

Міністерство освіти і науки України
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
_____ П. Плешков
“ ____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**«Проектування системи енергетичного контролю
хлібозаводу з розробкою енергоаудиту насосних
установок»**

**«Designing the energy control system of the bread
factory with the development of an energy audit of
pumping units»**

Виконав здобувач IV курсу групи
ЕНМ-19
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ М. Іщенко
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
професор, канд.техн.наук
_____ С. Серебренніков
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

П. Плешков

«_____» _____ 2023 р.

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

Іщенко Максиму Руслановичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи енергетичного контролю хлібозаводу з розробкою енергоаудиту насосних установок

Designing the energy control system of the bread factory with the development of an energy audit of pumping units

2. Керівник роботи Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 10.06.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії; розрахунок спеціального розділу кваліфікаційної роботи

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 кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Вихідні данні до проектування</i>	<i>26.03.19</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>02.04.19</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>14.04.19</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>23.04.19</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>26.05.19</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>30.04.19</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05.19</i>	
8	<i>Розрахунок струмів К.З. та облік електроенергії</i>	<i>18.05.19</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>22.05.19</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>28.05.19</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>04.06.19</i>	

Дата видачі завдання

Підпис керівника _____

« ____ » _____ 2023 р.

Завдання прийнято до виконання

Підпис здобувача _____

« ____ » _____ 2023 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 71 с.; 20 рис.; 12 табл.; 19 джерел

Іщенко М.В. Проектування системи енергетичного контролю хлібозаводу з розробкою енергоаудиту насосних установок. – Рукопис.

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

Бакалаврська робота присвячена розробленню системи енергетичного контролю хлібозаводу, яка задовольняє канонам економічності та надійності роботи. Для цього виконано першорядні техніко-економічні розрахунки: електронавантажень, режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань. Виконано вибір схем електропостачання, трансформаторних підстанцій, компенсуючих установок, струмопроводів, високовольного устаткування.

У спеціальному розділі бакалаврської роботи проаналізовано заходи з електрозбереження в насосних агрегатах. Виявлено наступні можливості енергозбереження: низькозатратні МЕЗ (Якісне обслуговування елементів електроприводу; недопущення роботи в холостому ході); середньозатратні (Заміна електричного двигуна на менш потужний; впровадження обмежувачів холостого ходу двигуна); багатовитратні (Встановлення частотно-керованого регулювання швидкості обертання).

Енергоаудит дозволяє оцінити загальну економію коштів в насосному господарстві від запропонованих заходів: загальна економія - 27424170 грн.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, енергоаудит, частотне регулювання, частотний перетворювач

ABSTRACT

Qualification work: 71 p.; 20 Fig.; 12 tables; 19 sources

Ishchenko M.V. Designing the energy control system of the bread factory with the development of an energy audit of pumping units. - Manuscript.

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

The bachelor's thesis is devoted to the development of the energy control system of the bakery, which satisfies the canons of economy and reliability of work. For this, first-rate technical and economic calculations were performed: electronic loads, reactive power modes, short-circuit currents. The selection of power supply schemes, transformer substations, compensating installations, power lines, high-voltage equipment has been made.

In a special section of the bachelor's thesis, the measures for saving electricity in pumping units are analyzed. The following energy-saving opportunities have been identified: low-cost MES (Quality maintenance of electric drive elements; prevention of idling); medium-cost (Replacement of an electric motor with a less powerful one; introduction of engine idle limiters); multi-use (Installation of frequency-controlled regulation of rotation speed).

The energy audit makes it possible to estimate the total cost savings in the pumping industry from the proposed measures: total savings - UAH 2,742,170.

Keywords: electrical loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, energy audit, frequency regulation, frequency converter

ЗМІСТ

	ст.
1. Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу підприємства	7
2. Розрахунок електричних навантажень	8
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В ..	8
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	10
2.3. Розрахунок електричних навантажень в мережах понад 1000 В	11
3. Побудова графіків електричних навантажень підприємства	12
4. Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування головної понижувальної підстанції (ГПП), центрального розподільного пристрою (ЦРП) і компенсуючих пристроїв.....	16
5. Вибір електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	18
6. Режими реактивної потужності системи електропостачання.....	25
6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах	25
6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	26
7. Трансформаторні підстанції	31
8. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання	32
8.1. Розрахунок струмів короткого замикання	32
8.2. Вибір кабелів напругою 10 000 В.....	36
8.3. Підбір електротехнічних приладів.....	38
9. Спеціальний розділ.....	41
Висновки.....	53
Перелік посилань	54
Додатки.....	56

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Іщенко			Проектування системи енергетичного контролю хлібозаводу з розробкою енергоаудиту насосних установок <i>Designing the energy control system of the bread factory with the development of an energy audit of pumping units</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Серебренніков					6	71
Реценз.						ЦНТУ, гр. ЕНМ-19		
Н. Контр.								
Затверд.		Плешков						

1. ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДПРИЄМСТВА

Живлення комбінату хлібопродуктів (КХП) виконується кабельними лініями 10 кВ. На території КХП розміщено центральний розподільчий пункт. Джерелом живлення комбінату є підстанція, на якій використовується три напруги – 150, 35 та 10 кВ. Відстань від підстації до КХП – 1,5 км.

Комбінат структурно складається з комбікормового заводу та двох круп'яних заводів.

Коротка характеристика технологічного процесу.

Комбінат хлібопродуктів містить:

гречаний цех, круп'яний цех, цех кормосумішей, склад готової продукції, цех виготовлення мюслів, цех фасування, цех відходів, склади, котельню, ДЕПО, автогараж, заводоуправління, елеватор.

Круп'яні заводи виконують діяльності з переробки зернових та круп'яних культур. Основним технологічним устаткуванням є: зерносушилки, стрічкові та гвинтові конвеєри, приводні й натяжні станції, барабани, шнеки, норії, шелушильні вальцедекові верстати, помпи, вентилятори, тощо.

Потужність електроустаткування – від 0,10 до 90 кВт. На підприємстві встановлено велика кількість pomp та вентиляторів для підтримання мікроклімату. Цехи круп'яних заводів перебувають в одній будівлі.

Режим роботи підприємства - двозмінний.

Споживачі підприємства за надійністю електропостачання в основному належать до II та III категорій.

Гаряче водопостачання комбінату є централізованим, від заводської котельні.

У разі виникнення перебоїв в подачі гарячої води у їдальні встановлено додаткове устаткування для потреб гарячого водопостачання.

						Арк.
						7
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Розрахунок потужності електричних навантажень в електричних мережах до 1000В

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів (ЕП):

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M \quad (2,1)$$

де P_{cm} - середнє активне навантаження групи ЕП або вузла навантаження;

K_M - максимальний коефіцієнт навантаження.

Коефіцієнт K_M знаходиться за табл. [1, 2] залежно від значення коефіцієнта використання групи та ефективної кількості ВП у групі чи у вузлі навантаження.

Спільний коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1 P_n} \quad (2.2)$$

де P_{cm} P_n - середнє фіксована потужність та навантаження групи ЕП;

n - кількість груп ЕП з іншими режимами роботи.

Ефективна кількість ЕП у групі (вузлі) n_e знаходиться залежно від величини K_u , та співвідношення

$$m = \frac{P_{n,max}}{P_{n,min}} \quad (2.3)$$

де $P_{n,max}$ $P_{n,min}$ - встановлена потужність найбільш або найменш потужного ЕП групи (вузла).

При $m > 3$ $K_u > 0,2$ значення n_e

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n,max}} \quad (2.4)$$

Якщо знайдено за (2.4) число n_e буде більше допустимої кількості ЕП групи (вузла) n , приймаємо $n_e = n$ слід прийняти згідно з (1, 2). При $K_u < 0,2$; n_e визначається кривими (1,2).

Розрахункове реактивне навантаження групи ЕП або вузла навантаження:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

при $n_e > 10$;

$$Q_p = Q_{см} \quad (2.5)$$

при $n_e \leq 10$;

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{см} \quad (2.6)$$

де $Q_{см}$ - середнє реактивне навантаження для макс. напруженої зміни

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.7)$$

Розрахунок максимального навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.8)$$

При наявності ЕП в розрахунковому вузлі з повторним-короткочасний режим роботи їх номінальна потужність відповідно для трансформаторів і двигунів:

$$P_n = P_{нач} \sqrt{\frac{ПВ\%}{100}} \quad (2.9)$$

$$S_n = S_{нач} \sqrt{\frac{ПВ\%}{100}} \quad (2.10)$$

Вихідні данні для розрахунку наведені в таб. 1.1 (додаток.).

Як, наприклад, розрахуємо електричні навантаження смітєвого цеху:

– знаходимо коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{0,1}{0,1} = 1$$

Середнє фіксована потужність та навантаження групи ЕП:

$$P_{ср} = P_{сум} \cdot K_u = 0.72 \cdot 0.4 = 0.288 \text{ кВт}$$

$$Q_{ср} = P_{ср} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0.288 \cdot 1.02 = 0.29 \text{ кВар}$$

Ефективна кількість ЕП у групі:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 36,72}{4} = 18$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

Коефіцієнт K_M знаходимо за табл. [1, 2] залежно від значення коефіцієнта використання групи та ефективної кількості ЕП у групі або у вузлі навантаження.

$$K_M = 1,08$$

Розрахункове реактивне та активне навантаження групи електроприймачів

$$P_p = P_{cm} \cdot K_M = 13.4 \cdot 1.4 = 18.883 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{cm} = 12.36 \text{ кВар (так як } n_e > 10).$$

Розрахунок інших цехів проводиться аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 2.1 (додт.).

2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Встановлена потужність освітлення ЕП, кВт;

$$P_y = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} \quad (2.11)$$

де p_0 - питома потужності освітлювального навантаження кВт; F - площа виробничого приміщення, m^2 .

Розрахунок навантаження освітлення електроприймачі:

$$P_{pосв} = K_n \cdot P_y \quad (2.12)$$

де K_n - коефіцієнт попиту.

Якщо для освітлення використовуються люмінесцентні або дугові ртутні лампи, то споживають вони реактивну потужність:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.13)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ відповідає характерному для цих джерел світла коефіцієнту потужності $\cos \varphi$ для ламп ДРЛ $\cos \varphi = 0,5$ для люмінесцентних ламп $\cos \varphi = 0,9$, для ламп розжарювання $\cos \varphi = 1$.

Розрахунок освітлювальних навантажень для цеху сміття:

$$F = 1450 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 10 \text{ Вт/м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 1450 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 14.5 \text{ кВт}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1.7$$

$$P_p = K_c \cdot P_y = 14.5 \cdot 0.95 = 13.8 \text{ кВт}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 14.5 \cdot 1.7 = 23.4 \text{ кВар}$$

Розрахунок інших цехів проводиться аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 2.3 (додт.).

2.3 Розрахунок електричних навантажень в електромережах понад 1000 В

Втрати в трансформаторах:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_x + \Delta P_k K_z^2) \quad (2.14)$$

$$\Delta Q = n \cdot ((I_x/100) \cdot S_n + (U_k/100) \cdot S_n K_z^2) \quad (2.15)$$

де n – кількість; ΔP_x , ΔP_k – втрати відповідно к.з. і х.х., %; K_z – коефіцієнт завантаження;

Наведено зведення ТП силових навантажень, освітлювальних навантажень і втрат в трансформаторах . Розрахунок електричних навантажень в електро мережах понад 1000 В виконуються у вигляді табл. 2.4 (додт.).

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВА

Відповідно до добового графіка визначається навантажувальна здатність трансформаторів, а також величина макс. і міні. навантаження, яка необхідна для розрахунку напруг в мережі.

За річним графіком визначаються значення річного споживання активної та реактивної енергії, середньоквадратичний коефіцієнт потужності, кількість годин використання максимального навантаження - T_{max} , річний час сумарних втрат τ .

При цьому беремо кількість робочих днів: взимку - 147, влітку - 105; кількість вихідних днів: взимку - 65, влітку - 48.

Річне споживання активної та реактивної енергії:

$$W_G = \sum P_i T_i \quad (3.1)$$

$$Q_G = \sum Q_i T_i \quad (3.2)$$

За результатами добових розкладів будується річний розклад за тривалістю.

Кількість годин використання макс. навантаження:

$$T_{max} = \frac{\sqrt{W_G^2 + Q_G^2}}{P_p} \quad (3.3)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{max}}{10^4})^2 \cdot 8760 \quad (3.4)$$

Р_{мах}= 3380.8 кВт
Q_{мах}= 3120.9 кВар
S_{мах}= 4601.068 кВА

Кількість робочих днів:
взимку 147
влітку 105

Кількість вихідних днів:
взимку 65
влітку 48

Робочі дні:

Зимові

Річне споживання активної електроенергії,
кВт*год:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

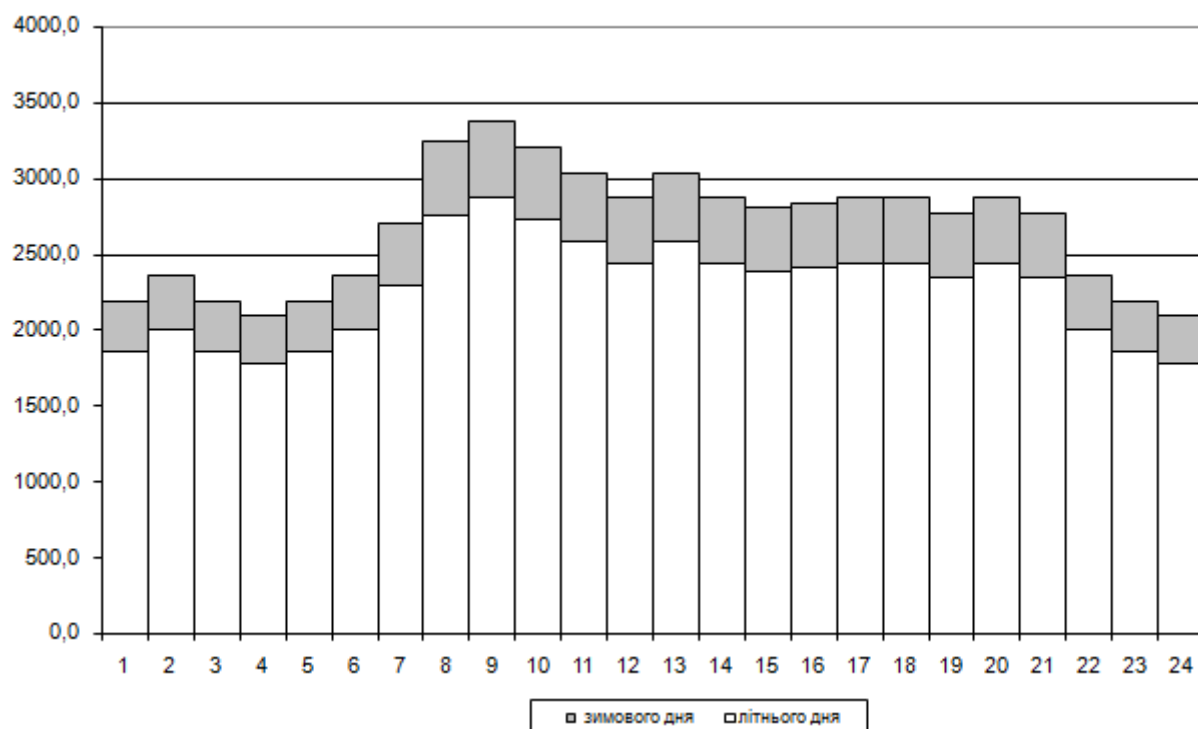
$W_r = 9447544$
 Річне споживання реактивної електроенергії,
 кВар*год:
 $V_r = 4170240$
 Річне споживання активної електроенергії,
 кВт*год:
 Літні $W_r = 5736009$
 Річне споживання реактивної електроенергії,
 кВар*год:
 Вихідні: $V_r = 2531932$
 Річне споживання активної електроенергії,
 кВт*год:
 Зимові $W_r = 4177486$
 Річне споживання реактивної електроенергії,
 кВар*год:
 $V_r = 1843984$
 Річне споживання активної електроенергії,
 кВт*год:
 Літні $W_r = 2622176$
 Річне споживання реактивної електроенергії,
 кВар*год:
 $V_r = 1157454$
 Загальне річне споживання активної електроенергії,
 кВт*год:
 $W_r = 21983214$
 Загальне річне споживання реактивної електроенергії,
 кВар*год:
 $V_r = 9703610$
 Час використання максимального навантаження,
 год:
 $T_m = 5222.6$
 Час максимальних втрат,
 год:
 $\tau = 3658.6$

Графіки реактивної та активної потужності в вихідні та робочі дні, а також річний графік за тривалістю наведені на рисунках

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

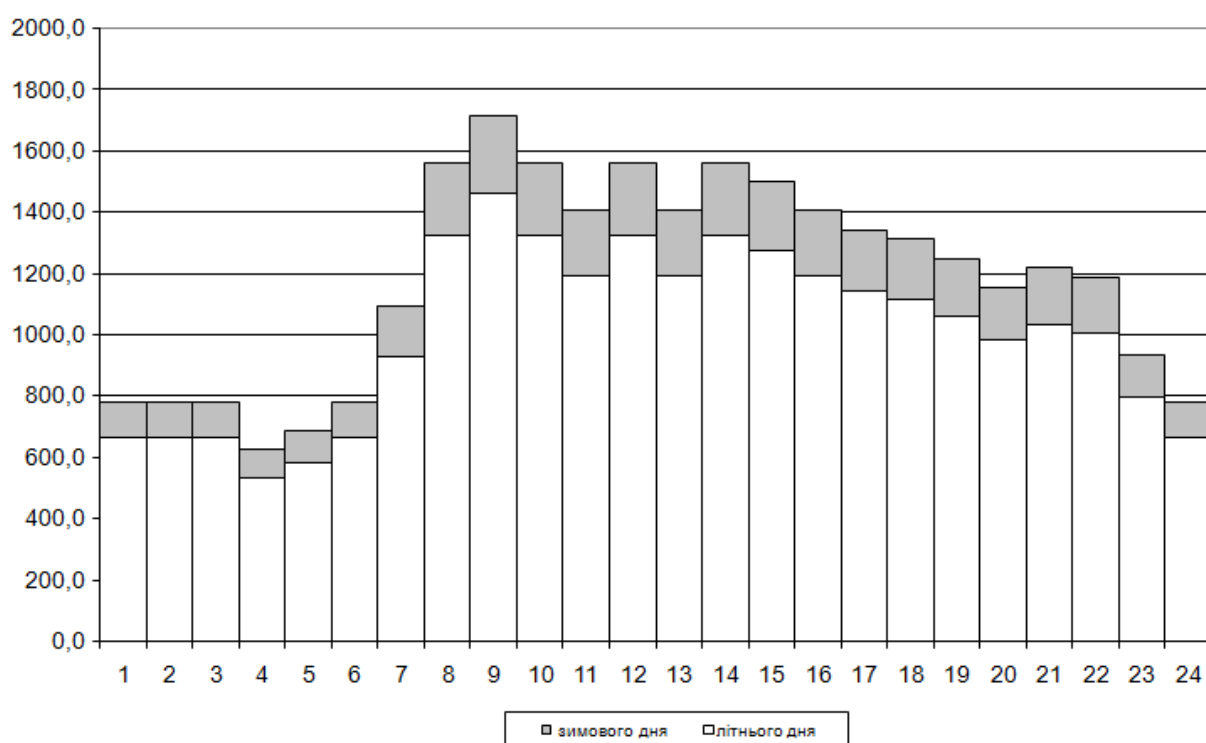
P, кВт

Активне навантаження робочого дня



Q, кВар

Реактивне навантаження робочого дня



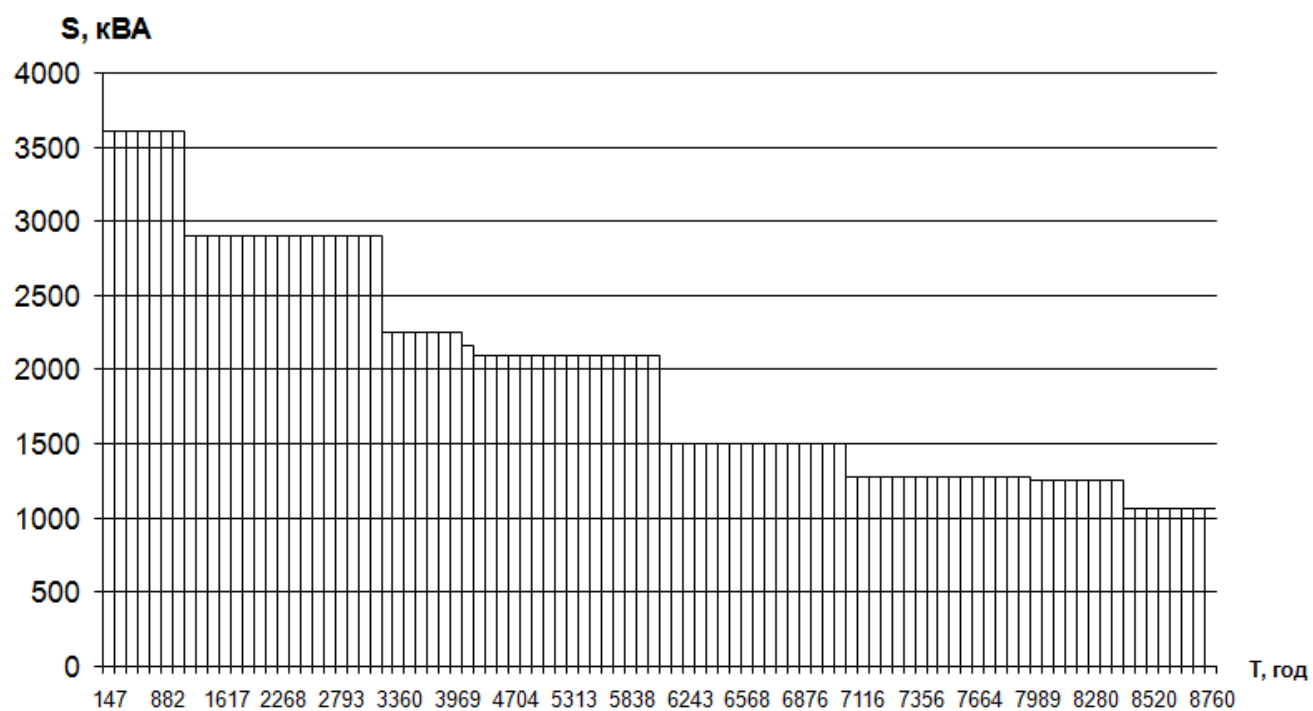


Рис. Річний графік навантаження за тривалістю

4. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ І ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГЗП), ЦЕНТРАЛЬНОЇ (ЦРП) І КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

На карті навантажень зображена кола, площа дорівнює розрахунковому навантаженню цехів.

Для побудови картограми навантажень цехів і підприємств для кожного цеху визначають радіуси кіл R_i площа πR_i^2 , які дорівнюють повному навантаженню цеху P_i , кВА.

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (4.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (4.2)$$

де m – масштаб, кВт/мм².

Координати центру (X , Y) електричних навантажень цехів P_i для підприємства:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4.3)$$

де X_i і Y_i , - центри електричних навантажень i -го цеху.

На картограмі освітлювальне навантаження у вигляді сектора з центральним кутом α .

Центральний кут α відповідає площі, що дорівнює площі освітленого навантаження:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (4.4)$$

Наведемо конструкцію сміттєзбірника:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{18,8 + 13,8}{3,14 \cdot 0,2}} = 7.2 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{13,8 \cdot 360}{3,14 \cdot 7,2^2} = 30.5^\circ.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

Розрахунок для інших цехів зведено в табл. 4.1 (додаток).

Беремо $m = 0.2 \text{ кВт/мм}^2$

При розрахунку центру навантаження було розраховано:

$X=765.2\text{м. } Y=340.6\text{м.}$

Розташування підстанції показано на плані і в табл. 4.1 (додаток).

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

5. ВИБІР НАПРУГИ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ВНУТРІШНЬОГО ТА ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Можливим джерелом електропостачання КХП є підстанція енергосистеми, де встановлено два трансформатори потужністю 25 МВА напругою 37/10.5 кВ. Опір системи дорівнює 0.25. Відстань від підстанції до підстанції 1.5 км.

Є два варіанти зовнішнього живлення:

1) з напругою 35 кВ

2) з напругою 10 кВ

Рішення вибирається шляхом порівняння сумісних витрат.

Сумісні витрати для і-го варіанту:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + U_i \quad (5.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік;
 K_i - загальний обсяг капітальних інвестицій, тис. грн.; C_i - поточні витрати на розподіл та передачу електроенергії, тис. грн. рік; $C_{втр.i}$ - вартість втрат електроенергії, тис. грн. рік; U_i - ймовірні збитки від перебоїв в електропостачанні, тис. грн. рік.

Поточні витрати C_i визначаються як сума витрат на амортизацію C_{ai} та поточний ремонт і експлуатацію C_{ei} :

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (5.2)$$

Вартість втрат електроенергії можливо визначити:

$$C_{втр} = c_0 \Delta W \quad (5.3)$$

де C_0 - вартість 1 кВт · год втрат, грн.; ΔW - втрати енергії в елементах мережі, кВт·год.

Втрати в кабельних і повітряних лініях:

$$\Delta W = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_z^2 \tau \quad (5.4)$$

де $\Delta P_{1км}$ - втрати потужності в лінії на 1000 м довжина при макс. допустимому струмовому навантаженні, кВт; l_{Σ} - загальна довжина лінійних ланцюгів, км; K_z - коефіцієнт навантаження лінії за струмом; τ - кількість годин максимальних втрат.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

Втрати в трансформаторі:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_k K^2_3 \tau \quad (5.5)$$

де t - кількість годин роботи трансформатора за рік.

Імовірний збиток від перебоїв в електропостачанні визначається кількістю відключень двох ланцюгів.

При розрахунку втрат визначається параметр потоку відмов одного контуру:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.6)$$

де λ_i - параметр потоку відмов одного елемента системи електропостачання, 1 / рік ; n - число ланцюгів..

Середня година ремонту одній лінії:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum \lambda_i T_{\text{ср}i}}{\lambda} \quad (5.7)$$

де $T_{\text{ср}i}$, - середній час ремонту елемента після відмови.

Коефіцієнт планового простою одного контуру:

$$K_n = 1, 2 K_{n \max} \quad (5.8)$$

Коефіцієнт аварійного простою одного контуру:

$$K_a = \lambda T_{\text{ср}} \quad (5.9)$$

Коефіцієнт аварійної зупинки при відключенні одного контуру на плановий ремонт і відключенні другого через пошкодження:

$$K_{an} = 0,5 \lambda K^2_n \quad (5.10)$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній :

$$K^{(2)}_a = K^2_a + 2 K_{an} \quad (5.11)$$

Середньо річна тривалість аварійного простою :

$$T_a = K^{(2)}_a \cdot 8760 \quad (5.12)$$

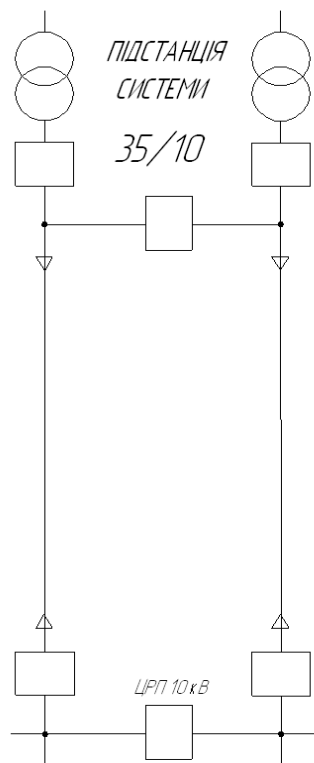
Передбачувана шкода від відключення електроенергії :

$$Y = Y_0 P_{\text{ср}} T_a \quad (5.13)$$

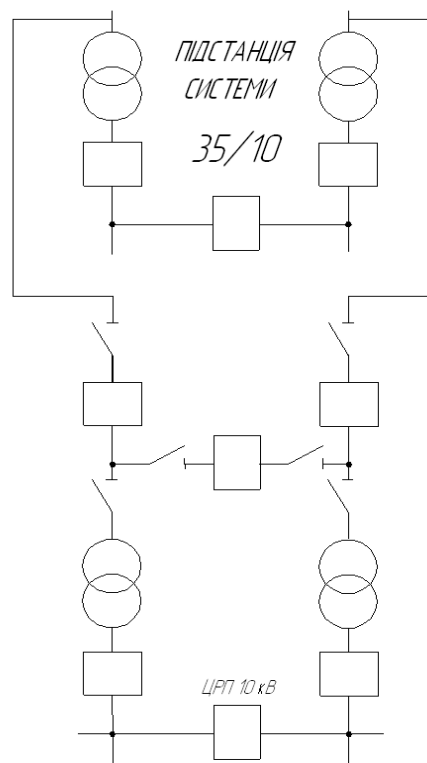
де Y_0 — питомі втрати від аварійного не до постачання електроенергії , грн. / кВт · год ; $P_{\text{ср}}$ – середньо річне активне навантаження підприємства, кВт.

Виконаємо техніко - економічне уподібнення варіантів схем електропостачання (рис. 5.1).

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19



а)



б)

Рис 5.1 Схеми зовнішнього електропостачання

Варіант 1 Електропостачання здійснюється напругою 10 кВ (рис. 5.1.а).

Струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = \frac{4162,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 115 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу кабельної лінії за економічною щільністю струму:

$$F = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{115}{1,4} = 82 \text{ мм}^2$$

Приймаємо до прокладання дві кабельні лінії з перерізом 95 мм², кабель марки ААШв (3х150) з довгостроково допустимим струмовим навантаженням $I_{дон} = 205 \text{ А}$, втратами потужності на 1000 м $\Delta P_{1км} = 50 \text{ кВт}$.

Завантаження кабелю в простому режимі :

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дії}} = \frac{115}{205} = 0.56.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

У разі поломки однієї лінії, інша лінія повина забезпечити живлення навантаження $I = I_{\text{дон}} K_{\text{ан}} = 205 \cdot 1.3 = 266.5 \text{ А}$, де $K_{\text{ан}}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження.

Втрати потужності ΔP та енергії ΔW в лінії при $T_{\text{max}} = 5182.7$ год:

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1 \text{ км}} l_{\Sigma} K_z^2 = 50 \cdot 3 \cdot 0.56^2 = 47.04 \text{ кВт},$$

$$\Delta W = \Delta P_{\text{л}} \tau = 47.04 \cdot 3613.6 = 169983.7 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де τ - час максимального навантаження .

Вартість втрат енергії

$$C_{\text{втр}} = \Delta W \cdot C_0 = 169983.7 \cdot 5.549 = 941.8 \text{ тис. грн.}$$

Варіант 2. Електропостачання здійснюється напругою 35 кВ (рис.5.1,б).

Розрахунковий струм в лінії:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot 35} = \frac{4162,1}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 35 \text{ А.}$$

Площа поперечного перерізу лінії за економічною щільністю струму:

$$F = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{35}{1,1} = 32 \text{ мм}^2$$

Приймаємо двоцепну повітряну лінію з проводом АС площею перерізу 70 мм² . Параметри для одного контуру: $I_{\text{дон}} = 265 \text{ А}$, $\Delta P_{1 \text{ км}} = 116 \text{ кВт} / \text{км}$.

Завантаження лінії в звичайному режимі:

$$K_z = \frac{I_p}{I_{\text{дон}}} = \frac{35}{265} = 0.15.$$

На ГЗП заплановано встановлення двох трансформаторів потужністю $S_{\text{ном}}=4 \text{ МВА}$ з напругою 10/35 кВ, $I_x = 1\%$, $\Delta P_x = 6.7 \text{ кВт}$, $u_k = 7.5\%$, $\Delta P_k=33.5 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора в нормальному режимі:

$$K_z = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{4162,1}{2 \cdot 4000} = 0.52$$

Перевірка трансформатора на аварійне перевантаження:

$$K_{z \text{ ав}} = \frac{S_p}{S_{\text{ном}}} = \frac{4162,1}{4000} = 1.04 < 1.4$$

Втрати енергії в лінії:

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					21

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л км}} l_{\Sigma} K^2_3 = 116 \cdot 1.5 \cdot 0.15^2 = 2.61 \text{ кВт},$$

$$\Delta W = \Delta P_{\text{л}} \tau = 2.61 \cdot 3613.6 = 9431.5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати енергії в трансформаторі:

$$\Delta W = n (\Delta P_{\text{хт}} + \Delta P_{\text{к}} K^2_3 \tau) = 2 (6.7 \cdot 8760 + 33.5 \cdot 0.52^2 \cdot 3613.6) = 182.850.9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальні втрати :

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{м}} = 9431.5 + 182.850.9 = 192282.3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість збитків:

$$C_{\text{втр}} = \Delta W_{\Sigma} \cdot C_0 = 192282.3 \cdot 4.476 = 896.4 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок витрат за варіант. наведено в табл. 5.1 - 5.3

Таблиця 5.1 Розрахунок капітальних вкладень

№ варіанта	Найменування елемента схеми	Одиниці	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Всього, тис.грн
1	Шкаф КРУ з вакуумними вимикачами	шт	2	180	360,0
	Кабель ААШв	км	3	200	600
	Траншея	км	3	143	42,9
	Всього:				1389
2	Вимикачі 35 кВ п/ст енергосистеми	шт	5	825	4125
	Двоцепна ВЛ 35 кВ на ж/б опорах	км	1,5	355	525
	ВРП 35 кВ	компл.	1	242	242
	Силові трансформатори	шт	2	750	1500
	Всього:				6392

Таблиця 5.2 Розрахунок поточних витрат

№ варіан та	Найменування елемента схеми	К, тис. грн	Р _а , %	С _а , тис.грн	Р _е , %	С _е , тис.грн	С, тис.грн
1	Кабель ААШв з урахуванням траншеї	1029	5	51,5	5	155	310
	Шкаф КРУ з вакуумними вимикачами	360	15	54,0	5	18,0	72,0
	Всього:						382
2	Вимикачі 35 кВ п/ст енергосистеми	4125	15	618,8	5	206,3	825
	Двоцепна ВЛ 35 кВ на ж/б опорах	525	5	26,2	5	26,3	52,5
	ОРУ 35 кВ	242	15	36	5	7,2	43,2
	Силові трансформатори	1700	15	255	5	85	340
	Всього:						1355,7

					Арк.	
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		
						22

Розрахунок ймовірного збитку від відключення електроенергії

Варіант 1: Розрахункова схема одного силового кола включає вимикач 10 кВ і кабельну лінію довжиною 3.5 км.

Характеристика потоку збою ланцюга:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0.08 \cdot 1.5 + 0.01 = 0.13 \text{ 1/рік}$$

де λ_i - параметр відмов одного елемента системи електропостачання, 1/рік

Середній час відновлення одній лінії:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum \lambda_i T_{\text{ср}i}}{\lambda} = \frac{(0.56 \cdot 0.49 + 0.01 \cdot 1.1) \cdot 10^{-3}}{0.13} = 2.01 \cdot 10^{-4} \text{ год / рік}$$

де $T_{\text{ср}i}$ - середній час відновлення елемента після відмови, років (дод.Д2 [16]).

Коефіцієнт планового простою одного контуру:

$$K_n = 1.2 K_{n \text{ max}} = 1.2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2.4 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою одного контуру:

$$K_a = \lambda T_{\text{ср}} = 0.29 \cdot 5.01 \cdot 10^{-4} = 0.67 \cdot 10^{-4}$$

Коефіцієнт аварійної зупинки при відключенні одного контуру на плановий ремонт і відключенні другого через пошкодження:

$$K_{an} = 0.5 \lambda K_n = 0.5 \cdot 0.57 \cdot (2.4 \cdot 10^{-3})^2 = 1.64 \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ліній :

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = (0.67 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 1.64 \cdot 10^{-6} = 1.3 \cdot 10^{-6}$$

Середньорічна тривалість аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 113.88 \cdot 10^{-4}$$

Середньорічне активне навантаження підприємства:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_p T_m}{8760} = \frac{4162.1 \cdot 5182.7}{8760} = 2.4 \text{ МВт}$$

Очікувана шкода від відключення електроенергії:

$$U = Y_0 P_{\text{ср}} T_a = 2.52 \cdot 2462.41 \cdot 113.88 \cdot 10^{-3} = 7.02 \text{ тис. грн.}$$

де Y_0 - питомі втрати від аварійного недопостачання електро енергії, грн. / кВт · год; $P_{\text{ср}}$ - середньорічне активне навантаження, кВт.

Розрахунок збитку для інших варіантів виконується аналогічно.

Результати розрахунку наведені в таблиці 5.3

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23

Таблиця 5.3 Техніко - економічні показники варіантів порівняння

	1	2
<i>Капіталовкладення, тис. грн/рік</i>	1389	6392
<i>Поточні витрати, тис. грн/рік</i>	382	1255,7
<i>Вартість втрат, тис. грн/рік</i>	4597	5405
<i>Збитки від недовідпуску, тис. грн/рік</i>	70,4	25
<i>Приведені витрати</i>	5124	7420,7

У результаті порівняльних розрахунків виявляється, що перший варіант за економічними показниками дешевший.

6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Компенсуючі пристрої (КП) потужністю $Q_{\text{кп}}$ можуть встановлюватися в мережі 0.4 кВ і в мережі 10 кВ. Оптимальний розподіл потужності КП по мережах 0.4 кВ і 10 кВ визначається вартістю КП.

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв високої та низької напруги мережі

Загальна потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{кп}} = Q_p - Q_e. \quad (6.1)$$

де Q_p — розрахункове реактивне навантаження в максимальному режимі;

Q_e — економічно обґрунтована реактивна потужність системи.

Реактивна потужність Q_e :

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (6.2)$$

де P_p — розрахований активнавантаження в макс. режимі;

$\operatorname{tg} \varphi$ — заданий системою рівень компенсації реактивної потужності ($\operatorname{tg} \varphi = 0,15$).

Розглянемо варіанти компенсації з установкою мінім. $N = N_0$, збільшеного на один $N = N_0 + 1$ і збільшеного на два $N = N_0 + 2$ числа трансформаторів.

Мінімум можливе число:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{\text{ном}}} \quad (6.3)$$

де P_p — споживання активної потужності напругою до 1 кВ;

K_z — коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{\text{ном}}$ — номінальна потужність трансформатора.

Реактивна потужність, яка може передаватися з мережі 10 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{\text{ном}})^2 - P_p^2} \quad (6.4)$$

При наявності синхронних двигунів як джерела реактивної енергії:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

$$Q_{кп} = Q_p - Q_e - Q_{сд} \quad (6.5)$$

де

$$Q_{сд} = P_{сд} \cdot \beta_{сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном} \quad (6.6)$$

де $P_{сд}$ - номінальна активна потужність синхронного двигуна;

$\beta_{сд}$ - коефіцієнт навантаження.

Потужність КП, в мережі до 1 кВ з умовою балансу реактивної потужності:

$$Q_{KH} = Q_{ном} - Q_1 \quad (6.8)$$

Потужність КП, встановлених в мережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e \quad (6.9)$$

Цей розрахунок необхідно провести для N_0 ; N_{0+1} ; N_{0+2} .

6.2 Вибір кількості, потужності та розташування компенсуючих пристроїв

Орієнтовні витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З = E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{КТП}) \cdot C_0 \cdot \tau \quad (6.10)$$

де E_H - нормативний коефіцієнт вкладень;

K_{KH} , K_{KB} , $K_{КТП}$ - вартість відповідно низьковольтних, високовольтних конденсаторних установок і цехових КТП;

ΔP_{KH} , ΔP_{KB} , $\Delta P_{КТП}$ - втрати активної потужності відповідно в низьковольтних, високовольтних конденсаторних установках і в цехових ТП;

C_0 - вартість втрат електроенергії;

τ - час втрат.

Втрати активної потужності у конденсаторних установках:

$$\Delta P_K = P_{пит} \cdot Q_K \quad (6.11)$$

де $P_{пит}$ – питомі втрат активної потужності в конденсаторах: 4.5 кВт / Мвар – для низьковольтних КП і 3 кВт / Мвар - для високовольтних КП;

Q_K - потужність батарей конденсаторів.

Втрати активної потужності при передачі реактивної потужності ТП:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{Q_{ТП}^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{СК} \quad (6.12)$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

Витрати на генерацію реактивної потужності СД:

$$Z_{CD} = Z_0 + Z_1 \cdot Q + Z_2 \cdot Q^2 \quad (6.14)$$

де Z_0 — витрати, що не залежать від виробленої потужності;

Z_1 — питомі витрати на 1 МВар виробленої потужності;

Z_2 — питомі витрати на 1 МВар² виробленої потужності;

Q - потужність, що генерується СД.

Макс. потужність, яку генерує СД:

$$Q_{MAX} = \frac{\beta_{CD} \cdot P_{НОМ} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\eta} \quad (6.18)$$

Розрахунок балансу реактивної потужності

Високовольтні навантаження:

$$P_B = 0 \text{ кВт.}$$

$$Q_B = 0 \text{ квар.}$$

Споживання низької напруги на заводі:

$$P_n = 3021,9 \text{ кВт}$$

$$Q_n = 2862 \text{ квар.}$$

Загальне споживання за КХП:

$$P_p = P_n + P_e = 3021,9 + 0 = 3021,9 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = Q_n - Q_e = 2862 - 0 = 2862 \text{ квар.}$$

Економічно обґрунтована потужність, що передається із системи:

$$Q_e = Q_e' = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 3021,9 \cdot 0,15 = 453,29 \text{ квар.}$$

Визначення мінімальної кількості трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_{ном}}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{3021,9}{0,7 \cdot 630} = 6,8 \approx 7 \text{ шт.}$$

Варіант 1 при $N = N_0$. Визначається реактивна потужність, яка може передаватися з мережі 10 000 В:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_p^2} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3087^2} = 0 \text{ квар.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Потужність $KП$, що встановлюється в мережі до 1 кВ $Q_{кн}$, визначається з умови рівноваги на шинах ТП:

$$Q_{кн} = Q_H - Q_n = 2862 - 0 = 4516 \text{ квар.}$$

КТП-1,2 (3 × 630):

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_{ном}^2} = \sqrt{(3 \cdot 0,68 \cdot 630)^2 - 1269,4^2} = 200,9 \text{ квар.}$$

$$Q_{кн} = Q_H - Q_n = 1117,3 - 200,9 = 916,4 \text{ квар.}$$

Приймаємо до монтажу: 2 × УКМ58 - 0.4 – 300 - 33.3

$$Q_{кн} = 900 \text{ квар.}$$

КТП-3 (2 × 630):

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_{ном}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 903,3^2} = 84 \text{ квар.}$$

$$Q_{кн} = Q_H - Q_n = 762,8 - 84 = 678,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки: 2 × УКМ58 – 0.4 – 335 - 67 $\Sigma Q_{кн} = 670 \text{ квар.}$

КТП-4 (2 × 630):

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{ном})^2 - P_{ном}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 979,1^2} = 0 \text{ квар.}$$

$$Q_{кн} = Q_H - Q_n = 944,8 - 0 = 944,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до монтажу: 2 × УКМ58 – 0.4 – 300 – 33.3 та 2 × УКМ58 - 0.4 - 166 - 33 $\Sigma Q_{кн} = 932 \text{ квар.}$

Встановлено на ТП 1-4: $\Sigma Q_{кн} = 2502 \text{ квар.}$

Потужність $KП$, в мережі 10 000 В $Q_{кв}$ визначається з умови балансу:

$$Q_{кв} = (Q_H + Q_B + \Delta Q_{тр}) - Q_e - Q_{кн} = (2862 - 0 + 243,2) - 453,2 - 2502 = -150 \text{ квар.}$$

На стороні 10 000 В БК не встановлюємо.

Втрати активної потужності в низьковольтних конденсаторних блоках:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{тит}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 2502 = 11 \text{ кВт.}$$

Вартість низьковольтних комплектних $KП$:

$$K_{кн} = \sum_{i=1}^n N_{кнi} \cdot K_{ккy}^{0,4} = 4 \cdot 117,41 + 2 \cdot 76,12 + 2 \cdot 117,41 = 856,7 \text{ тис.грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{ктп} = N_{мл(1)} \cdot K_{мл(1)} + N_{мл(2)} \cdot K_{мл(2)} = 3 \cdot 1250 + 1 \cdot 700 = 4450 \text{ тис.грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

де $N_{m(1)}$, $N_{m(2)}$ - кількість одно та двотрансформаторних підстанцій;

$K_{m(1)}$, $K_{m(2)}$ - вартість одно та двотрансформаторних підстанцій (3).

Розрахункові втрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z = E_n \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{кп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{мн} + \Delta P_{сд}) \cdot C_0 \cdot \tau =$$

$$= 0,12 \cdot (8567, +0 + 4450) + (11 + 0 + 0,08 + 8,2) \cdot 4,47 \cdot 4468,76 = 8500 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічно розраховуємо варіанти $N = N_0 + 1$ і $N = N_0 + 2$.

Варіант 1 $N = 7$

Реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{пр} = 0 \quad \text{квар}$$

Потужність КП на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{кн} = 2\,862 \quad \text{квар}$$

Встановлено на ТП

$$Q_{кн} = 2\,502 \quad \text{квар}$$

	п	Рр	Qp	Тип и кол.	Qкп	Qp - Qкп	Кз
ТП1,2	3	1 269	1 117	6*300 1*268	900	217	0,68
ТП3	2	903	763	6*335	670	93	0,72
ТП4	2	979	945	2*50	932	13	0,78

Варіант 2 $N = 8$

Реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{пр} = 0 \quad \text{квар}$$

Потужність КП на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{кн} = 2\,862 \quad \text{квар}$$

Встановлено на ТП

$$Q_{кн} = 1\,620 \quad \text{квар}$$

	п	Рр	Qp	Тип и колл.	Qкп	Qp - Qкп	Кз
ТП1,2	3	1 269	1 117	2*300	900	217	0,68
ТП3	2	903	763	2*335	670	93	0,72
ТП4,5	3	979	945	1*50	50	895	0,70

Варіант 3 $N = 9$

								Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				29

Реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_{\text{пр}} = 0 \quad \text{квар}$$

Потужність КП на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = 2\,862 \quad \text{квар}$$

Встановлено на ТП

$$Q_{\text{кн}} = 950 \quad \text{квар}$$

	п	Рр	Qp	Тип и колл.	Qкп	Qp - Qкп	Кз
ТП1,2	3	1 269	1 117	2*300	900	217	0,68
ТП3,4	3	903	763	2*335	0	763	0,63
ТП5,6	3	979	945	1*50	50	895	0,70

Фактичний коефіцієнт потужності споживача:

$$\text{tg}\varphi = \frac{WQ_{\text{сн}}}{WP}$$

де WP - споживання активної електроенергії за розрахунковий період, кВт · год.;

$WQ_{\text{сн}}$ - споживання реактивної електроенергії.

Споживана активна потужність за розрахунковий період:

$$WP_3 = 21 \cdot WP_{3p} + 10 \cdot WP_{3в} = 21 \cdot 235923 + 10 \cdot 40355.25 = 5357935.5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

Спожитої реактивної енергії за розрахунковий період:

$$WQ_e = 21 \cdot WQ_{e3p} + 9 \cdot WQ_{e3в} = 21 \cdot 30671 + 9 \cdot 5893 = 697128 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

Фактичний коефіцієнт потужності:

$$\text{tg}\varphi = \frac{WQ_{\text{сн}}}{WP} = \frac{697128}{5357935,5} = 0.13.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

ТП рекомендується розташовувати якомога ближче до центрів навантаження, щоб виключити зворотні потоки енергії.

Підбір кількості трансформаторів цехових ТП здійснюється за величиною розрахункового навантаження.

Одиничну потужність трансформаторів ТП приймають відповідно до питомої щільності навантаження цеху (4).

Для цехових трансформаторів необхідно прийняти коефіцієнти навантаження:

- а) 0.65...0.7 – для цехів з I категорією;
- б) 0.7...0.8 – для цехів з II категорією споживачів;
- в) 0.9...0.95 – для цехів з навантаженням II і III категорії.

Відповідно до наведених рекомендацій отримуємо наступні дані щодо вибору кількості та потужності трансформаторів цехових ТП (табл. 7.1).

Таблиця 7,1 Вибір трансформаторів підприємства

№ ТП	К-ть	Sp _{роз} ,кВА	Марка	Кз	S _{ном} > Sp/K1	S _{ном} > Sp/K2
1	2	907,82	ТМ-630-10/0,4	0,72	841	648
2	2	907,82	ТМ-630-10/0,4	0,72	841	648
3	2	907,82	ТМ-630-10/0,4	0,72	841	648
4	1	453,91	ТМ-630-10/0,4	0,72	420	324

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання.

За розрахунковою схемою складається схема заміни, де всі елементи замінюються опорами. Схему заміщення спрощуємо до еквівалентної схеми (рис. 8.1).

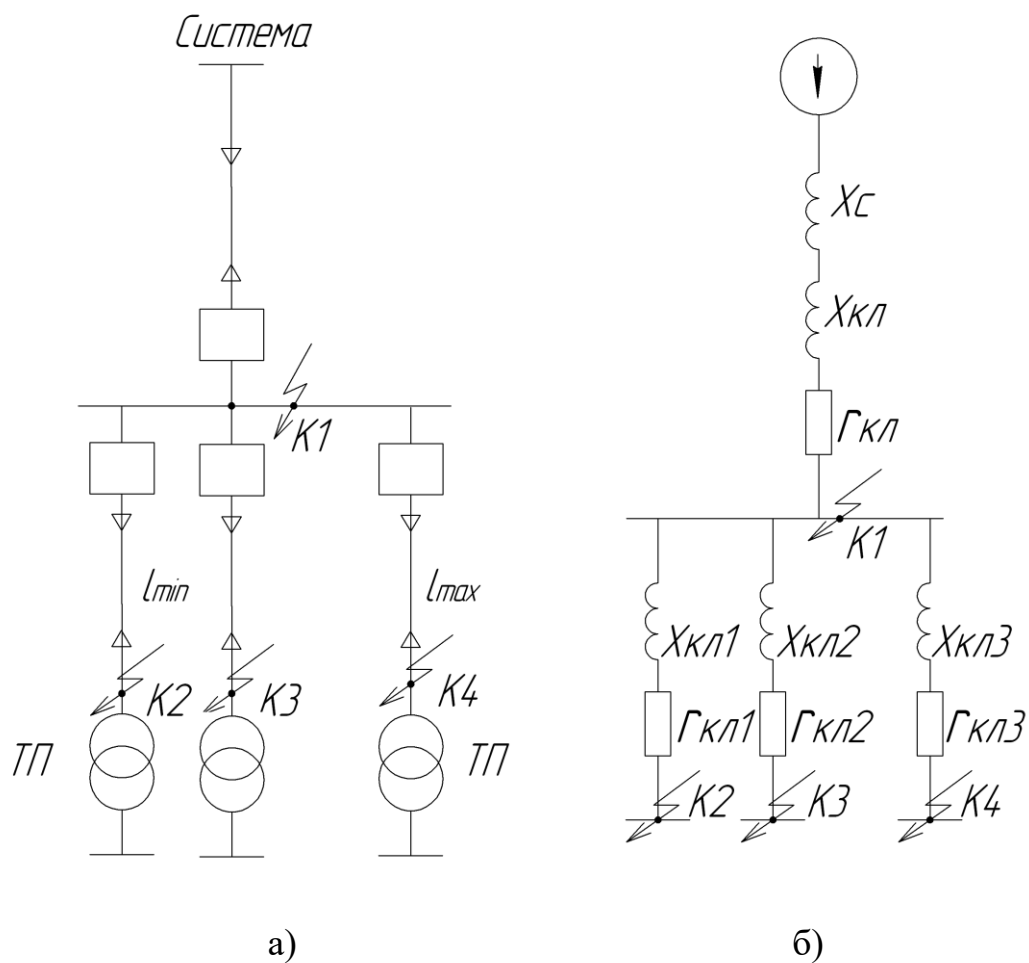


Рис 8.1 Схема розрахунку (а) і схема заміщення (б).

Початкове значення періодичної складової струму короткого замикання:

$$I_{no} = I = \frac{E_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot X} \quad (8.1)$$

де E - результуюча надперехідна ЕРС, кВ;

X_p – результуючий опір.

Вважається, що точка короткого замикання живиться від джерела нескінченної потужності:

$$S_{KK} = \infty \quad X_C = 0 \quad U_C = \text{const}$$

Ударний струм короткого замикання:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I \left[1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} \right] \quad (8.2)$$

де T_a - постійна часу спаду аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot r_p} \quad (8.3)$$

де $X_{рез}$, $R_{рез}$ - результуючий індуктивний і активний R ланцюга короткого замикання.

Опори різних елементів схеми:

системи живлення:

$$X_C = \frac{U_b^2}{S_{к.з.}} \quad (8.4)$$

генератори, компенсатори, синхронні та асинхронні двигуни:

$$X_{ген.ком.} = \frac{X''_{d\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n}$$

$$X = \frac{I}{I_{пуск}} \cdot \frac{U_b^2}{S_n} \quad (8.5)$$

двох обмоткових трансформаторів:

$$X_B = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n} \quad (8.6)$$

трансформатори з розгалуженою обмоткою НН:

$$X_B = 0,125 \cdot \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n} \quad (8.7)$$

$$X_{H1} = X_{H2} = 1,75 \cdot \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n}$$

трьох обмоткових трансформаторів:

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					33

$$X_{BH} = \frac{U_{BH\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n} \quad (8.8)$$

$$X_{CH} = \frac{U_{CH\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n}$$

$$X_{HH} = \frac{U_{HH\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{S_n}$$

реактори:

$$X_p = \frac{U_{p\%}}{100} \cdot \frac{U_b^2}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot U_{CP}} \quad (8.9)$$

повітряні та кабельні лінії електропередачі:

$$X_{\pi} = X_0 \cdot l \cdot \frac{U_b^2}{U_{CP}^2} \quad (8.10)$$

де U_b - базова напруга, кВ;

U_{CP} - середня ном. напруга;

$S_{НОМ}$ – ном. потужність даного елемента, МВА;

$I_{НОМ}$ – ном. струм елемента, кА;

$S_{КЗ}$ - потужність к.з. системи, МВА;

$x_d\%$, - перехідний опір генератора, в.о.;

$I_{пуск}$ - кратний пусковому струму двигуна, в.о.;

$X_p\%$ - реактивний опір реактора, в.о.;

$U_{к\%}$ - напруга к.з. трансформатора, в.о.;

x_0 - питомий реактивний опір лінії, Ом/км.

Вибір базових одиниць:

$$U_{бл} = 10,5 \text{ кВ} \quad I_{бл} = \frac{S_{бл}}{\sqrt{3} \cdot U_{бл}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5.49 \text{ кА}$$

Розрахунок точки К2:

Опори елементів:

$$X_c = 0.25 \text{ в.о.}$$

Опір кабельної лінії:

Індуктивний:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		34

$$X_{\kappa l} = x_o \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}1}^2} = 0,081 \cdot 1,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0.11 \text{ в.о.}$$

Активний:

$$R_{\kappa l} = 0,326 \cdot 1,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0.443 \text{ в.о.}$$

Результуючий опір точки К1:

$$x_{\kappa l} = x_c + x_{\kappa l} = 0,25 + 0,11 = 0.36 \text{ в.о.}; r_{\kappa l} = r_{\kappa l} = 0,443 = 0.443 \text{ в.о.}$$

$$Z_{\kappa l} = \sqrt{x^2 + r^2} = \sqrt{0,36^2 + 0,443^2} = 0,57 \text{ в.о.}$$

Струм короткого замикання точки К1:

$$I''_{\kappa l} = \frac{I_{\bar{a}1}}{Z_{\bar{e}1}} = \frac{5,49}{0,57} = 9.63 \text{ кА}$$

Ударний струм в точці К1:

$$i_{y\kappa l} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right) = 13.3 \text{ кА}$$

Розрахунок точки К2:

Опір кабельної лінії:

$$x_{\kappa l1} = x_o \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,09 \cdot 0,150 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0.012 \text{ в.о.}$$

$$r_{\kappa l1} = r_o \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = 0,62 \cdot 0,150 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0.084 \text{ в.о.}$$

$$Z_{\kappa l1} = \sqrt{x^2 + r^2} = \sqrt{0,012^2 + 0,084^2} = 0,084 \text{ в.о.}$$

Результуючий опір точки К2:

$$Z_{\kappa 2} = Z_{\kappa l} + Z_{\kappa l1} = 0.57 + 0.084 = 0.654$$

Струм короткого замикання точки К2:

$$I''_{\kappa 2} = \frac{I_{\bar{a}1}}{Z_{\bar{e}}} = \frac{5,49}{0,654} = 8.39 \text{ кА}$$

Ударний струм в точці К2:

$$i_y = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa} = 1.04 \cdot \sqrt{2} \cdot 839 = 12.3 \text{ кА}$$

Розрахунок точки короткого замикання:

Опір кабельної лінії:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

$$x_{кл1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.09 \cdot 0.280 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.022 \text{ в.о.}$$

$$r_{кл1} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.62 \cdot 0.280 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.157 \text{ в.о.}$$

$$Z_{кл1} = \sqrt{x^2 + r^2} = \sqrt{0.157^2 + 0.022^2} = 0.158 \text{ в.о.}$$

Результуючий опір точки к.з.:

$$Z_{к2} = Z_{кл} + Z_{кл1} = 0.57 + 0.158 = 0.728$$

Струм к.з. точки короткого замикання:

$$I''_{к2} = \frac{I_{д1}}{Z_{\epsilon}} = \frac{5.49}{0.654} = 7.54 \text{ кА}$$

Ударний струм вточки короткого замикання:

$$i_y = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_k = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot 7.54 = 11.08 \text{ кА}$$

Розрахунок точки К4:

Опір кабельної лінії:

$$x_{кл1} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.09 \cdot 0.712 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.058 \text{ в.о.}$$

$$r_{кл1} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0.62 \cdot 0.712 \cdot \frac{100}{10.5^2} = 0.4 \text{ в.о.}$$

$$Z_{кл1} = \sqrt{x^2 + r^2} = \sqrt{0.4^2 + 0.058^2} = 0.404 \text{ в.о.}$$

Результуючий опір точки К4:

$$Z_{к2} = Z_{кл} + Z_{кл1} = 0.57 + 0.404 = 0.964$$

Струм короткого замикання точки К4:

$$I''_{к2} = \frac{I_{д1}}{Z_{\epsilon}} = \frac{5.49}{0.964} = 5.69 \text{ кА}$$

Ударний струм вточки К4:

$$i_y = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_k = 1.04 \cdot \sqrt{2} \cdot 5.69 = 8.37 \text{ кА.}$$

8.2. Вибір кабелів напругою 10 000 В

Економічно доцільний перетин визначається із співвідношення:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

$$F = \frac{I_p}{J_{ек}} \quad (8.11)$$

де I_p - розрахунковий струм, А; $J_{ек}$ - нормоване значення економічної густини струму, А /мм²;

Прийнята площа поперечного перерізу повинна задовольняти вимогам випробування на допустиме струмове навантаження:

$$I_p \leq K_n I_{дон} \quad (8.12)$$

де $I_{дон}$ - довготривало допустимий струм в умовах нагрівання; K_n - поправочний коефіцієнт на кількість кабелів, розташованих біля землі..

Площа перерізу кабелю перевіряється за умові роботи в авар. режимі:

$$I_{p.ав} = K_{ан} K'_n I_{дон} \quad (8.13)$$

де K'_n - поправочний коефіцієнт на кількість кабелів в після авар. режимі; K_n - допустимий коефіцієнт авар. перевантаження; $I_{p.ав}$ - розрахунковий струм в кабелі в авар. режимі.

Мінімальна площа перерізу кабелю, що відповідає вимогам по тепловому опору:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (8.14)$$

Приклад вибору кабельної лінії до ТП1:

$S_p = 882$ кВА

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{882}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 25.5 \text{ А}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{25,5}{1.4} = 18.2 \text{ мм}^2$$

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{30,6 \cdot 10^6}}{92} = 39 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель марки ААШв (3·50).

Перевіряємо кабель за умовою допустимого струму навантаження:

$$I_p = 25,5 \leq K_n I_{дон} = 180 \cdot 0,9 = 162$$

Перевіряємо кабель за умови роботи в авар. режимі:

$$I_{p.ав} = 60 \leq K_{ан} K'_n I_{дон} 1.3 \cdot 1 \cdot 180 = 232$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Результати вибору кабельних ліній необхідно звести в зведену таблицю (табл. 8.1 додатка).

8.3. Підбір електротехнічних приладів.

Підбір вимикачів

В РП 35 000 В використовуються вакуумні вимикачі. У РП 6 - 10 кВ доцільно використовувати вакуумні вимикачі РЗВА .

Значення теплового імпульсу в розрахункових точках:

$$B_k = I_{кз}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a)$$

$$t_{відкл} = t_v + t_{p.з.мах} = 0.057 + 1.5 = 1.56 \text{ с}$$

$$B_{кв} = 6.69^2 \cdot (1.56 + 0.0024) = 69.92 \text{ кА} \cdot \text{с}$$

Вибираємо вимикач на стороні низької напруги 10 000 В ВР – 1 -20/630 У2:

$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$, $I_{ном} = 630 \text{ А}$, $I_{н.відкл.} = 20 \text{ кА}$, $I_{терм.ст.} = 52 \text{ кА} / 3\text{с}$, $I_{динам.ст.} = 20 \text{ кА}$

$t_{вкл.} = 0,09\text{с}$, $t_{відкл.} = 0,028\text{с}$.

Табл. 8.3.2. Вибір вимикача ВР – 1 -20/630 У2

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 = 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$249,06 \leq 630$
Номінальний струм динамічної стійкості: Симетричний Асиметричний	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$9,63 \leq 52$ $13,3 \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 52 = 132,3$
Номінальний струм відключення: Симетричний Асиметричний	$I_{п\tau} \leq I_{ном.відк}$ $\sqrt{2}I_{п\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відк} (1 - \beta_n)^6$	$9,63 \leq 20$ $15,66 \leq 16,9$
Номінальний тепловий імпульс	$B_k \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	$94,6 \leq 1200$

$$B_{кв} = 9.63 * (1.057 + 0.0024) = 94.6 \text{ кА*с}$$

Табл 8.3.3. Вибір секційного вимикача ВР – 1 -20/630 У2

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 = 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$177,9 \leq 630$
Номінальний струм динамічної стійкості: Симетричний Асиметричний	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$8,39 \leq 52$ $12,3 \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 52 = 132,3$
Номінальний струм відключення: Симетричний Асиметричний	$I_{п\tau} \leq I_{ном.відк}$ $\sqrt{2}I_{п\tau} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відк}$	$8,39 \leq 20$ $(1 - \frac{15,66}{\beta_n}) \leq 16,9$
Номінальний тепловий імпульс	$B_k \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	$76,02 \leq 1200$

$$B_{кв} = 5,54^2 * (1,057 + 0,0024) = 47,3 \text{ кА*с}$$

Вибір розрядників

Від внутрішніх перенапруг використовуються розрядники.

З боку НН-10 кВ вибираю розрядник РВО-10 У1, який має $U_{ном}=10$ кВ.
Підвищення напруги при $f=50$ Гц не менше 26 кВ, не більше 30,5 кВ.

Вибір схем потужності та потужності трансформаторів для власних потреб

Власні потреби (ВП) підстанції: електродвигуни обдуву силових трансформаторів та синхронних компенсаторів; кола оперативного струму; прилади вимикачів опалення, шафи КРПЗ; робоче, аварійне освітлення та

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

опалення; система пожежогасіння; системи релейного захисту, автоматики і телемеханіки.

Для живлення системи ВП підстанцій використовуються понижувальні трансформатори з вторинною напругою 220/380 В, заземлені. Номінал. потужність трансформатора власних потреб (ТВП) вибираються виходячи з розрахункової потужності споживачів ВП.

Розрахункове навантаження трансформаторів власних:

$$S_p = K_c S_n$$

де K_c - коефіцієнт попиту, приймається для навантажень ВП 0,7;

S_n - сумарна встановлена потужність підстанції ВП.

Передбачено встановлення двох ТВП, підключених до різних джерел живлення.

Таблиця 8.3.6. Вибір трансформатора для власних потреб

Вид сполживачів	Уст. потужність		$\cos \varphi$	$\lg \varphi$	Навантажен ня	
	од,кВт × к-ть	всього о			$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВт
Обігрв шафи КРПЗ	0,6×31	18,6	1	0	18,6	-
Обігрв шафи релейного захисту	0,5×23	11,5	1	0	11,5	-
Зовнішнє освітлення	4×1	4	1	0	4	-
Споживання операт. колами	3×1	3	1	0	3	-
Всього					37,1	-

Знаходимо розрахункову потужність ТВП

$$S_p = K_c * S = 0.7 * 37.1 = 25.9 \text{ кВт}$$

Вибираємо два трансформатори: ТМ – 25/10

$$\text{Коефіцієнт навантаження } k_z = S_p / n * S_n = 25.9 / 2 * 25 = 0,52$$

$$\Delta P_x = 0.25 \text{ кВт}; \quad \Delta P_k = 0.6 \text{ кВт}; \quad U_k = 4.5 \%; \quad I_x = 3.2 \%.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

9. СПЕЦРОЗДІЛ. ЕНЕРГОАУДИТ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

Насоси складають 30% навантаження, тому виникає необхідність коригування характеристик системи «насос-трубопровід». При закритому крані збільшуються втрати тиску в трубопроводі; при цьому характеристика буде рухатися по QH-характеристиці для зменшення подачі до точки перетину з струмовою характеристикою трубопроводу (рис. 10.1).

К.к.д. механічний спосіб $\eta_{м.с.}$ регулювання:

$$\eta_{м.с.} = \frac{H_{маг} \cdot Q_p}{(H_{маг} + \Delta H_p) \cdot Q_p} = \frac{H_{ст}}{H_p} + \frac{\Delta H_{маг}}{H_p},$$

де $H_{маг}$ – тиск у магістралі після регулюючого органу;

H_p – тиск, створюваний механізмом перед регулюючим органом;

$\Delta H_{маг}$ – втрати тиску в магістралі;

Q_p – подання механізму сумісного з регулюючим органом.

9.2 Визначення оптимальних режимів роботи насосних агрегатів

Найбільш раціональним способом регулювання подачі насосних агрегатів є регулювання зміною швидкості обертання (частотне регулювання).

На рис. 9.1 показані Q-H-характеристики насоса і трубопроводу з клапанним управлінням і частотним регулюванням.

Зменшуючи частоту обертання, Q-H-характеристика зсувається вниз паралельно самій собі. Робоча точка, переміщаючись по характеристиках трубопроводу, приймає положення A'_2 – подача і тиск знижуються до значень Q_2 та H_2 .

При регулюванні подачі клапаном до значення Q_2 робоча точка переміщується в положення A_2 , при якому тиск $H_2 > H_1$. При зміні частоти ω обертання насоса [12]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^3; \quad \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

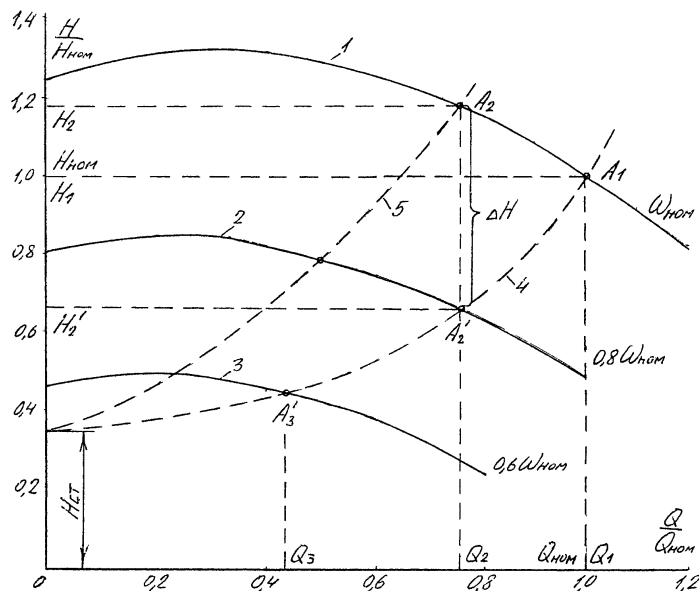


Рис. 9.1. Налаштування режиму роботи насоса СЕ–1200-100:

- 1 – $Q - H$ – характеристика насоса при номінальній частоті обертання;
- 2, 3 – $Q - H$ – характеристика насоса при зниженій частоті обертання;
- 4 – $Q - H$ – характеристика трубопроводу при повному відкритті засувки;
- 5 – $Q - H$ – характеристика трубопроводу при частково відкритому крані.

Напірна характеристика відцентрового насоса, що працює зі змінною частотою обертання, описується рівнянням:

$$H = H_{\phi} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - S_{\phi} \cdot Q^2$$

де H_{ϕ} та S_{ϕ} – фіктивні параметри насоса.

Енергетичні характеристики приводу залежать від виду механічних характеристик (залежність моменту опору насоса від частоти обертання) - втрат і ККД.

Момент опору насосу, $N \cdot m$:

$$M_c = \frac{9569 \cdot P}{\omega},$$

де P – потужність, кВт; ω – частота обертання, об /хв.

Отримаємо вираз моменту опору насоса через його робочі параметри:

$$M_c = \frac{9565 \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \omega} = 9,565 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_n \cdot \omega}.$$

Отримано сумісний розв'язок рівняння тиску насоса і трубопроводу по частоті обертання:

$$\omega = \omega_{ном} \cdot \sqrt{\frac{H_n}{H_\phi}} + \left(1 - \frac{H_n}{H_\phi}\right) \cdot \left(\frac{Q}{Q_\phi}\right)^2,$$

де H_n – складова статичного тиску; H_ϕ – фіктивна висота підйому рідини при нульовій подачі; Q_ϕ – найбільша подача насоса.

Розрахуємо економію електроенергії для насоса типу СЕ-1200-100 з наступними параметрами: подача насоса $Q = 1200 \text{ м}^3/\text{год}$; тиск насоса $H = 0.1 \text{ км}$; тиск $P = 0,3 \text{ МПа}$; ККД $\eta = 73\%$; частота обертання $n = 3000 \text{ об/хв}$.

Потужність двигуна:

$$P = \frac{KQH\gamma}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_n \cdot \eta_n} = \frac{1,1 \cdot 1200 \cdot 100 \cdot 1000}{3600 \cdot 102 \cdot 0,73 \cdot 1} = 492 \text{ кВт},$$

де $K = 1.1$ – коефіцієнт запасу потужності двигуна;

$\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина рідини;

$\eta_n = 1$ – передача потужності ккд від вала двигуна до вала насоса.

Візьмемо $P_n = 500 \text{ кВт}$. Питома витрата енергії на номінальному режимі:

$$\Delta E = \frac{H \cdot 1000}{102 \cdot 3600 \cdot \eta_g \cdot \eta_n} = \frac{100 \cdot 1000}{102 \cdot 3600 \cdot 0,85 \cdot 0,73} = 0,45 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3,$$

де $\eta_g = 0,85$ – двигун ккд.

Розрахуємо економію електроенергії за рахунок заміни насосів на більш високий ККД

$$\Delta E = 0,00272 \times \Delta E = 0,00272 \cdot \frac{H}{\eta_g} \cdot \frac{\eta_n^{11} - \eta_n^1}{\eta_n^{11} \cdot \eta_n^1} \cdot QT,$$

$$\Delta E = 0,00272 \cdot \frac{100}{85} \cdot \frac{0,8 - 0,73}{0,8 \cdot 0,73} \cdot 1200 \cdot 4500 = 207125 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік},$$

де η_n^1 та η_n^{11} – насоси ККД;

$T = 4500$ – кількість годин роботи насоса.

Економія енергії завдяки регулюванню частоти замість дроселювання:

$$\Delta E = N_\delta \cdot T_w^* \cdot \varphi = 492 \cdot 4500 \cdot 0,22 \cdot 1 = 48708 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік},$$

де $N_\delta = 492 \text{ кВт}$ – потужність при максимальному живленні;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

$W^* = 0,22$ – визначено за розрахунковими кривими $W^* = f(\lambda; H_n^*)$.

9.3. Насосних установок енергетичний баланс.

Енергетична схема для насосної системи наведена на рис..9.2.

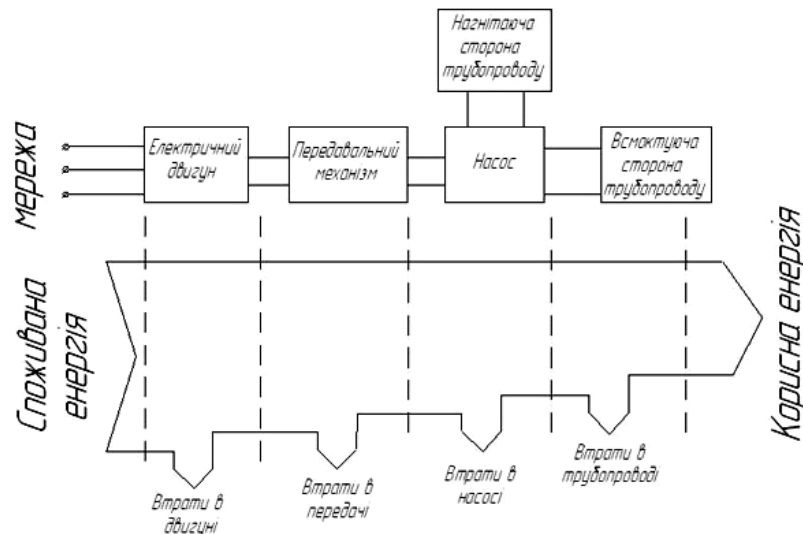


Рис.9.2. Енергетична діаграма

З енергетичної діаграми рівняння енергетичного балансу:

$$P_{\text{ном}} = \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{пер}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{маг}} + P_{\text{пол}},$$

де $P_{\text{ном}}$ - споживана потуж. з електромережі;

$P_{\text{пол}}$ - потуж., витрачена на виконання корисної роботи;

$\Delta P_{\text{д}}$ - втрати в двигуні при перетворенні електричної енергії в механічну;

$\Delta P_{\text{пер}}$ - втрати потуж. в механізмі передачі;

$\Delta P_{\text{в}}$ - втрати в насосі при перетворенні механічної енергії в гідродинамічну;

$\Delta P_{\text{маг}}$ - втрати потуж. в магістралі при передачі гідродинамічної енергії.

Втрати енергії при перетворенні її в двигуні

$$\Delta P_{\text{д}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} \cdot (1 - \eta_{\text{д}}) = P_{\text{вих}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{д}}}{\eta_{\text{д}}} \right),$$

де $P_{\text{вх}}$ - потужність, споживана двигуном; $P_{\text{вих}}$ - механічна потужність на валу двигуна; $\eta_{\text{д}}$ - ККД двигуна.

Втрати потужності в двигуні при неномінальному навантаженні:

$$\Delta P_{\Delta} + \Delta P_k = P_{v.ном} K_n^2.$$

Втрати в механізмі передачі

Моменти тертя можна представити у вигляді лінійної залежності:

$$M_{тр} = M_x + b M_{пол},$$

де M_x - момент сил тертя при холостому ході механізму;

b - коефіцієнт пропорційності, що визначає збільшення втрат на тертя.

Отже, втрати потужності в механізмі передачі:

$$\Delta P_{пер} = P_{вх} - P_{вых} = P_{вх} (1 - \eta_{пер}),$$

де $P_{вх}$ - механічна потужність на валу двигуна; $P_{вих}$ - механічна потужність, що передається насосу; $\eta_{пер}$ - ККД передачі.

Втрати в насосах можна представити як суму гідравлічних, об'ємних і механічних втрат

Гідравлічний втрати оцінюються гідравлічним ККД.

$$\eta_g = H/H_m = 1 - \sum \xi_n / H_m,$$

де H_t - теоретичний корисний тиск. Гідравлічний ККД $\eta_g = 0,8 \dots 0,96$.

Втрати обсягу. Об'ємний ККД машини:

$$\eta_o = Q / (Q + q_{об}).$$

Об'ємний ККД лежить в межах $\eta_o = 0,96 \dots 0,98$.

Механічні втрати виникають внаслідок механічного тертя в підшипниках і сальниках, а також гідравлічного тертя робочих коліс об рідину.

Механічний ККД

$$\eta_m = N_{вн} / N_e$$

де N_e - діюча сила на валу (потужність машини).

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

9.4. Оцінка ефективності впровадження МЕЗ

Ефективність заміни недовантаженого двигуна.

Заміна рекомендується при коефіцієнті навантаження менше 40 ...45%.

Економію електроенергії при заміні недовантаженого двигуна на двигун меншої потужності можна визначити за формулою:

$$P_{\Delta} = \Delta P_{\text{т}} + P_2 K_{\text{э}} (Q_1 - Q_2),$$

де $K_{\text{э}}$ - коефіцієнт збільшення втрат (0,05 ... 0,10).

Оцінка ефективності заміни старих насосів на сучасні.

Економія електроенергії при заміні малопродуктивних насосів на більш потужні з високим ККД, кВт:

$$P_{\Delta} = 2.72 \cdot \frac{H \cdot Q \cdot T_p \cdot 10^{-3}}{\eta_3 \cdot (\eta_{2(\text{new})} - \eta_{2(\text{old})})},$$

де H - сумарний тиск, що розвивається насосами, Па;

Q - продуктивність насосів, м³ / с;

$\eta_{2(\text{new})}$ і $\eta_{2(\text{old})}$ - ККД нових і старих насосів.

Оцінка ефективності регулювання продуктивності шляхом зміни частоти

Економія потужності, кВт:

$$P_{\Delta} = \left[\frac{H_1 \cdot Q_1 \cdot (\eta_1 \eta_2 \eta_0)}{\eta_1 \eta_2} - \frac{(H_1 Q_1 + H_2 Q_2)}{2} \right] 10^{-3},$$

де H_1 і H_2 - тиск насоса до і після зміни режиму, Па;

Q_1 і Q_2 - продуктивність насоса до і після зміни його роботи, м³ / с;

η_0 - ККД насоса з одношвидкісних двигуном;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

η_1 і η_2 - ККД насоса з двошвидкісним двигуном відповідно на перший і другий частотах обертання.

Результати енергетичного обстеження насосів

Виявлено наступні можливості енергозбереження:

Низькозатратні МЕЗ:

1. Якісне обслуговування всіх елементів електроприводу;
2. Своєчасне відключення електроприводу, недопущення холостого ходу;

Середньозатратні МЕЗ:

4. Заміна електродвигуна на менш потужний;
5. Впровадження обмежувачів холостого ходу двигуна;
6. Установка індивідуальної компенсації приводу насосів I і II.

Багатовитратні МЕЗ:

7. Установка частотно-регулируемого привода для регулирования оборотов двигателя;

Розглянемо МЕЗ для насосів, що встановлені в котельній.

Таблиця 9.3. Паспортні (номінальні) дані насоса та його приводного двигуна

Параметр	Значення
Потужність насоса, кВт	11
ККД насоса	0,6
Натиск насоса, м	30
Подача насоса, м3/ч	100
Потужність двигуна 1, кВт	15
Потужність двигуна 2, кВт	11
ККД двигуна	0,88
Сos φ двигуна	0,9

Основні дані виміряні в різних режимах роботи насосної установки з двигуном 15 кВт з використанням технічних засобів - таблиці 9.4-9.5.

Результати вимірювань при повністю закритому крані, потужність $P_{\min}=6$ кВт.

Результати вимірювань при повністю відкритому крані, потужність $P_{\max}=12$ кВт.

Побудуємо графік залежності споживаної потужності P від відносної витрати води $Q/Q_{\max}$ при різних способах регулювання: на графіку, з'єднавши прямою лінією точки $P_{\max}$ і $P_{\min}$, наведемо залежність спожитої потужності при використанні ЧРП $P_{\text{чрп}}$ на відносну витрату $Q/Q_{\max}$ визначається при розрахунку вимірюваного значення $P_{\max}$ і кількох значень $Q/Q_{\max}$ від 0 до 1 з кроком 0.25. Приклад такого графіка наведено на рис. 9.3.

Для споживаної потужності під час дроселювання можна записати вираз:

$$P_{\text{дрос}} = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) * (Q/Q_{\max})$$

Для споживаної потужності з регулюванням частоти можна записати:

$$P_{\text{чрп}} = P_{\max} * (Q/Q_{\max})^3$$

Відцентровий насос подає $0,0278 \text{ м}^3/\text{с}$ води. На головній ділянці $P_{\text{ном}}=255 \text{ кН/м}^2$, на всмоктуючому трубопроводі $P_{\text{всм}}=33.3 \text{ кН/м}^2$, втрати тиску на відстані між манометром і точкою кріплення вакуумметра $\Delta h = 0,6 \text{ м}$. Діаметри напірного трубопроводу всмоктування однакові. ККД насоса – 0.62.

Визначимо повний напір насоса, оскільки діаметри напірного і всмоктувального трубопроводів однакові, то швидкість $v_{\text{н}} = v_{\text{всм}}$, т.ч. з урахуванням останньої складової дорівнює 0:

$$H = h_{\text{маг}} + h_{\text{вак}} + \Delta h + (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{всм}}^2) / (2 * g)$$

$$H = (255 * 10^3 / 1000 * 9,81) + (33,3 * 10^3 / 1000 * 9,81) + 0,6 = 26 + 3,4 + 0,6 = 30$$

Корисна потужність насоса, Вт:

$$N_{\text{п}} = \rho * g * Q * H = 988 * 9,8 * 0,0278 * 30 = 8160$$

$$\text{Потужність на валу насоса дорівнює, кВт: } N_{\text{п}} = N_{\text{н}} / \eta_{\text{н}} = 8160 / 0.62 = 13.1.$$

Потужність встановленого двигуна задовольняє умови вибору двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу потужності 1,1.

$$15 \text{ кВт} \geq 14.77 \text{ кВт}.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

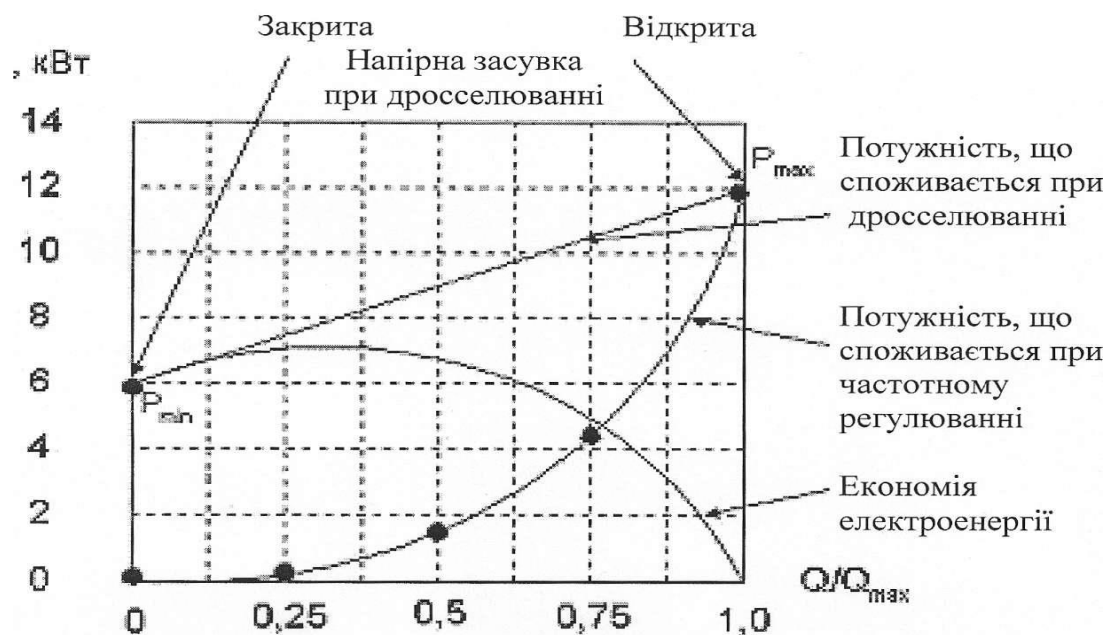


Рис 9.3. Споживання потужності при різних способах регулювання

Розрахунок економічного ефекту МЕЗ

Розрахунок економічної ефективності заснований на визначенні різниці значень витрат електроенергії при регулюванні тиску насоса дроселюванням напірним клапаном і при регулюванні за допомогою клапана регулювання тиску.

Енергозбереження розраховується для кожного періоду роботи, в якому визначається приблизно постійне навантаження насоса:

$$\Delta P_i = P_{\text{дрос } i} - P_{\text{чрп } i}$$

Табл. 9.7. Вихідні дані для аналізу

Період часу година	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
Середньодобова витрата $Q_{i \text{ ср}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	25,3	96,3	73,3	62,5	98,3	66,7
Середньодобова витрата $\Delta E_{\text{чрп}}, \text{ кВт}\cdot\text{год}$	30	2	24	28	1,2	28

Визначаємо загальну економію електроенергії при використанні КРП замість дросельної заслінки при роботі обладнання протягом доби:

$$\Delta E_{\text{чрп}} = \sum \Delta P_i \cdot t_i = 7,5 \cdot 4 + 0,5 \cdot 4 + 6 \cdot 4 + 7 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 7 \cdot 4 = 113,2 \text{ кВтгод/добу},$$

де ΔP_i - економія електроенергії за i -й період (наприклад: 7.5 кВт з 0 до 4 години), кВт;

t_i - час, протягом якого працює привод при постійному навантаженні насоса (наприклад, 4 години), год;

n - кількість періодів часу з постійними значеннями (6 періодів).

Для оцінки витрат на зменшення витрати холодної води можна ввести коефіцієнт 1,15, для гарячої води - 1,2, для повітря - 1,1, для інших ресурсів - 1,02.

Таким чином, економія електроенергії та ресурсів буде:

$$\Delta E_{\text{річ}} = \Delta E_{\text{чрп}} \cdot \tau / 24 = 113,2 \cdot 5419 / 24 = 113,2 \cdot 226 = 25559 \text{ кВтгод}$$

$$E_{\text{чрп}} = 1,02 \cdot C_0 \cdot \Delta E_{\text{річ}} = 1,02 \cdot 4,5 \cdot 25559 = 186610 \text{ грн.}$$

де $\Delta E_{\text{річ}}$ - вартість заощадженої електроенергії та ресурсів, грн; C_0 - тариф на електроенергію в енергосистемі, грн./кВт-год;

Вартість перетворювача частоти серії АТУ38, з вбудованим мережевим дроселем і входним фільтром радіоперешкод становить 50...100 USD на 1 кВт. Для двигуна потужністю 15 кВт його вартість становитиме 1500 доларів США.

Для визначення терміну окупності та оцінки економічної ефективності застосування КНР використовується наступна формула:

$$C_{\text{окуп}} = K_{\text{чрп}} / E_{\text{чрп}} = 6012000 / 186610 = 5.1 \text{ року}$$

де $C_{\text{окуп}}$ - термін окупності установки ЧРП, рік.; $E_{\text{чрп}}$ - вартість зекономлених електроенергії та ресурсів за один рік, грн.; $K_{\text{чрп}}$ - капітальні інвестиції в ЧРП, грн.

Річні витрати можна розрахувати через питому витрату електроенергії на перекачування 1 м³ рідини, кВт:

$$\Delta W = \Delta N \cdot G_{\text{вит}} \cdot \tau = 1,3 \cdot 1135.3 = 1475.8 \text{ кВт}$$

Економія за рахунок усунення течі:

$$\Delta E_{\text{в}} = \Delta W \cdot C_0 = 1475.8 \cdot 4.5 = 6642 \text{ грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Налаштування компенсації реагентів привід насоса

Визначимо ефективність встановлення індивідуальної компенсації для насосів водопостачання. Потужність насосів становить 11 і 15 кВт для першої та другої зон відповідно. Час роботи насосів протягом року $T_{річ} = 5419$ год. Коефіцієнт потужності насоса становить 0.62 і 0.68 відповідно для першої та другої зон.

Для насоса I $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0.75$, при $\cos\varphi_1 = 0.8$. Виконуємо компенсацію з забезпеченням $\operatorname{tg}\varphi_2 = 0.25$. Визначимо потужність компенсуючих пристроїв насоса I:

$$P_{cp1} = P_{ном} \cdot K_{\varepsilon} = 11 \cdot 0,65 = 7,15 \text{ кВт} ;$$

$$Q_{кп} = P_{cp1} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = 7,15(0,75 - 0,25) = 4,575 \text{ квар} .$$

Для насоса зони II $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0.62$ при $\cos\varphi_1 = 0.85$. Визначимо необхідну потужність компенсуючих пристроїв насоса II, квар :

$$P_{cp2} = P_{ном} \cdot K_{\varepsilon} = 15 \cdot 0,62 = 9,3 \text{ кВт} ;$$

$$Q_{кп} = P_{cp2} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = 9,3(0,62 - 0,25) = 5,041 \text{ квар} .$$

Тобто для забезпечення компенсації реактивної потужності для цих електроприводів необхідно встановити косинусний конденсатор типу КМ – 0.4 ємністю 13 квар, який покриє потребу в реактивній потужності 9.93 квар .

Економія електроенергії при установці компенсаційних конденсаторів, кВт - год:

річне споживання насосом зони I:

$$W_{a1} = P_{cp1} \cdot T_{річ} = 7,15 \cdot 5419 = 38745 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

річне споживання насосом зони II:

$$W_{a2} = P_{cp2} \cdot T_{річ} = 9,3 \cdot 5419 = 50396 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

для насоса зони I, кВт год:

$$\Delta W_{кп1} = 0,05 \omega_a \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right] = 0,05 \cdot 38745 \left[1 - \left(\frac{0,8}{0,97} \right)^2 \right] = 620$$

для насоса II, кВт год:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

$$\Delta W_{\kappa\pi 2} = 0,05 \omega_a \left[1 - \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \right] = 0,05 \cdot 50396 \left[1 - \left(\frac{0,85}{0,97} \right)^2 \right] = 687,1$$

Річна економія від впровадження МЕЗ:

$$\Delta E_{\kappa\pi} = (\Delta W_{\kappa\pi 1} + \Delta W_{\kappa\pi 2}) \cdot C_0 = (620 + 687,1) \cdot 4,5 = 5850 \text{ грн /рік}$$

Для визначення терміну окупності та оцінки економічної ефективності компенсації використовується наступна формула:

$$C_{\text{окуп}} = K_{\kappa\pi} / \Delta E_{\kappa\pi} = 4500 / 5850 = 0,78 \text{ року}$$

На заводі встановлено 57 насосів з двигунами потужністю 1.1 - 15 кВт напругою 0.4 кВ загальною потужністю 621 кВт .

Тому проведений енергоаудит дає можливість оцінити загальну економію витрат у насосній галузі від запропонованих заходів:

При регулюванні за допомогою КРП економія становить 13 486 770 грн .

Економія за рахунок усунення течі - 6 835 210 грн .

Економія за рахунок встановлення конденсаторів – 7 102 190 грн .

Загальна економія – 27 424 170 грн .

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

Маємо такі результати:

1) За методом упорядкованих діаграм розраховано електричне навантаження ППКП, розподілене на 4хТП (7х630 кВт). Вибрано місце розташування СДР та побудовано картограму.

2) На основі техніко-економічного порівняння 2-х варіантів електропостачання (КЛ-10кВ і ПЛ-35кВ) було обрано перший варіант за менших сумарних витрат.

3) Розрахунок струмів короткого замикання і знаходження перехідних і ударних складових в контрольних точках допомогли вибрати високовольтне обладнання.

4) У спеціальному розділі дипломного проекту розроблено заходи з енергозбереження. Виявлено наступні можливості енергозбереження:

Бюджетний МЕЗ:

1. Якісне обслуговування всіх елементів електроприводу;
2. Запобігання холостому ходу;

Середня вартість МЕЗ:

4. Заміна електродвигуна на менш потужний;
5. Впровадження обмежувачів холостого ходу двигуна;
6. Установка індивідуальної компенсації приводу насосів I і II.

Багатовартість МЕЗ:

7. Установка частотно-регульованого пристрою для регулювання обертів двигуна;

Таким чином, це дозволяє нам оцінити загальну економію витрат у насосній галузі від запропонованих заходів :

При регулюванні за допомогою КРП економія становить 13 486 770 грн .

Економія за рахунок усунення течі - 6 835 210 грн .

Економія за рахунок встановлення конденсаторів – 7 102 190 грн .

Загальна економія - 27 424 170 грн .

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / Плешков П.Г. та ін. – МОН України, ЦНТУ. – Кропивницький: ПП "Ексклюзив", 2021. – 209 с.
2. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навч. посіб. / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А. та ін.; Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко, 2019. – 272 с.
3. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.
5. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
6. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.
7. Електропостачання: підручник / П. О. Васи́лега. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
8. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
9. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
10. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					54

11. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2006. –153 с.

12. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств / О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, К.Г. Петрова, 2015. – 316 с.

13. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Серебренніков С.В., Гарасьова Н.Ю., Зінзура В.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 242с.

14. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: навч. посіб. / Плешков С.П., Серебренніков С.В. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2015. – 159 с.

15. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 259 с.

16. Харченко В. Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств : Конспект лекцій для студентів 4–5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 – Електротехніка (6.050701 – Електротехніка та електротехнології) / В. Ф. Харченко; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 168 с.

17. Електропостачання та електрозбереження : Конспект лекцій (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 6.090603 – Електротехнічні системи електроспоживання) / [О. Г. Гриб, О. М Довгалюк, Д. М. Калюжний, Ю. Г. Куцан, Г. А Сендерович]. – Харків. ХНАМГ, 2006. – 145 с.

18. Енергетичний контроль. Методичні вказівки для виконання курсового проекту / Плешков П.Г., Савеленко І.В., Котиш А.І. - Кіровоград: КНТУ, 2009 – 112 с.

							Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			55

ДОДАТКИ

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

Таблиця 2.1. Розрахунок навантажень в мережі напругою до 1000 В

№ п/п		п	Р од. кВт			РΣ, кВт	m	Ки	Cos φ	tg φ	Середнє		пэ	Км	Розрахункове		
			min		max						Рср, кВт	Qср, кВар			Рр, кВт	Qр, кВар	Sp, кВА
1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	КХП																
	Круп'яний завод №1																
	Цех відходів																
	Фасувально-пакувальні лінії	6	0,1	-	0,1	0,72	1	0,4	0,7	1,02	0,288	0,29					
	Зашивочні лінії	4	0,3	-	0,3	1	1	0,50	0,70	1,02	0,5	0,51					
	Стрічкові транспортери	5	3	-	3	15	1	0,5	0,7	1,02	7,5	7,65					
	Вентилятори радіальні	5	4	-	4	20	1	0,70	0,80	0,75	5,2	3,90					
	Всього по цеху	20	0,1	-	4	36,72	33	0,6	0,7	1,02	13,488	12,36	18	1,4	18,883	12,36	22,57
	Гречаний цех																
	Луцилки двохдекові	14	7,5	-	7,5	105	1	0,7	0,8	0,75	73,5	55,13					
	Розсійники	9	35	-	35	315	1	0,6	0,7	1,02	189	192,82					
	Живлячі шлюзи	16	13,3	-	13	208	1	0,4	0,7	1,02	83,2	84,88					
	Конвеєр скребковий	6	5,5	-	5,5	33	1	0,50	0,70	1,02	16,5	16,83					
	Конвеєр шнековий	12	10	-	10	120	1	0,50	0,70	1,02	60	61,21					
	Конвеєр стрічковий	6	2,8	-	2,8	16,8	1	0,6	0,7	1,02	10,08	10,28					
	Сепаратор повітряний	10	1,5	-	4	30	3	0,4	0,6	1,33	12	16,00					
	Сепаратор зерноочисний	4	2,6	-	2,6	10,4	1	0,4	0,6	1,33	4,16	5,55					
	Сортувальна машина	4	2,2	-	2,2	8,8	1	0,40	0,60	1,11	3,52	3,91					
	Всього по цеху	81	1,6	-	55	847	37	0,7	0,9	0,48	451,96	446,61	41	1,11	501,68	446,61	671,67
	Цех кормосумішей																
	Падді-машина	4	2,2	-	2,2	8,8	1	0,40	0,50	1,73	3,52	6,10					
	Трієр	4	5,2	-	5,2	20,8	1	0,3	0,5	1,73	6,24	10,81					
	Зернові пропарювачі	4	5,1	-	5,1	20,4	1	0,4	0,6	1,33	8,16	10,88					
	Вентилятори радіальні	6	45,5	-	46	276	1	0,6	0,8	0,75	165,6	124,20					

[illegible]

06	Транспортери	4	2	-	10	34	5	0,5	0,7	1,02	17	17,34						
	Всього по складу	15	2	-	20	138	10	0,7	0,9	0,48	51,4	56,89	8	1,11	57,054	56,89	80,57	
	Склад№4																	
	Вентилятори	4	4	-	10	34	4	0,60	0,80	0,75	20,4	15,30						
	Кран з ПВ=25%	7	10	-	10	70	1	0,2	0,5	1,73	14	24,25						
	Транспортери	5	2	-	10	45	5	0,5	0,7	1,02	22,5	22,95						
	Всього по складу	16	2	-	20	149	10	0,7	0,9	0,48	56,9	62,50	8	1,11	63,159	62,50	88,86	
	Склад№5																	
	Вентилятори	4	4	-	10	34	4	0,60	0,80	0,75	20,4	15,30						
	Кран з ПВ=25%	6	10	-	10	60	1	0,2	0,5	1,73	12	20,78						
	Транспортери	4	2	-	10	28	5	0,5	0,7	1,02	14	14,28						
	Всього по складу	14	2	-	20	122	10	0,7	0,9	0,48	46,4	50,37	8	1,11	51,504	50,37	72,04	
	ДЕПО																	
	Вентилятори	3	1	-	5	9	5	0,70	0,80	0,75	6,3	4,73						
	Помпа	2	3	-	5	8	2	0,70	0,8	0,75	5,6	4,20						
	Зварювальна ділянка	2	1	-	10	11	10	0,3	0,4	2,29	3,3	7,56						
	Токарні станки	3	5	-	5	15	1	0,3	0,7	1,17	4,5	5,27						
	Зарядна станція	3	1	-	5	11	5	0,3	0,7	1,17	3,3	3,86						
	Всього по автогаражу	13	1		15	54	15	0,4	0,9	1,30	23	25,61	15	1,23	28,29	25,61	38,16	
	Їдальня																	
	Електричні плити	4	5	-	40	150	8	0,6	0,8	0,75	90	67,50						
	Вентилятори	3	1	-	3	8	3	0,70	0,8	0,75	5,6	4,20						
	Морозильні камери	2	1	-	5	10	5	0,60	0,7	1,02	6	6,12						
	Технологічна лінія	2	1	-	5	10	5	0,6	0,8	0,88	6	5,28						
	Всього по Їдальні	11	1		40	178	40	0,65	0,8	0,75	107,6	83,10	9	1,25	134,5	83,10	158,10	
	Автогараж																	
	Вентилятори	5	1	-	5	16	5	0,70	0,80	0,75	11,2	8,40						
	Компресори	2	10	-	15	20	2	0,70	0,8	0,75	14	10,50						
	Зварювальна ділянка	3	1	-	15	40	15	0,3	0,4	2,29	12	27,50						
	Токарні станки	3	10	-	14	23	1	0,3	0,7	1,17	6,9	8,07						
	Шліфувальні станки	2	1	-	5	10	5	0,3	0,7	1,17	3	3,51						
	Всього по автогаражу	15	1		15	109	15	0,4	0,9	1,30	47,1	57,98	15	1,23	57,933	57,98	81,96	
Котельня																		
Технологічні насоси	10	3	-	40	75	26,7	0,7	0,8	0,75	52,5	39,38							
Димососи	2	1	-	50	50	50	0,65	0,8	0,75	32,5	24,38							
Живильні насоси	2	5	-	100	85	20	0,37	0,8	0,75	31,45	23,59							

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

№ п/п	Найменування обладнання	F, м ²	P ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	Q _y , кВАр	K _c	tg φ	Розрахункове		
								P _p , кВт	Q _p ,кВАр	S _p ,кВА
1	2	3	4	5	6	7	9	11	12	13
1	Цех відходів	1450	10	14,5	24,7	0,95	1,7	13,8	23,4	27,2
2	Гречаний цех	1400	8	11,2	19,0	0,95	1,7	10,6	18,1	21,0
3	Цех кормосумішей	2200	10	22,0	37,4	0,95	1,7	20,9	35,5	41,2
4	Круп'яний цех	2300	8	18,4	31,3	0,95	1,7	17,5	29,7	34,5
5	Склад готової продукції	1900	10	19,0	32,3	0,95	1,7	18,1	30,7	35,6
6	Цех розфасування	1300	12	15,6	26,5	0,95	1,7	14,8	25,2	29,2
7	Цех виготовлення мюслів	1500	12	18,0	30,6	0,95	1,7	17,1	29,1	33,7
8	Склад№1	3250	6	19,5	33,2	0,95	1,7	18,5	31,5	36,5
9	Склад№2	2900	6	17,4	29,6	0,95	1,7	16,5	28,1	32,6
10	Склад№3	3700	6	22,2	37,7	0,95	1,7	21,1	35,9	41,6
11	Склад№4	3700	6	22,2	37,7	0,95	1,7	21,1	35,9	41,6
12	Склад№5	2950	6	17,7	30,1	0,95	1,7	16,8	28,6	33,2
13	ДЕПО	1200	8	9,6	16,3	0,95	1,7	9,1	15,5	18,0
14	Їдальня	1400	14	19,6	33,3	0,95	1,7	18,6	31,7	36,7
15	Автогараж	1450	8	11,6	19,7	0,95	1,7	11,0	18,7	21,7
16	Котельня	1000	6	6,0	2,9	0,8	0,5	4,8	2,3	5,3
17	Заводоуправління	1000	18	18,0	8,6	0,95	0,5	17,1	8,2	19,0
18	Елеватор	4300	8	34,4	58,5	0,95	1,7	32,7	55,6	64,5
19	Освітлення території КХП	157200	0,3	47,2	68,9	0,8	1,5	37,7	55,1	66,8
	Всього по КХП:	194650			578,30					635,83

Таблиця 2.4. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою вище 1000 В

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р од. кВт			РΣ, кВт	m	Ки	Cos φ	tg φ	Середнє		пз	Км	Розрахункове		
			min		max						Рср, кВт	Qср, кВар			Рр,кВт	Qр,кВар	Sp,кВА
1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП-1,2 (3х630 кВА)																	
1.	Цех відходів																
	Силове навантаження	20	0,1	-	4	36,7	33	0,6	0,7	1,02	13,488	12,36	18	1,4	18,8832	12,36	22,57
	Освітлювальне нав.										14,5	24,7			13,8	23,4	27,17
	Всього по цеху										27,988	37,06			32,6832	35,76	48,45
2.	Гречаний цех																
	Силове навантаження	87	1,6	-	55	847	37	0,7	0,9	0,48	451,96	446,61	41	1,11	501,7	446,61	671,60
	Освітлювальне нав.										11,2	19			10,6	18,1	20,975
	Всього по цеху										463,16	465,61			512,3	464,71	691,67
3.	Цех кормосумішей																
	Силове навантаження	41	1,5	-	46	527,5	30,7	0,6	0,8	0,75	329,07	263,14	16	1,2	394,884	263,14	474,53
	Освітлювальне нав.										22	37,4			20,90	35,5	41,2
	Всього по цеху										351,07	300,54			415,784	298,64	511,92
4.	Заводоуправління																
	Силове навантаження	20	2		24	440	12	0,65	0,8	0,75	286	214,50	20	1,1	314,6	214,50	380,77
	Освітлювальне нав.										18	8,6			17,100	8,200	19,00
	Всього по цеху										304	223,1			331,7	222,7	399,52
5.	Їдальня																
	Силове навантаження	11	1	-	40	178	40	0,65	0,8	0,75	107,6	83,10	9	1,25	134,5	83,10	158,10

	Силове навантаження	113	0,3	-	12	304	40	0,69	0,8	0,75	211,3	115,60	50	1,1	232,43	115,60	259,59
	Освітлювальне нав.										18	30,6			17,100	29,100	33,752
	Всього по цеху										229,3	146,2			249,53	144,7	288,45
6	Депо																
	Силове	13	1	-	15	54	15	0,40	0,90	1,30	23	25,61	15	1,23	28,29	25,61	38,16
	Освітлювальне нав.										9,6	16,3			9,100	15,500	17,974
	Всього по цеху										32,6	41,91			37,39	41,11	55,57
	Всього по ТП-4,5																
	Силове навантаження	151	2	-	50	1164	25	0,7	0,73	0,82	788,45	648,11	47	1,1	835,757	648,11	1057,6
	Освітлювальне нав.										71	139,9			67,500	114,70	133,09
	Навантаження 0,4 кВ з урахуванням КУ										10	11			14,0	15,0	
	Втрати п-ті в т-рах ТП-5,6														10,9	62,1	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-5,6														24,9	77,1	81,021
	ТП-4 (2х630 кВА)	4															
5	Котельня																
	Силове навантаження	40	15	-	170	2760	11,3	0,3	0,7	1,02	132,05	99,04	32	1,2	158,46	99,04	186,86
	Освітлювальне нав.										6	2,9			4,800	2,300	5,3
	Всього										138,05	101,94			163,26	101,34	192,16
1	Склад№1																
	Силове навантаження	16	2	-	20	148	10	0,7	0,9	0,48	53,4	60,36	8	1,11	59,27	60,36	84,59
	Освітлювальне нав.										19,5	33,2			18,500	31,500	36,5
	Всього по складу										72,9	93,56			77,77	91,86	120,36

Таблиця 4.1 Розрахунок картограми навантаження.

Назва групи споживачів	Pp, кВт	Pосв, кВт	R, мм	α, град	хм	ум	PΣ	F, м
Цех відходів	18,8	13,80	7,2	30,5	328	76	33	1450
Гречаний цех	501,7	10,60	28,6	1,5	212	76	512	1400
Цех кормосумішей	394,9	20,90	25,7	3,6	280	76	416	2200
Круп'яний цех	687,4	17,50	33,5	1,8	290	132	705	2300
Склад готової продукції	41,4	18,10	9,7	21,9	422	125	59	1900
Цех розфасування	67,7	14,80	11,5	12,9	360	122	82	1300
Цех виготовлення мюслів	113,2	17,10	14,4	9,4	330	160	130	1500
Склад№1	59,3	18,50	11,1	17,1	185	320	78	3250
Склад№2	60,9	16,60	11,1	15,4	290	270	78	2900
Склад№3	57,1	21,10	11,2	19,4	280	220	78	3700
Склад№4	63,2	21,10	11,6	18,0	130	220	84	3700
Склад№5	51,5	16,80	10,4	17,7	230	160	68	2950
ДЕПО	28,3	9,10	7,7	17,5	240	110	37	1200
Їдальня	134,5	18,60	15,6	8,7	190	50	153	1400
Автогараж	57,9	11,00	10,5	11,5	140	130	69	1450
Котельня	158,4	4,80	16,1	2,1	370	40	163	1000
Заводоуправління	314,6	17,10	23,0	3,7	110	20	332	1000
Елеватор	305,6	32,70	23,2	7,0	120	270	338	4300

m= 0,2 кВт/мм²

X= 288,4632689

Y= 126,7790869

Таблиця 6.2 Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000В з урахуванням КП-0,4 кВ

№ п/п	Найменування обладнання	п	Р од. кВт			РΣ, кВт	m	Ки	Cos φ	tg φ	Середнє		пэ	Км	Розрахункове		
			min		max						Рср, кВт	Qср, кВар			Рр,кВт	Qр,кВар	Sp,кВА
1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-1,2																
	Силове навантаження	148	0,1	-	55	1851,2	550	0,64	0,76	0,86	1188,1	1019,71	43	1	1188,12	1019,7	1565,71
	Освітлювальне										85,3	123,0			81,3	97,6	126,98
	Всього										1273,4	1142,7			1269,4	1117,3	1691,06
	БСК															-900	
	З урахув. БСК														1269,4	217,27	
	Втрати в трансф. Sn=630	3													10,9	119,2	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№1,2														1280,3	336,47	1323,78
	ТП-3																
	Силове навантаження	151	2	-	50	1163,5	25	0,68	0,73	0,82	788,45	648,11	47	1,06	835,757	648,11	1057,61
	Освітлювальне										71,0	139,9			67,5	114,7	133,09
	Всього										859,45	788,01			903,257	762,81	1182,27
	БСК															-670	
	З урахув. БСК														903	92,81	
	Втрати в трансф. Sn=630	2													10,9	62,1	
	Всього на шинах 10 кВ ТП№3														913,9	154,91	926,94
1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-4																
	Силове навантаження	76	2	-	50	696	25	1,02	0,73	0,93	707,85	655,49	28	1,12	792,792	655,49	1028,68
	Освітлювальне										198,2	318,3			175,4	289,4	338,40
	Всього										906,05	973,79			968,192	944,89	1352,85

Таблиця 8.1 Вибір кабельних ліній 10 кВ

Позиція	№ КЛ	Sp	Ip	Iав=2*Ip	Kn'	Fек=Ip/жек	Fтер=√Bк/С	Tun	Iдон	Iав < Kав*Kn*Iдон
ЦРП - ТП 1	1	4033,00	25,9	51,7	0,9	21,56	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦЗП - ТП 2	2	4033,00	25,9	51,7	0,9	21,56	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 3	3	4033,00	25,9	51,7	0,9	21,56	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 4	4	4033,00	25,9	51,7	0,9	21,56	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 5	5	4033,00	25,9	25,9	1	21,56	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*1*140=182
ЦРП - ТП 6	6	3583,00	25,9	51,7	0,9	21,55	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 7	7	3583,00	25,9	51,7	0,9	21,55	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 8	8	3583,00	25,9	51,7	0,9	21,55	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - ТП 9	9	3583,00	25,9	25,9	1	21,55	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*1*140=182
ЦРП - 10	10	3583,00	25,9	25,9	1	21,55	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*1*140=182
ЦРП - 11	11	926	26,7	53,5	0,9	22,28	49,26	ААШВ-2*(3*50)	140	51,7<1,3*0,9*140=163
ЦРП - СД	12	800	23,1	23,1	0,8	19,25	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*0,8*140=145,6
ЦРП - СД	13	800	23,1	23,1	0,8	19,25	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*0,8*140=145,7
ЦРП - СД	14	800	23,1	23,1	0,8	19,25	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*0,8*140=145,8
ЦРП - СД	15	800	23,1	23,1	0,8	19,25	49,26	ААШВ-(3*50)	140	25,9<1,3*0,8*140=145,9