізуювши для автоматичного запуску резервного джерела в роботу.

7.4. Розрахунок освітлення приміщення резервного джерела живлення

Розрахунок освітлення приміщення, де буде розміщено резервне джерело живлення, виконуємо із застосуванням методу питомої потужності.

Довжина приміщення – $H_0 = 7,3$ м,

ширина приміщення – 3,4 м,

висота приміщення – 4,6 м.

Норма освітленості приміщення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення становить $E_H = 150$ лк. Обираємо до встановлення світильники типу ЛПО 01-2x40 з люмінісцентними лампами ЛБ 2x40 (світловий потік однієї лампи 3000 лм), напруга мережі 220 В.

Обчислимо відстань від робочої поверхні до світильника за виразом:

$$H_P = H_0 - h_{CB} - h_{POB} = 4,6 - 0 - 0,6 = 4,0 \text{ м}$$

Значення питомої потужності становить:

$$p = 11,60 \text{ Вт/м}^2$$

Відповідно потужність освітлення становитиме:

$$P = p \cdot S = 11,60 \cdot 21,90 = 254,04 \text{ Вт}$$

Отже, розрахункова кількість світильників в приміщенні становитиме:

$$n = \frac{254,04}{2,0 \cdot 40} = 3,10 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення $n = 3,0$ шт.

							Арк.
Зм.	Арк.						

Світильники розміщуємо симетрично один відносно одного, в один ряд по ширині приміщення. Підбір марки КЛ для освітлювальної мережі визначаємо, виходячи із класу та призначення приміщення, а також із врахуванням зручності монтажу.

Обираємо КЛ марки ВВГнг, спосіб прокладання по перекриттю, з додатковим розміщенням в трубі.

Необхідний переріз КЛ визначаємо за значенням розрахункового струму:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} = \frac{254,04}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0,390 \text{ A.}$$

Відповідно до вимог [7] значення поперечного перерізу жил за механічною міцністю, які використовують для внутрішньої електропроводки, повинно бути не менше 1 мм².

Отже, обираємо ВВГнг-(3х1,0) зі значенням $I_{доп} = 14,0 \text{ A}$.

7.5. Розрахунок вентиляції приміщення резервного джерела живлення

Система вентиляції в приміщенні резервного джерела живлення має кілька важливих функцій:

1. Охолодження: Резервне джерело живлення, таке як генератор може виділяти значну кількість тепла під час роботи. Система вентиляції допомагає видалити це надлишкове тепло і забезпечити оптимальну температуру в приміщенні. Перегрів резервного джерела живлення може призвести до його несправності або збою, що може вплинути на безперебійність постачання електроенергії.

2. Вентиляція вихлопних газів: Деякі резервні джерела живлення, зокрема дизельні генератори, випускають шкідливі вихлопні гази, такі як оксиди азоту та вуглецю. Система вентиляції допомагає видалити ці гази з

									Арк.
Зм.	Арк.								

приміщення, забезпечуючи безпеку для працівників та зменшуючи вплив на навколишнє середовище.

3. Постачання свіжого повітря: Резервне джерело живлення може споживати повітря для згоряння палива або для охолодження двигуна. Система вентиляції забезпечує постійний потік свіжого повітря, що дозволяє зберігати оптимальні умови для роботи резервного джерела живлення.

4. Зменшення вологості: Вентиляційна система може видаляти вологу з приміщення, що є важливим для підтримки оптимальних умов роботи резервного джерела живлення. Вологість може спричинити корозію та інші проблеми, що можуть негативно вплинути на функціонування обладнання.

Загалом, система вентиляції в приміщенні резервного джерела живлення необхідна для забезпечення безперебійного та ефективного роботи цього обладнання, а також для збереження безпеки працівників та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Для забезпечення відповідності хімічному складу та фізичному стану повітря вимогам гігієни, таким як необхідна температура, вологість та швидкість руху, визначимо вентиляційну систему та її продуктивність на основі розрахунку обміну повітря в приміщенні.

Розрахуємо кількість вологи, що виокремлюють люди (на постійній основі в приміщенні перебуває 3 особи):

$$W_1 = n \cdot w = 3,0 \cdot 52,1 = 156,30 \text{ г/люд},$$

$w = 52,1 \text{ г/люд}$ - нормативне значення вологи, що виокремлює людина за середнього значення температури в приміщенні 16°C .

Значення допустимого вмісту вологи в середині приміщення:

$$d_1 = d_{\text{НАС}} \cdot \varphi_1 = 9,40 \cdot 0,70 = 6,580 \text{ г/м}^3,$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

де $d_{1HAC} = 9,40 \text{ г/м}^3$ - кількість вологи насиченого повітря за температури всередині приміщення $16,0 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_1 = 0,70$ - значення коефіцієнта допустимої відносної вологості повітря.

У той же час, наявність вологи зовнішнього повітря становитиме:

$$d_2 = d_{2HAC} \cdot \varphi_2 = 2,72 \cdot 0,97 = 2,48 \text{ г/м}^3,$$

де $d_{2HAC} = 2,720 \text{ г/м}^3$ - наявність вологи насиченого зовнішнього повітря за максимального значення плюсової температури, $\varphi_1 = 0,970$ - значення коефіцієнта допустимої відносної вологості.

Отже, значення годинного повітрообміну становитиме:

$$L_{BOI} = 1,1 \frac{W_1}{d_1 - d_2} = 1,1 \cdot \frac{156,30}{6,58 - 2,48} = 41,90 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахуємо кількість повітря, що має бути видалена з приміщення для нормалізації рівня вуглекислого газу:

$$L_{CO2} = \frac{M_{CO2}}{Y_{ГДК} - Y_{П}} = \frac{3,0 \cdot 25,0}{3,45 - 0,70} = 27,30 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначаємо динамічну складову тиску:

$$P_{дин} = \frac{\rho_0}{1 + \alpha \cdot t_{BH}} \cdot \frac{V^2}{2} = \frac{1,29}{1 + 0,003 \cdot 29,5} \cdot \frac{12,0^2}{2,0} = 60,50 \text{ Па}.$$

Статичну складову тиску визначаємо:

$$P_{CT} = L \cdot h + \sum \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 10 \cdot 1,90 + 4,12 \cdot 1,190 \cdot \frac{12,0^2}{2,0} = 372,0 \text{ Па}.$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

Тобто, загальний тиск на вентилятор становитиме:

$$P = P_{ст} + P_{дин} = 60,5 + 372,0 = 432,50 \text{ Па.}$$

Для встановлення обираємо вентилятор ВЦ 4-75 з номінальними параметрами: продуктивність $L = 800,0 \text{ м}^3/\text{год}$, двигун 4А80А6, кількість обертів двигуна $n = 915,0 \text{ об/хв.}$ та потужністю $N = 0,060 \text{ кВт.}$

7.6. Вимоги до обслуговуючого персоналу резервного джерела живлення

Обслуговування резервної дизельгенераторної електростанції вимагає кваліфікованого персоналу з належними знаннями і навичками. Ось деякі вимоги до персоналу, які можуть бути необхідними для ефективного обслуговування резервної дизельгенераторної електростанції:

1. Знання дизельних двигунів: Персонал повинен мати розуміння принципів роботи дизельних двигунів, їх компонентів та систем, таких як паливна система, система охолодження та система змащення. Вони повинні знати, як встановити, налаштувати та діагностувати дизельний двигун.

2. Електрична безпека: Знання про електробезпеку є необхідним для роботи з електричними системами генераторної установки. Персонал повинен розуміти правила безпеки, пов'язані з роботою з електричними колами, заземленням, управлінням перекидними перемикачами та іншими елементами електричних систем.

3. Діагностика та усунення несправностей: Персонал повинен мати навички діагностики та усунення несправностей в дизельному двигуні та інших компонентах електростанції. Вони повинні вміти виявляти проблеми, проводити ремонтні роботи та відновлювати роботу системи.

									Арк.
Зм.	Арк.								

4. Знання автоматики та керування: Резервна дизельгенераторна електростанція може мати автоматичну систему керування та моніторингу. Персонал повинен бути ознайомлений з цією системою, знати, як контролювати та налаштовувати параметри роботи генератора, а також як реагувати на аварійні ситуації.

5. Здатність до роботи в аварійних ситуаціях: Персонал повинен бути підготовлений до дії в непередбачуваних ситуаціях, таких як відмова основного джерела живлення або виникнення несправностей в резервній електростанції. Вони повинні бути вмілими у прийнятті швидких та ефективних рішень, щоб забезпечити безперебійне постачання електроенергії.

6. Регулярне підтримання та обслуговування: Персонал повинен розуміти важливість регулярного обслуговування та підтримання резервної дизельгенераторної електростанції. Вони повинні вміти виконувати заплановані обстеження, заміну фільтрів, мастил, акумуляторів та іншого зношеного обладнання.

Ці вимоги можуть різнитися залежно від конкретних характеристик та потреб резервної дизельгенераторної електростанції. Важливо мати належно підготовлений та кваліфікований персонал, щоб забезпечити безперебійне та надійне функціонування системи.

Вимоги до персоналу в основному подібні до вимог, які наявні для електротехнічного персоналу, що працює з електроустановками до 1000 В. Для експлуатації резервної електростанції необхідно мати працівників, які належать до електробезпечових груп II - V, досягли повноліття, отримали необхідну теоретичну і практичну підготовку та мають допустимий стан здоров'я. Оцінка стану здоров'я електротехнічного персоналу проводиться при прийомі на роботу та періодично, раз у два роки, шляхом медичного огляду. Перелік медичних протипоказань до роботи встановлений відповідним наказом Міністерства охорони здоров'я України. Навчання

							Арк.
Зм.	Арк.						

нових працівників, що приєднуються до команди обслуговування електроустановки, мають свої особливості.

Перед призначенням на самостійну роботу майбутній працівник повинен успішно пройти навчання на новому визначеному робочому місці. Впродовж визначеного періоду навчання він має отримати практичні навички, ознайомитися з устаткуванням та апаратурою, а також освоїти необхідний для даної посади обсяг правил, інструкції та всіх нормативних документів, що діють на території України та на окремому ПП.

Навчання здійснюється згідно із попередньо визначеною програмою, під керівництвом працівника з багаторічним досвідом та усіма необхідними навичками. Встановлення програми навчання покладається на відповідальну особу, яка відповідає за електрогосподарство на підприємстві. Особа, що проходить навчання, має право виконувати оперативні перемикання, огляди та будь-які інші роботи в електроустановці виключно за наявності дозволу та під час перебування керівника поруч.

Відповідальність за коректність дій та дотримання усіх правил несуть як керівник, так і сам стажер.

Так, після закінчення виробничого навчання стажер повинен пройти перевірку відповідності отриманих знань у відповідній кваліфікаційній комісії промислового об'єкта. Ця перевірка охоплює необхідний обсяг знань, вимаганих для виконання конкретної посади. У випадку успішного проходження перевірки, особі присвоюється відповідна група з електробезпеки та видається відповідне посвідчення встановленої форми, що підтверджує його кваліфікацію.

Після перевірки знань, стажер повинен пройти стажування безпосередньо на робочому місці тривалістю не менше двох тижнів. Це стажування може відбуватись шляхом дублювання, тобто особа працює під наглядом досвідченого працівника, щоб набути практичних навичок та досвіду в реальних умовах роботи. Після успішного завершення стажування, особа може бути допущена до самостійної роботи на даній посаді.

									Арк.
Зм.	Арк.								

Цей процес забезпечує впевненість в тому, що працівник має необхідні знання та навички для безпечного та ефективного виконання своїх обов'язків на робочому місці.

Допуск до безпосередньої самостійної роботи відбувається обов'язково з письмовим розпорядженням по ПП. Перевірка знань правил, експлуатаційних, посадових інструкцій та всіх інших документів для усього персоналу виконується кваліфікаційною комісією ПП, у складі трьох осіб.

Після завершення виробничого навчання, особа, що навчалася, складає екзамен із перевірки знань у відповідній кваліфікаційній комісії на промисловому об'єкті, з охопленням необхідного обсягу знань для даної посади. При успішному результаті перевірки знань, йому присвоюється відповідна група з електробезпеки, і видається посвідчення встановленого зразка.

Після перевірки знань, особа, що навчалася, пройде стажування на робочому місці, тривалість якого повинна бути не менше двох тижнів, після чого вона може бути безпосередньо допущена до самостійної роботи в індивідуальному порядку. Безпосередньо факт допуску до самостійної (індивідуальної) роботи обов'язково оформлюють відповідним розпорядженням на ПП.

Перевірка знань, правил, інструкцій та всіх необхідних до вивчення документів для всього персоналу здійснює кваліфікаційна комісія ПП, склад якої повинен бути не менше трьох осіб.

Допуск до роботи не дозволяється без проведення інструктажу. Однак, деякі роботи на приєднаннях резервної електростанції можуть бути виконані в порядку технічної експлуатації за наявності певних умов і відповідності наступним вимогам:

- Перелік робіт, які можуть бути виконані в порядку технічної експлуатації, повинен бути заздалегідь розроблений та затверджений керівником ПП або іншою відповідальною особою.

									Арк.
Зм.	Арк.								

- При виконанні робіт необхідно враховувати умови забезпечення безпеки і переконатися, що ці роботи можуть бути виконані одноосібно безпечно.

Таким чином, для виконання певних видів електротехнічних робіт на приєднаннях допускається використовувати порядок технічної експлуатації, якщо відповідають переліку дозволених робіт і забезпечено безпечні умови для самостійного виконання цих робіт.

Під час виконання робіт усім працівникам, які обслуговують резервну електростанцію, необхідно використовувати усі види засобів захисту. Основні електрозахисні засоби, які використовуються в електроустановках до 1 кВ – це :

- Штанги ізолюючі: вони дозволяють працювати з електричними деталями та проводами, не контактуючи з ними безпосередньо;
- Показчики напруги: використовують для визначення наявності напруги в електричних проводках або приладах;
- Діелектричні рукавички: їх використовують для захисту рук від електричного струму під час виконання робіт.
- Інструмент для слюсарно-монтажних робіт з ізольованим захистом: такий інструмент має ізольовані руків'я для захисту працівника від дії струму.

Додатковими електрозахисними засобами, які використовуються в електричних установках до 1000 В, є:

1. Діелектричні калоші: вони захищають ноги від електричного струму та допомагають уникнути непрямого контакту з заземленими поверхнями.
2. Діелектричні килимки: використовуються як ізольована підстилка для стояння або розміщення інструментів.
3. Переносні заземлення: вони створюють шлях заземлення для відводу струму під час роботи з електроустановками.

						Арк.
Зм.	Арк.					

4. Накладки та підставки, що ізолюють: застосовуються для захисту пристроїв та електрообладнання від прямого контакту зі струмом.

5. Плакати: використовуються для нагадування про правила безпеки, попереджень та вказівок щодо електрозахисту.

Кожен працівник, який помітив порушення правил або несправності в електроустановках або засобах захисту, повинен повідомити про ситуацію, що склалась керівникові. Це допоможе запобігти можливим небезпечним ситуаціям та вжити необхідні заходи для безпеки.

						Арк.
Зм.	Арк.					

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі спроектовано систему електропостачання підприємства з виробництва хімічної продукції із розробленням заходів з підвищенням рівня її надійності.

Розроблення системи електропостачання виконано з урахуванням вимог надійності, ефективності, зручності та безпечної експлуатації, а також з врахуванням можливостей майбутнього розширення. Під час проєктування були виконані розрахунки електричних навантажень і розглянута компенсація реактивної потужності. До встановлення обрано компенсуючі пристрої на 0,4кВ загальною потужністю $Q_{кН} = 550$ кВар та 900 кВар на 10 кВ.

Одним з передбачуваних джерел електропостачання підприємства є підстанція енергосистеми з рівнями напруги 37 та 10,5 кВ. Тому, розглядалось два варіанти схем зовнішнього електропостачання напругою 10 та 35 кВ відповідно. За розмірами зведених витрат та з огляду на майбутню перспективу обрана схема живлення напругою 35 кВ з трансформаторами 2хТМН-1600/35/10.

В системі електропостачання прийнято до встановлення три трансформаторні підстанції з потужністю трансформаторів 630 кВА. Система електропостачання цехових підстанцій виконана за радіальною схемою з прокладанням кабелів типу ААШв (3х35). З врахуванням розрахункових струмів короткого замикання обрано та перевірено високовольтне обладнання.

Темою спеціального розділу було підвищення надійності електропостачання відповідальних споживачів підприємства з виробництва хімічної продукції. За резервне джерело живлення обрано встановлення АВР на стороні НН 0,4 кВ. В роботі виконано розрахунок навантаження резервного джерела та обрано відповідну дизельну електростанції серії АД-350, яка відповідає всім необхідним умовам. Додатково виконано розрахунок освітлення та вентиляції приміщення резервного джерела живлення.

						Арк.
Зм.	Арк.					

Під час виконання проєктування системи електропостачання підприємства використано діючі інструкції, методики та всі необхідні нормативні документи та. Економічне обґрунтування, а також забезпечення вимог надійності та безпечної експлуатації виконано у всіх прийнятих технічних рішеннях.

						Арк.
Зм.	Арк.					

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.
2. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств: ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 2015–10–28]. – К.: Мінрегіон, 2016. – 83 с. – (Національний стандарт України).
3. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.
4. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання: навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
7. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
8. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення ДБН В.2.5-28:2018. – [Чинний від 2019–02–28]. – К.: Мінрегіон, 2018. – 83 с. – (Державні Будівельні Норми).

						Арк.
Зм.	Арк.					

9. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник / С.В. Казанський, Ю.П. Матєєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с.

10. Журахівський А.В. Надійність електричних систем і мереж: [навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. електротехн. спец.] / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух.; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

11. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

						Арк.
Зм.	Арк.					