

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-19,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____Олег МАНАСТИРНИЙ

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук

_____Наталія ГАРАСЬОВА

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

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 ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2023 р.

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

Манастирного Олега Віталійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів

Development of the power supply system for the reinforced concrete products plant

2. Керівник роботи Гарасьова Наталія Юріївна, 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 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 КЗ, вибір обладнання та силових мереж; 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.Ю. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Коротка характеристика підприємства</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05-13.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>14.05-16.05</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>17.05-28.05</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Наталія ГАРАСЬОВА

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Олег МАНАСТИРНИЙ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 74 с. основної частини; 12 рис.; 36 табл.; 14 джерел, 3 додатки

Манастирний О.В. Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів. – Рукопис.

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

В бакалаврській роботі розроблена система електропостачання заводу залізобетонних виробів. Для цього були виконані основні розрахунки, а саме: силових та освітлювальних навантажень заводу, балансу реактивної потужності, впливу струмів короткого замикання. Побудовані графіки електричних навантажень підприємства, вибрано схеми живлення, ГЗП та цехові трансформаторні підстанції, конденсаторні пристрої, високовольтне обладнання.

СР присвячено ефективності електропостачання основних груп споживачів підприємства. Виконано кількісний аналіз потужностей груп основного технологічного обладнання та для головних споживачів запропоновано та розраховано комплекс заходів по підвищенню ефективності електропостачання.

Приведено основні заходи по впровадженню електрозбереження в електроприводі на підприємстві та оцінка економічного ефекту.

Ключові слова: електричні навантаження, система електропостачання, ефективність електропостачання, асинхронний електропривод, регульований електропривод, заходи з електрозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 74 p. main part; Fig. 12; 36 tables; 14 sources, 3 applications

Manastyrnyi O.V. Development of the power supply system for the reinforced concrete products plant. – Manuscript.

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

In the bachelor's thesis, the power supply system of the reinforced concrete products plant was developed. For this, basic calculations were performed, namely: power and lighting loads of the plant, reactive power balance, and the effect of short-circuit currents. Schedules of electrical loads of the enterprise were drawn up, power supply schemes, GZP and workshop transformer substations, capacitor devices, high-voltage equipment were selected.

SR is devoted to the efficiency of electricity supply to the main groups of enterprise consumers. The use of the proposed frequency-controlled electric drive system made it possible to increase the efficiency of the pump. An assessment of the expected economic effect has been carried out.

A quantitative analysis of the capacities of groups of main technological equipment was performed, and a set of measures to increase the efficiency of electricity supply was proposed and calculated for the main consumers.

Keywords: electric loads, power supply system, power supply efficiency, asynchronous electric drive, adjustable electric drive, measures to save electricity

З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....		8
ВСТУП.....		9
1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРО-ПОСТАЧАННЯ 33В.....		10
1.1 Визначення силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В 33В.....		10
1.2 Визначення освітлювальних навантажень 33В.....		11
1.3 Визначення силових електричних навантажень в електричних мережах вище 1000 В 33В.....		11
1.4 Побудова графіків електричних навантажень 33В.....		13
2. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 33В ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ГЗП.....		18
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРО-ПОСТАЧАННЯ 33В.....		20
3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення 33В.....		20
3.2 Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання 33В...		26
4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА 33В.....		27
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....		27
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на 33В		30
5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ 33В.....		32
5.1 Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів ГЗП і цехових підстанцій заводу ЗВ.....		32

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		Манастирний О.			Розробка системи електропостачання заводу залізобетонних виробів Development of the power supply system for the reinforced concrete products plant	Літ.	Арк.
Перевірів		Гарасьова Н.					6
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-19	
Н. контр.		Гарасьова Н.					
Затвердив		Плещков П.					
						Аркуші	84

5.2	Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій ЗЗВ.....	34
6	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗЗВ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	36
6.1	Розрахунок струмів коротких замикань.....	36
6.2	Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж ЗЗВ.....	40
6.3	Вибір високовольтного обладнання ЗЗВ.....	41
7	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ЗАВОДІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ....	46
7.1	Основні заходи з економії електроенергії на заводі.....	46
7.2	Заходи з економії електроенергії в компресорних установках...	49
7.2.1.	Зменшення витоку повітря.....	50
7.2.2.	Регулювання струму збудження СД компресорів.....	51
7.3	Заходи з економії електроенергії в електроприводі.....	56
7.3.1.	Перевірка відповідності двигуна та навантаження.....	56
7.3.2.	Збільшення навантаження двигунів, що працюють з недовантаженням.....	59
7.3.3.	Зміна з'єднання обмоток статора асинхронного двигуна..	61
7.3.4.	Обмеження холостого ходу двигунів.....	62
7.3.5.	Економія електроенергії з використанням регульованого електроприводу.....	66
	ВИСНОВКИ.....	71
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
	Додаток А. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ.....	75
	Додаток Б. Розрахунок освітлювальних навантажень заводу.....	78
	Додаток В. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В.....	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СЕП – система електропостачання

ГЗП – головна знижувальна підстанція

АД - асинхронний двигун

ТП - трансформаторна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

КРП – компенсація реактивної потужності

СД – синхронний двигун

ЦЕН - центр електричних навантажень

ЦРП – центральна розподільча підстанція

ЕРС – електрорушійна сила

САР – система автоматичного регулювання

ВД – високовольтний двигун

ППП – пристрій плавного пуску

СІФУ - система імпульсно-фазового управління

СБП – система безударного пуску

ККД – коефіцієнт корисної дії

АКЗ - асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором

АЕП - автоматизований електропривод

ЧРЕ – частотно-регульований електропривод

ЗЗВ – завод залізобетонних виробів

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

ВСТУП

Завод залізобетонних виробів (ЗЗВ) спеціалізується на випуску збірного залізобетону (колони, балки, елементи зовнішніх стін, елементи для спорудження водопроводу та каналізації, конструкції та деталі каналів і панелів для прокладки комунікацій, елементи сходинок, шахти ліфтів і т. д.), фундаментних блоків, бетону, розчину, цементу, неармованих конструкцій.

Ця продукція випускається в наступних цехах:

- Формовочний цех по виготовленню збірного залізобетону, великих та фундаментних блоків, неармованих виробів.
- Арматурний цех по виготовленню зварних металоконструкцій для збірного залізобетону, закладних деталей, товарної арматури.
- Бетонозмішувальний цех по виготовленню технологічного та товарного бетону та розчину.

Крім основних цехів на підприємстві є лісосушильний цех, лісопильний цех з сортмайданом, насосна станція, котельня, компресорна, РМЦ. Робота підприємства забезпечується допоміжними підрозділами, до яких відносяться адміністративний корпус, пожежне депо, насосна станція II-го підйому, біржа круглого лісу, отоплювальний басейн, розкряжувальна станція, столова, насосна каналізації, насосна пожежогасіння, станція перекачування конденсату, градирня.

Для зберігання матеріалів та продукції використовуються склади: арматурної сталі, цементу, пиломатеріалів, інструментів, смоли та фарб, мазуту, готової продукції.

Живлячою підстанцією є підстанція системи з напругою 35/10 кВ, відстань до якої 3,4 км. Режим роботи заводу, в основному, двозмінний. По ступені безперебійності електропостачання споживачі відносяться до другої та третьої категорій.

З урахуванням вищенаведених вимог, в роботі ставиться задача проектування системи електропостачання заводу залізобетонних виробів.

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

1 ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗЗВ

1.1 Визначення силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В ЗЗВ

Розглянемо приклад визначення електричних навантажень електроприймачів за методом “Упорядкованих діаграм” [3,5].

Для групи споживачів (станки для розрізання дроту арматурного цеху):

$$P_{\Sigma} = 50 \text{ кВт}; n_{\Sigma} = 3; P_{\Sigma \cdot \min} = 15 \text{ кВт}; P_{\Sigma \cdot \max} = 20 \text{ кВт};$$

$$K_B = 0,3; \cos \varphi = 0,7; \operatorname{tg} \varphi = 0,91;$$

$$P_{\Sigma} = K_B \cdot P_{\Sigma} = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = P_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 15 \cdot 0,91 = 13,65 \text{ квар.}$$

Для арматурного цеху:

$$P_{\Sigma \cdot \min} = 3 \text{ кВт}; P_{\Sigma \cdot \max} = 50 \text{ кВт}; P_{\Sigma} = 768,5 \text{ кВт}; n_{\Sigma} = 50;$$

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\Sigma i} = 233,4 \text{ кВт}; Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{\Sigma i} = 188,9 \text{ квар.}$$

$$K_B = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma}} = \frac{233,4}{768,5} = 0,31; \quad m = \frac{P_{\Sigma \cdot \max}}{P_{\Sigma \cdot \min}} = \frac{50}{3} = 16,7;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\Sigma}}{P_{\Sigma}} = \frac{188,9}{233,4} = 0,81; \cos \varphi = 0,866;$$

$$n_{\Sigma} = \frac{2P_{\Sigma}}{P_{\Sigma \cdot \max}} = \frac{2 \cdot 768,5}{50} = 30,74; \text{ приймаємо } n_{\Sigma} = 31; K_p = 1,24;$$

$$P_p = K_p \cdot P_{\Sigma} = 1,24 \cdot 233,4 = 289,42 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{\Sigma} = 216,6 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{289,42^2 + 216,6^2} = 361,49 \text{ кВА.}$$

Аналогічно виконуються розрахунки для інших груп споживачів, цехів та заводу в цілому. В таблиці додатків А.1 наведено результати розрахунків.

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

1.2 Визначення освітлювальних навантажень 33В

Освітлювальні навантаження розраховуються за методом питомої потужності [3, 5].

Розглянемо на прикладі арматурного цеху заводу залізобетонних виробів:

$$F=5899 \text{ м}^2; K_c=0,9; p_0=16 \text{ Вт/м}^2;$$

$$P_{вст} = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 5899 \cdot 10^{-3} = 94,38 \text{ кВт.}$$

Розрахункове активне навантаження:

$$P_{p.осв} = K_1 \cdot K_c \cdot P_{вст} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 94,38 = 101,93 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_{P.осв} = P_{p.осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 101,93 \cdot 0,48 = 48,93 \text{ квар.}$$

Розрахункове повне навантаження:

$$S_{p.осв.} = \sqrt{P_{p.осв.}^2 + Q_{p.осв.}^2} = \sqrt{101,93^2 + 48,93^2} = 113,07 \text{ кВА.}$$

Розрахунок по іншим підрозділам заводу аналогічний, зведено до таблиці додатків Б.1.

1.3 Визначення силових електричних навантажень в електричних силових мережах вище 1000 В 33В

Попередньо визначаємо кількість КТП:

$$N_0 = P_{p.n} / (K_z \cdot S_n) = 3686,06 / (0,7 \cdot 630) = 8,36 \text{ шт,}$$

де $P_{p.n}$ – розрахункове навантаження на напрузі 0,4 кВ; K_z – коефіцієнт завантаження трансформаторів (попередньо приймається 0,7); S_n – номінальна потужність трансформатора (вибір обґрунтовано в 5 розділі).

Приймаємо чотири комплектні двотрансформаторні та одну комплектну однострансформаторну підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВА.

Розрахунок навантаження вище 1000 В для КТП2.

$$n_{\Sigma}=128; P_{n.max}=46 \text{ кВт; } P_{n.min}=1 \text{ кВт; } P_{n\Sigma}=1606,5 \text{ кВт;}$$

$$P_{3M\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{3Mi} = 600,59 \text{ кВт; } Q_{3M\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{3Mi} = 532,94 \text{ квар;}$$

$$K_B = \frac{P_{3M\Sigma}}{P_{n\Sigma}} = \frac{600,59}{1606,5} = 0,37;$$

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{3\text{м}\Sigma}}{P_{3\text{м}\Sigma}} = \frac{532,94}{600,59} = 0,887; \cos \varphi = 0,81;$$

$$m = \frac{P_{\text{н. max}}}{P_{\text{н. min}}} = \frac{132}{0,1} = 1320;$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2P_{\text{н}\Sigma}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 1606,5}{46} = 69,84; \text{ приймаємо } n_{\text{эф}}=70; K_p=1,108$$

$$P_p = K_p \cdot P_{3\text{м}\Sigma} = 1,108 \cdot 600,59 = 665,45 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{3\text{м}\Sigma} = 532,94 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{665,45^2 + 532,94^2} = 852,55 \text{ кВА}$$

$$P_{\text{р.осв}}=171,44 \text{ кВт}; Q_{\text{р.осв}}=168,53 \text{ квар.}$$

Сумарне навантаження:

$$P_{\Sigma} = P_p + P_{\text{осв}} = 665,45 + 171,44 = 820,52 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{\text{осв}} = 532,94 + 168,53 = 701,47 \text{ квар}$$

Сумарне реактивне навантаження з врахуванням компенсації (розділ 4):

$$Q_{\Sigma \text{кп}} = Q_{\Sigma} - Q_{\text{кп}} = 701,47 - 400 = 301,47 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma \text{кп}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma \text{кп}}^2} = \sqrt{836,89^2 + 301,47^2} = 889,5 \text{ кВА.}$$

Завантаження трансформатора КТП2:

$$K_3 = \frac{S_{\Sigma \text{кп}}}{n \cdot S_{\text{н.т.}}} = \frac{889,5}{2 \cdot 630} = 0,706.$$

Втрати потужності в трансформаторах КТП2:

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,105 + 8,6 \cdot 0,706^2) = 10,96 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = n \left(\frac{I_X}{100} S_H + \frac{U_K}{100} S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,7}{100} 630 + \frac{5,5}{100} 630 \cdot 0,706^2 \right) = 66,4 \text{ квар.}$$

Для шин 10 кВ КТП2:

$$P_{\text{р.КТП2}} = P_{\Sigma} + \Delta P = 836,89 + 10,96 = 847,85 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р.КТП2}} = Q_{\Sigma} + \Delta Q = 301,47 + 66,4 = 367,87 \text{ квар};$$

$$S_{\Sigma \text{КТП2}} = \sqrt{P_{\Sigma \text{КТП2}}^2 + Q_{\Sigma \text{КТП2}}^2} = \sqrt{847,85^2 + 367,87^2} = 924,217 \text{ кВА.}$$

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

Розрахунки навантажень в мережі вище 1000 В для інших підстанцій аналогічні і приведено в таблиці додатків В.1.

Для визначення розрахункового навантаження заводу додатково враховуємо потужність синхронних двигунів (СД) компресорної: $P_{\text{сд}}=1764$ кВт, $Q_{\text{сд}}=-650,57$ квар.

На шинах 10 кВ заводу:

$$P_{p.10} = P_{\Sigma} + P_{\text{сд}} = 3735,44 + 1764 = 5499,44 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.10} = Q_{\Sigma} + Q_{\text{сд}} = 1475,49 - 650,57 = 824,92 \text{ квар};$$

$$S_{p.10} = \sqrt{P_{p.10}^2 + Q_{p.10}^2} = \sqrt{5499,44^2 + 824,92^2} = 5550,08 \text{ кВА}.$$

З врахуванням коефіцієнту одночасності:

$$P_{p.10\text{ко}} = K_0 \cdot P_{p.10} = 0,85 \cdot 5499,44 = 4674,524 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.10\text{ко}} = K_0 \cdot Q_{p.10} = 0,85 \cdot 824,92 = 701,182 \text{ квар};$$

$$S_{p.10} = \sqrt{P_{p.10}^2 + Q_{p.10}^2} = \sqrt{4674,524^2 + 701,182^2} = 4726,82 \text{ кВА},$$

де K_0 - коефіцієнт одночасності, який залежить від коефіцієнту використання та враховує число приєднань споживачів на шинах 10 кВ, приймається $K_0=0,85$ [5], табл.В.4.

Розрахунок електричних навантажень в мережах вище 1000 В 33В наведено в таблиці додатків В.1.

1.4. Побудова графіків електричних навантажень

В бакалаврській роботі будуються графіки електричних навантажень активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ (без врахування компенсації та з врахуванням встановлення КП) потужностей зимового та літнього періодів, а також, річний графік за тривалістю активної потужності.

Данні для побудови графіків навантажень наведено в таблицях 1.1-1.3. Графіки, що побудовані за даними таблиць 1.4 -1.6 наведено на рис.1.1-1.3. Річний графік за тривалістю по активній потужності представлено на рис.1.4.

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

Таблиця 1.1 – Споживання активної потужності зимового та літнього періодів.

t,год	Рз,%	Рз,кВт	Рл,%	Рл,кВт	Рз,%	Рз,кВт	Рл,%	Рл,кВт
	Робочий день				Вихідний день			
0-1	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
1- 2	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
2-3	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
3-4	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
4-5	50	2337,26	42,5	1986,67	30	1402,36	25,5	1192,00
5-6	50	2337,26	42,5	1986,67	30	1402,36	25,5	1192,00
6-7	65	3038,44	55,25	2582,67	30	1402,36	25,5	1192,00
7-8	95	4440,80	80,75	3774,68	30	1402,36	25,5	1192,00
8-9	100	4674,52	85	3973,35	26	1215,38	22,1	1033,07
9-10	95	4440,80	80,75	3774,68	26	1215,38	22,1	1033,07
10-11	76	3552,64	64,6	3019,74	26	1215,38	22,1	1033,07
11-12	71	3318,91	60,35	2821,08	26	1215,38	22,1	1033,07
12-13	95	4440,80	80,75	3774,68	26	1215,38	22,1	1033,07
13-14	85	3973,35	72,25	3377,34	26	1215,38	22,1	1033,07
14-15	80	3739,62	68	3178,68	26	1215,38	22,1	1033,07
15-16	76	3552,64	64,6	3019,74	26	1215,38	22,1	1033,07
16-17	84	3926,60	71,4	3337,61	26	1215,38	22,1	1033,07
17-18	84	3926,60	71,4	3337,61	30	1402,36	25,5	1192,00
18-19	72	3365,66	61,2	2860,81	30	1402,36	25,5	1192,00
19-20	72	3365,66	61,2	2860,81	30	1402,36	25,5	1192,00
20-21	60	2804,71	51	2384,01	30	1402,36	25,5	1192,00
21-22	60	2804,71	51	2384,01	30	1402,36	25,5	1192,00
22-23	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
23-24	35	1636,08	29,75	1390,67	30	1402,36	25,5	1192,00
		73857,48		62778,86		31973,74		27177,68

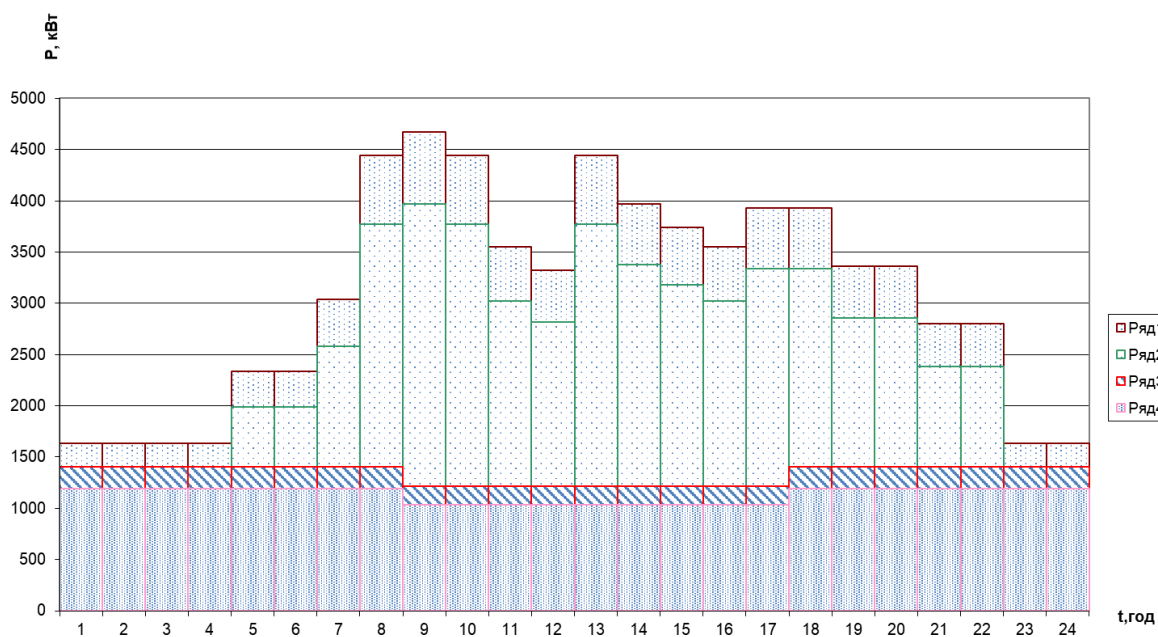


Рис. 1.1 - Добові графіки активного навантаження: 1,2- робочі зимового та літнього періодів; 3,4- вихідні зимового та літнього періодів.

Таблиця 1.2 - Споживання реактивної потужності зимового та літнього періодів (без компенсації).

t,год	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар
	Робочий день				Вихідний день			
0-1	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
1- 2	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
2-3	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
3-4	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
4-5	52	1514,07	44,2	1286,96	32	931,73	27,2	791,97
5-6	52	1514,07	44,2	1286,96	32	931,73	27,2	791,97
6-7	70	2038,17	59,5	1732,44	32	931,73	27,2	791,97
7-8	98	2853,44	83,3	2425,42	32	931,73	27,2	791,97
8-9	100	2911,67	85	2474,92	28	815,27	23,8	692,98
9-10	98	2853,44	83,3	2425,42	28	815,27	23,8	692,98
10-11	78	2271,10	66,3	1930,44	28	815,27	23,8	692,98
11-12	73	2125,52	62,05	1806,69	28	815,27	23,8	692,98
12-13	98	2853,44	83,3	2425,42	28	815,27	23,8	692,98
13-14	90	2620,50	76,5	2227,43	28	815,27	23,8	692,98
14-15	82	2387,57	69,7	2029,43	28	815,27	23,8	692,98
15-16	78	2271,10	66,3	1930,44	28	815,27	23,8	692,98
16-17	85	2474,92	72,25	2103,68	28	815,27	23,8	692,98
17-18	85	2474,92	72,25	2103,68	32	931,73	27,2	791,97
18-19	74	2154,64	62,9	1831,44	32	931,73	27,2	791,97
19-20	74	2154,64	62,9	1831,44	32	931,73	27,2	791,97
20-21	62	1805,24	52,7	1534,45	32	931,73	27,2	791,97
21-22	62	1805,24	52,7	1534,45	32	931,73	27,2	791,97
22-23	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
23-24	40	1164,67	34	989,97	32	931,73	27,2	791,97
		48071,67		40860,92		21313,42		18116,41

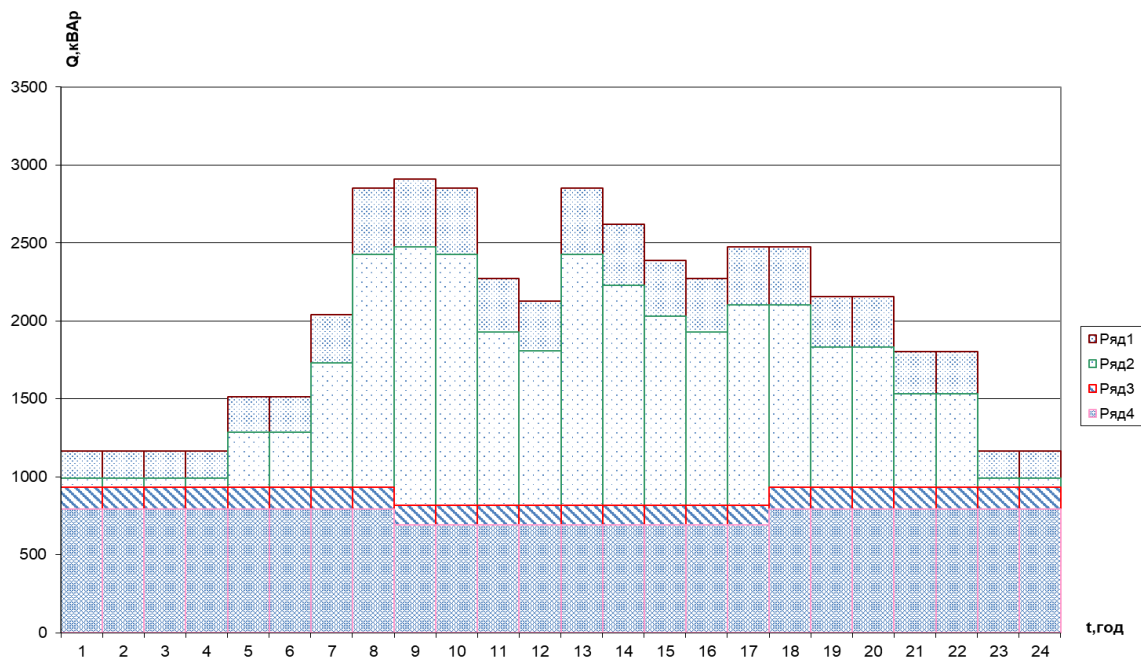


Рис. 1.2 - Добові графіки реактивного навантаження :1,2 - робочі зимового та літнього періодів; 3,4 - вихідні зимового та літнього періодів (без компенсації).

Таблиця 1.3 - Споживання реактивної потужності зимового та літнього періодів (з компенсацією).

t,год	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар	Qз,%	Qз,квар	Qл,%	Qл,квар
	Робочий день				Вихідний день			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-1	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
1- 2	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
2-3	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
3-4	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
4-5	52	364,61	44,2	309,92	32	224,38	27,2	190,72
5-6	52	364,61	44,2	309,92	32	224,38	27,2	190,72
6-7	70	490,83	59,5	417,20	32	224,38	27,2	190,72
7-8	98	687,16	83,3	584,08	32	224,38	27,2	190,72
8-9	100	701,18	85	596,00	28	196,33	23,8	166,88
9-10	98	687,16	83,3	584,08	28	196,33	23,8	166,88
10-11	78	546,92	66,3	464,88	28	196,33	23,8	166,88
11-12	73	511,86	62,05	435,08	28	196,33	23,8	166,88
12-13	98	687,16	83,3	584,08	28	196,33	23,8	166,88
13-14	90	631,06	76,5	536,40	28	196,33	23,8	166,88
14-15	82	574,97	69,7	488,72	28	196,33	23,8	166,88
15-16	78	546,92	66,3	464,88	28	196,33	23,8	166,88
16-17	85	596,00	72,25	506,60	28	196,33	23,8	166,88
17-18	85	596,00	72,25	506,60	32	224,38	27,2	190,72
18-19	74	518,87	62,9	441,04	32	224,38	27,2	190,72
19-20	74	518,87	62,9	441,04	32	224,38	27,2	190,72
20-21	62	434,73	52,7	369,52	32	224,38	27,2	190,72
21-22	62	434,73	52,7	369,52	32	224,38	27,2	190,72
22-23	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
23-24	40	280,47	34	238,40	32	224,38	27,2	190,72
		11576,51		9840,04		5132,65		4362,75

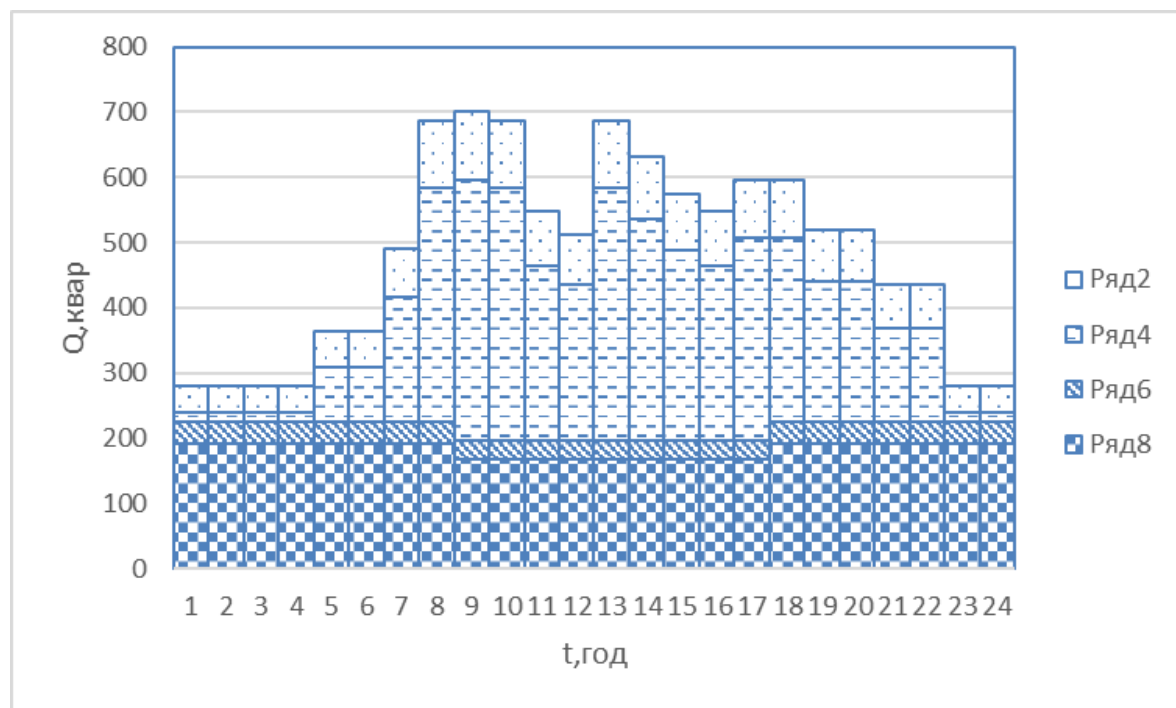


Рис. 1.3 - Добові графіки реактивного навантаження: 1,2 - робочі зимового та літнього періодів; 3,4 - вихідні зимового та літнього періодів (з компенсацією).

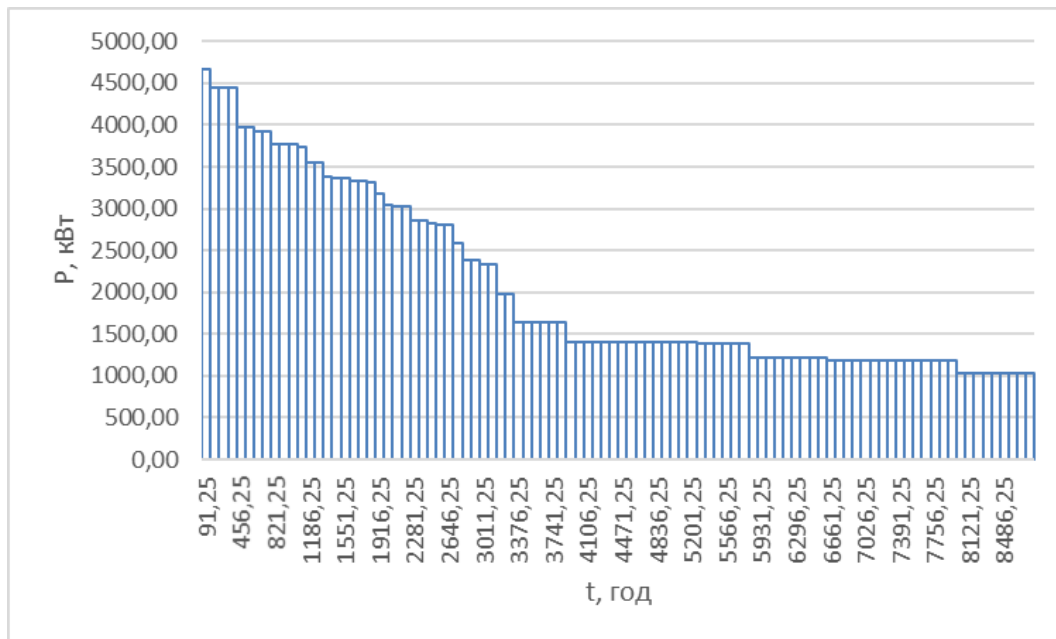


Рис. 1.4 - Річний графік за тривалістю по активній потужності

Розраховуємо споживання активної та реактивної енергії:

$$W_p = \sum (P_i \cdot t_i) = 73857,48 \cdot 147 + 62778,86 \cdot 105 + 31973,74 \cdot 65 + 27177,68 \cdot 48 =$$

$$= 20831651,59 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$V_p = \sum (Q_i \cdot t_i) = 11576,51 \cdot 147 + 9840,04 \cdot 105 + 5132,65 \cdot 65 + 4362,75 \cdot 48 =$$

$$= 3277986,233 \text{ кВАр} \cdot \text{год}$$

Час використання максимуму енергосистеми:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{(20831651,59^2 + 3277986,233^2)}}{4726,82} = 4461,346 \text{ год} \quad (1.1)$$

Час найбільших втрат:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4461,346}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = 2847,468 \text{ год} \quad (1.2)$$

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗЗВ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ГЗП

Картограма електричних навантажень дозволяє визначити місце розміщення ГЗП заводу, яке прийняте в умовному центрі електричних навантажень (ЦЕН). Для цього, спочатку визначаються навантаження по цехам, у вигляді кола, радіус якого пропорційний розрахунковому електричному навантаженню цеха.

Розглянемо на прикладі бетонозмішувального цеха:

$$R = \sqrt{\frac{\Sigma P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{48,35}{\pi \cdot 5}} = 12 \text{ см}, \quad (2.1)$$

де $\Sigma P_p = P_p + P_{осв.} = 45,88 + 2,47 = 48,35 \text{ кВт};$

m - масштаб $m = 5 \text{ кВт/см}^2$.

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

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв.}}{P_p} = \frac{360 \cdot 2,47}{48,35} = 7^\circ. \quad (2.2)$$

Для інших цехів та підрозділів заводу розрахунок виконується аналогічно і зведено в таблицю 2.1.

Визначаємо координати центру електричних навантажень:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 1020087,398 / 5871,761 = 173,72 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 552700,5 / 5871,761 = 94,13 \text{ м},$$

де n - кількість цехів на підприємстві;

x_i, y_i – координати i -го цеху на генеральному плані;

P_i – розрахункове навантаження i -го цеху.

З розрахунків отримані наступні координати ЦЕН: $x_0 = 173,72 \text{ м}$, $y_0 = 94,13 \text{ м}$. Дані для побудови картограми електричних навантажень приведено в таблиці 2.1.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Розрахункове визначення параметрів картограми електричних навантажень

n/p	Назва підрозділу	P _{осв.} , кВт	P _p , кВт	P _Σ ,кВт	X,м	Y,м	R,мм	α,град	P ×X, м	P×Y, м
1	Бетонозмішувальний цех	2,47	45,88	48,35	360	169,5	12	7	17406,0	8195,3
2	Формовочний цех	116,27	459,24	575,51	301,5	33	26	127	173516,3	18991,8
3	Арматурний цех	101,93	289,42	391,35	345	135	22	114	135015,8	52832,3
4	Склад арматурної сталі	4,03	77,52	81,55	307,5	187,5	10	19	25076,6	15290,6
5	Склад готової продукції	31,99	28,2	60,19	277,5	136,5	8	54	16702,7	8215,9
6	Компресорна	4,94	1764	1768,94	82,5	75	46	-	145937,6	132670,5
7	Склад заповнювачів	7,92	122,98	130,9	315	225	12	24	41233,5	29452,5
8	Склад цементу	0,36	14,54	14,9	388,5	137,5	4	10	5788,7	2048,8
9	Гради́рня	0,22	71,28	71,5	102	31,5	10	1	7293,0	2252,3
10	Бі́ржа круглого лісу	66,21	72,9	139,11	207	189	14	190	28795,8	26291,8
11	Оте́плювальний басейн	17,25	75,04	92,29	207	154,5	8	115	19104,0	14258,8
12	Лісопи́льний цех з сортмайданом	44,04	157,08	201,12	223,5	75	16	82	44950,3	15084,0
13	Склад пиломатеріалів	25,25	30	55,25	196,5	112,5	8	270	10856,6	6215,6
14	Розкряжува́льна станція	0,52	102,24	102,76	249	156	12	2	25587,2	16030,6
15	Лісосуши́льний цех	39,07	115,3	154,37	217,5	52,5	14	89	33575,5	8104,4
16	Котельня	4,14	202,05	206,19	84	142,5	16	6	17320,0	29382,1
17	Мазутозбереження	3,05	42,66	45,71	120	180	6	28	5485,2	8227,8
18	Адміністративний корпус	15,94	214	229,94	397,5	85,5	18	22	91401,2	19659,9
19	Поже́жне депо	0,061	36,48	36,541	67,5	190,5	6	1	2466,5	6961,1
20	Циклон	0,64	45,76	46,4	288	69	10	2	13363,2	3201,6
21	Насосна станція II підйому	2,14	385,28	387,42	114	102	20	2	44165,9	39516,8
22	Резервуа́р для води	7,75	43,89	51,64	150	109,5	8	45	7746,0	5654,6
23	Насосна пожежога́сіння	0,73	394,9	395,63	124,5	147	22	1	49255,9	58157,6
24	Насосна кана́лізації	0,47	43,2	43,67	153	63	8	3	6681,5	2751,2
25	Сто́лова	5,38	125,5	130,88	72	15	12	13	9423,4	1963,2
26	Склад смоли та фарб	0,21	21,15	21,36	334,5	183	6	2	7144,9	3908,9
27	Склад готової продукції	4,76	35,2	39,96	397,5	228	6	51	15884,1	9110,9
28	РМЦ	12,7	96,54	109,24	22,5	10,5	10	53	2457,9	1147,0
29	Станція перекачування конденс.	0,34	262,08	262,42	124,5	49,5	18	1	32671,3	12989,8
30	Склад інструмента	2,39	9,63	12,02	22,5	12	4	66	270,5	144,2
31	Склад цементу	0,36	12,64	13	70,5	168	4	10	916,5	2184,0
	Всього			5871,761					1020087,398	552700,5005

з ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗЗВ

3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

При аналізі можливих джерел електропостачання з'ясовано, що є два найбільш доцільні варіанти (рис.3.1).

I варіант.

Джерелом живлення ЗЗВ є підстанція енергосистеми на відстані 3,4 км. Електропостачання здійснюється на напрузі 10 кВ з прокладанням кабельних ліній. На заводі передбачається установка ЦРП - 10 кВ.

II варіант.

ЗЗВ отримує живлення КЛ 35 кВ від підстанції системи 35/10 кВ, що знаходиться на відстані 3,4 км. Планується встановити на заводі ГЗП - 35/10 кВ.

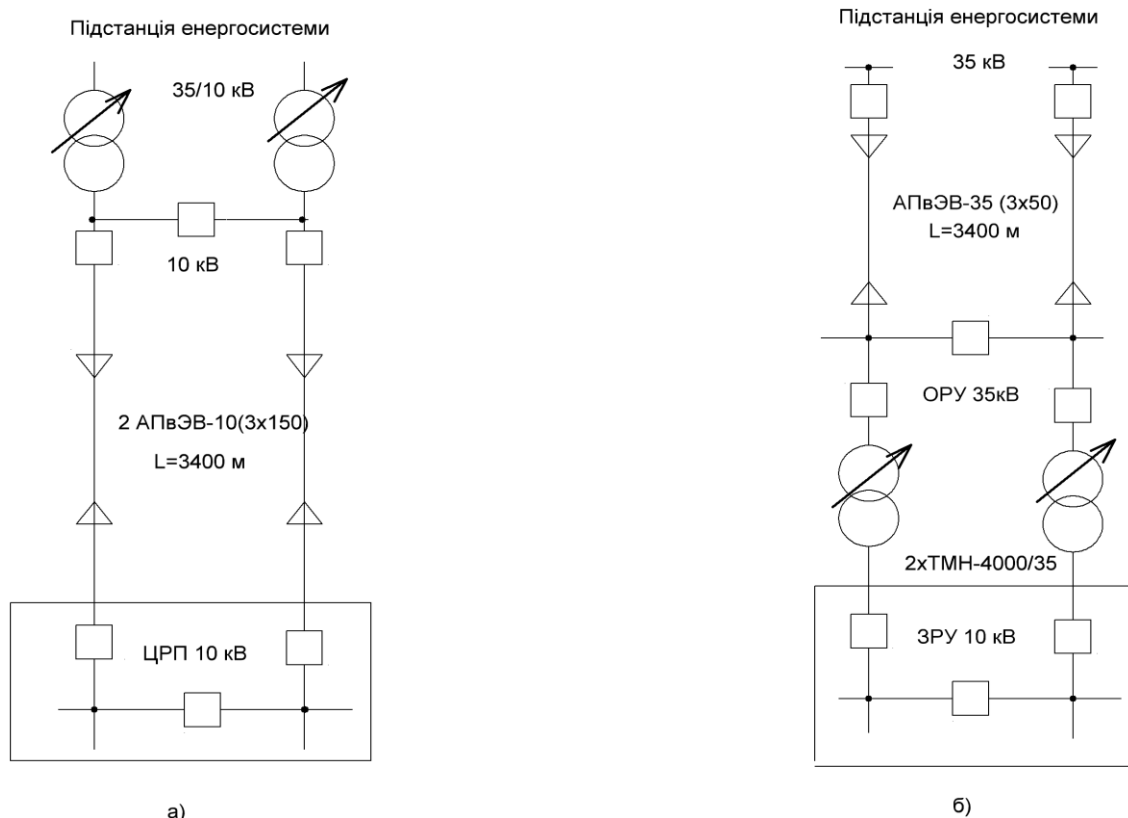


Рис.3.1 – Можливі варіанти схем зовнішнього електропостачання

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

Варіант I

Визначаємо струм в КЛ-10 кВ:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4726,82}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 259,9 \text{ А}$$

де S_p – розрахункова потужність підприємства, кВА;

U_n - номінальна напруга КЛ.

Переріз КЛ вибираємо з врахуванням j_e :

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{259,9}{1,4} = 185,62 \text{ мм}^2,$$

де j_e – значення економічної щільності струму, А/мм².

Прокладаємо 2 КЛ марки АПВЄВ-10 (3х150), з перерізом 150 мм² та параметрами: $I_d = 260 \text{ А}$; $\Delta P_{1\text{км}} = 54 \text{ кВт/км}$. Кабель марки АПВЄВ виконується з алюмінієвими струмоведучими жилами, з поліетиленовою ізоляцією та зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату.

Коефіцієнт завантаження КЛ для нормального режиму:

$$K_s = \frac{I_p}{2 \cdot I_o} = \frac{259,9}{2 \cdot 260} = 0,5 .$$

При пошкодженні однієї з ліній, друга, буде працювати з допустимим аварійним перевантаженням та забезпечить живлення заводу:

$$I = I_d \cdot K_{АП} = 1 \cdot 260 \cdot 1,25 = 325 \text{ А} > 259,9 \text{ А},$$

де $K_{АП}$ – значення допустимого коефіцієнту аварійного перевантаження, $K_{АП} = 1,25$. Таким чином робота заводу в аварійному режимі не порушується.

Далі визначаються втрати потужності і енергії:

$$\Delta P_n = \Delta P_{1\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_s^2 = 54 \cdot 2 \cdot 3,4 \cdot 0,5^2 = 91,8 \text{ кВт},$$

де l_{Σ} - сумарна довжина кабелю.

$$\Delta W = \Delta P_n \cdot \tau_{\max} = 91,8 \cdot 2847,468 = 261397,562 \text{ кВт·год.}$$

Вартість втрат енергії:

$$C_{вт} = \Delta W \cdot C_o = 261397,562 \cdot 6,56 \cdot 10^{-3} = 1714,77 \text{ тис. грн.},$$

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

де C_o – тариф 1 кВт·год електроенергії, який складається з тарифу на розподіл, передачу електроенергії та вартості електроенергії у постачальника. Тарифи на розподіл електроенергії, що діють до 31.05.2023 (включно) вибираємо для ПРАТ «КІРОВОГРАДОБЛЕНЕРГО»: 1 клас напруги (без ПДВ) – 0,31962 грн/кВт·год; 2 клас напруги (без ПДВ) – 1,39508 грн/кВт·год. Тариф на передачу електроенергії НКРЕКП встановлено у розмірі 0,43025 грн/МВт·год (без ПДВ) до 30.06.2023.

Тоді для 1 клусу напруги з врахуванням орієнтовної ціни постачальника та ПДВ: $C_o = (430,25 + 319,62 + 3641) \cdot 1,2 = 5269,044$ грн./ МВт·год $\approx 5,27$ грн./ кВт·год

Для 2 клусу напруги з врахуванням ціни постачальника та ПДВ:
 $C_o = (430,25 + 1395,08 + 3641) \cdot 1,2 = 6559,596$ грн./ МВт·год $\approx 6,56$ грн./ кВт·год

Варіант II

Розрахунки аналогічні з I варіантом.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4726,82}{\sqrt{3} \cdot 35} = 77,97 \text{ А.}$$

$$F_e = \frac{I_p}{j_e} = \frac{77,97}{1,4} = 55,69 \text{ мм}^2.$$

Прокладаємо 2 КЛ марки АПвЕВ-35 (3х50), площею перерізу 50 мм^2 з параметрами: $I_d = 140 \text{ А}$; $\Delta P_{\text{ЛКМ}} = 35 \text{ кВт/км}$.

$$K_z = \frac{I_p}{2 \cdot I_o} = \frac{77,97}{2 \cdot 140} = 0,278 .$$

До встановлення приймаємо 2 трансформатори потужністю $S_n = 4 \text{ МВА}$. Тип трансформаторів: ТМН-4000/35, технічна характеристика $\Delta P_{\text{хх}} = 5,7 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{кз}} = 33,5 \text{ кВт}$; $I_{\text{хх}} = 1 \%$; $U_k = 7,5 \%$.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_z = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{4726,82}{2 \cdot 4000} = 0,59 .$$

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

Перевіряємо забезпечення живлення заводу при відключенні 1-го трансформатора, коли другий буде працювати з допустимим аварійним перевантаженням:

$$S = 1,4 \cdot S_H = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ мВА.}$$

Розраховуємо втрати енергії в КЛ:

$$\Delta P_n = \Delta P_{\text{км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_z^2 = 35 \cdot 2 \cdot 3,4 \cdot 0,278^2 = 16,817 \text{ кВт,}$$

$$\Delta W_{\text{л}} = \Delta P_n \cdot \tau_{\text{max}} = 16,817 \cdot 2847,468 = 47885,865 \text{ кВт·год.}$$

В трансформаторах:

$$\Delta W_T = n \cdot (\Delta P_x t + \Delta P_k K_z^2 \tau) = 2 \cdot (5,7 \cdot 8760 + 33,5 \cdot 0,59^2 \cdot 2847,468) = 166274,6 \text{ кВт·год.}$$

Разом в КЛ та ТР:

$$\Delta W_I = \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_T = 47885,865 + 166274,6 = 214160,51 \text{ кВт·год.}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C = C_o \cdot \Delta W_I = 5,27 \cdot 214160,51 \cdot 10^{-3} = 1128,63 \text{ тис.грн.}$$

Розраховуємо капітальні вкладення в варіанти схем електропостачання і зводимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Капітальні вкладення в схеми

Варіант	Елемент схеми	Одиниця вимірювання	Кількість	Вартість одного, т. грн.	Вартість всього, т. грн.
I	Шафи 10 кВ з вимикачами ВР-1	шт.	2	278,57	557,13
	Кабель АПвЕВ-10 (3х150)в траншеї	км	6,8	1648,53	11210
	Всього				11767,13
II	КЛ-35 кВ АПвЕВ-35 (3х50) в траншеї	км	6,8	1296,3	8814,84
	ОРУ-35 кВ з трьома вимикачами	шт.	1	699,27	699,27
	Трансформатори ТМН-4000/35	шт.	2	2226,9	4453,8
	Всього				13967,91

Розрахунок поточних витрат проводимо укрупнено по двох складових частинах: амортизаційні відрахування (А) та експлуатаційні витрати (Е).

					Арк.
					23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Поточні витрати визначаються за формулою:

$$C = A + E = \frac{K_i \cdot H_a}{100} + \frac{K_i \cdot H_e}{100}, \quad (3.1)$$

де K_i - вартість елемента схеми (капіталовкладення) i -го варіанту, H_a - амортизаційні відрахування, H_e - відрахування на експлуатаційне обслуговування.

Отримані результати розрахунків наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2-Розрахунок поточних витрат

Варіант	Найменування елементів схеми	K_j , т.грн.	H_{aj} , %	H_{ej} , %	$H_{a.ej}$, %	C_j , т.грн.
I	Шафа 10 кВ з вимикачем	557,13	15	5	20	111,426
	Кабельна лінія в траншеї	11210	5	5	10	1121,0
	Всього	11767,13				1232,426
II	КЛ-35 кВ	8814,84	5	5	10	881,484
	ОРУ-35 кВ	699,27	15	5	20	139,854
	Трансформатори	4453,8	5	5	10	445,38
	Всього	13967,91				1466,718

Можливий збиток від перерви в електропостачанні.

Варіант I

Одна ланка включає: вимикач 10 кВ та КЛ-10 кВ довжиною 3,4 км.

$$\lambda_a = \sum_{i=1}^n \lambda_{ai} = 0,48 + 0,01 = 0,49.$$

Середній час відновлення 1-го ланцюга:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{ai} \cdot T_{ei}}{\lambda_a} = \frac{0,01 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,48 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,49} = 6,88 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт планового простою 1-го ланцюга:

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\Pi\Pi} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт аварійного простою, коли 1-н ланцюг відключений для планового ремонту, а другий відключається через пошкодження:

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

$$K_{\text{ан}} = 0,5 \cdot \lambda \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,49 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 1,4112 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.}$$

Для 1-го ланцюга:

$$K_a = \lambda_a \cdot T_b = 0,49 \cdot 6,88 \cdot 10^{-3} = 3,3712 \cdot 10^{-3} \text{ в.о}$$

Коефіцієнт аварійного простою 2-х ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ан}} = (3,3712 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 1,4112 \cdot 10^{-6} = 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ в.о.}$$

Середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 1,42 \cdot 10^{-5} \cdot 8760 = 0,124392$$

Середнє активне навантаження підприємства за рік:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_p \cdot T_a}{8760} = \frac{4674,524 \cdot 4461,346}{8760} = 2380,67 \text{ кВт.}$$

Збиток від аварійного недовідпуску 1 кВт·год електроенергії при значенні питомих збитків $Y_o = 20,5$ грн/кВт·год

$$Y = Y_o \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 20,5 \cdot 2380,67 \cdot 0,124392 \cdot 10^{-3} = 6,07 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунки для варіанту II аналогічні і зведено до таблиці 3.3.

Значення приведених витрат:

$$Z_I = E_H \cdot K_1 + C_1 + C_{\text{втр1}} + Y_1 = 0,12 \cdot 11767,13 + 1232,43 + 1714,77 + 6,07 = 4365,32 \text{ тис. грн.}$$

$$Z_{II} = E_H \cdot K_2 + C_2 + C_{\text{втр2}} + Y_2 = 0,12 \cdot 13967,91 + 1466,72 + 1128,63 + 5,61 = 4277,12 \text{ тис. грн.}$$

Техніко-економічні показники варіантів зведено до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3-Порівняння техніко-економічних показників варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення, тис.грн	11767,13	13967,91
Поточні витрати, тис.грн	1232,43	1466,72
Вартість втрат електричної енергії, тис.грн	1714,77	1128,63
Збитки, тис.грн	6,07	5,61
Приведені витрати, тис.грн	4365,32	4277,11

Розрахунки показують, що варіанти відрізняються за приведеними витратами на 2,1 %, менше ніж на 5% і їх можна вважати рівно економічними. Враховуючи меншу плату за спожиту електричну енергію на напрузі 35 кВ та перспективи розвитку заводу, приймаємо для подальшого проектування варіант з напругою 35 кВ.

3.2 Вибір напруги та електричних схем внутрішнього електропостачання ЗЗВ

Для внутрішніх заводських розподільчих мереж приймаємо напругу 10 кВ, оскільки напруга 6 кВ для мереж, що проектуються не рекомендована у зв'язку зі збільшення втрат в розподільчих мережах.

В цехових розподільчих мережах для живлення силових і освітлювальних електроприймачів приймаємо напругу 380 / 220 В, оскільки напруга 660 В потребує додаткового техніко-економічного обґрунтування і застосовується лише в окремих випадках.

Заводську розподільчу мережу виконуємо кабелями 10 кВ з застосуванням радіальної схеми електропостачання.

Живлення синхронних двигунів здійснюємо безпосередньо від шин ГЗП.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА 33В

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Розраховуємо економічно доцільну потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_c = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{св}} = 4674,524 \cdot 0,15 = 701,18 \text{ квар.}$$

В компресорній на 10 кВ встановлено компресори потужністю по 630кВт. Тоді для приводу компресорів вибираємо синхронні двигуни марки СТД-630-23-УХЛ4 з параметрами: $P_{\text{ном}} = 630 \text{ кВт}$; $S_{\text{ном}} = 700 \text{ кВА}$; $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$; $\eta = 96\%$; $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 5,58$; $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}} = 2,01$; $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2,07$.

Визначаємо мінімально необхідну кількість трансформаторів :

$$N_{\text{Tmin}} = P_p / (K_3 \cdot S_T) = 3686,06 / (0,7 \cdot 630) = 8,36 \text{ шт}$$

Приймаємо 9 трансформаторів.

Варіант I: $N = N_0$

Визначаємо реактивну потужність, що передається в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори :

$$Q_{\text{п1}} = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т1}} \cdot K_3)^2 - P_{\text{н1}}^2} = \sqrt{(9 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 3686,06^2} = 1471,7 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв, які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ розраховується з балансу реактивної потужності:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 3425,49 - 1471,7 = 1953,79 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 1950 \text{ квар}$ (5х150 квар, 6х200 квар табл. 6.2)

Уточнюємо значення $Q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 3425,49 - 1950 = 1475,49 \text{ квар}$

Потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{кн}} - Q_e = 3425,49 - 1950 - 701,18 = 774,31 \text{ квар}$$

Оскільки на заводі є СД, будемо використовувати реактивну потужність, яку вони генерують в режимі перезбудження. БСК 10 кВ не встановлюємо.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	27

Максимальна можлива реактивна потужність, що генерується синхронними двигунами:

$$Q_{\max} = \frac{\alpha \cdot P_{\text{ном}} \cdot \tan \varphi_{\text{ном}}}{\eta} \cdot n = \frac{1.27 \cdot 630 \cdot 0.484}{0.96} \cdot 4 = 1613.53 \text{ квар} \quad (4.1)$$

Активні втрати потужності при передачі реактивної енергії через трансформатори цехових ТП :

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 1475,49^2 \cdot 218 \cdot 10^{-6} / 10^2 = 4,75 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R_{\text{ек}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2) / (N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н тр}}^2) = (7,8 \cdot 10^2) / (9 \cdot 630^2) = 218 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}.$$

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{кн}} = 0,0045 \cdot 1950 = 8,775 \text{ кВт},$$

де $\Delta P_{\text{пит}} = 0,0045 \text{ кВт/квар}$ – питомі втрати потужності в низьковольтних конденсаторах.

Активна потужність, що витрачається СД при додатковій генерації реактивної потужності:

$$\Delta P_{\text{сд}} = Q_{\text{сд}} \cdot \left(\frac{D_1}{Q_{\text{ном}}} + \frac{2 \cdot D_2 \cdot Q_{\text{сд}}}{Q_{\text{ном}}^2 \cdot n} \right) + Q_{\text{сд}} \cdot \frac{D_2}{Q_{\text{ном}}^2 \cdot n} =$$

$$650.57 \cdot \left(\frac{2.47}{304.92} + \frac{2 \cdot 4.46 \cdot 650.57}{304.92^2 \cdot 4} \right) + 650.57 \cdot \frac{4.46}{304.92^2 \cdot 4} = 15.42 \text{ кВт} \quad (4.2)$$

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{\text{кн}} = \Sigma N_{\text{бк0,4i}} \cdot K_{\text{ккy0,4i}} = 5 \cdot 16,493 + 6 \cdot 23,804 = 225,289 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{\text{кТП}} = N_{\text{ТП(1)}} \cdot K_{\text{ТП(1)}} + N_{\text{ТП(2)}} \cdot K_{\text{ТП(2)}} = 1 \cdot 135,0 + 4 \cdot 298,6 = 1329,4 \text{ тис. грн.},$$

де $N_{\text{ТП(1)}}$, $N_{\text{ТП(2)}}$ – кількість відповідно одно- та двох- трансформаторних підстанцій; $K_{\text{ТП(1)}}$, $K_{\text{ТП(2)}}$ – вартість відповідно одно- та двох- трансформаторних підстанцій.

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

Витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z_1 = E_H \cdot (K_{KH} + K_{KH} + K_{KTP}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{CD} + \Delta P_{TP2}) \cdot C_0 \cdot \tau = 0,12 \cdot (225,289 + 0 + 1329,4) + (8,775 + 15,42 + 4,75) \cdot 5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 2847,468 = 656,34 \text{ тис. грн.} \quad (4.3)$$

Розрахунки за варіантами 2 та 3 виконано аналогічно та зведено до таблиць 4.1 - 4.2.

Таблиця 4.1 - Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	$Q_{п1}$, квар	Q_{KH} , квар	Q_{KB} , квар	Q_{CD} , квар
1	9	1475,49	1950	0	774,31
2	10	2425,49	1000	150	1574,31
3	11	3125,49	300	900	1524,31

Таблиця 4.2 - Розрахункові витрати, що необхідні для компенсації реактивної потужності

№ вар.	ΔP_{KH} , кВт	ΔP_{KB} , кВт	ΔP_{CD} , кВт	$N_{тр}$, шт.	$S_{тр}$, кВА	$R_{екв}$, Ом	ΔP_{TP} , кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	K_{KTP} , тис. грн.	Z , тис. грн.
1	8,775	0	15,42	9	630	0,218	4,75	225,29	0	1329,4	656,34
2	4,5	0,45	64,43	10	630	0,197	11,56	119,02	32,6	1493	1511,0
3	1,35	2,7	58,36	11	630	0,179	17,45	32,98	100,15	1628	1507,4

Аналіз розрахунків показує перевагу першого варіанту, його і приймаємо до встановлення. Баланс реактивної потужності зведено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Баланс реактивної потужності.

Показники	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	1950	1000	300
Потужність КП в мережі 10 кВ	0	150	900
Реактивна потужність, що генерується СД	774,31	1574,31	1524,31
Споживання реактивної потужності	701,18	701,18	701,18
Всього за умовою балансу	3425,49	3425,49	3425,49

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на ЗЗВ

Розраховуємо реактивну потужність, яку можна передати через трансформатори ТП в цехові мережі, та потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в цехових мережах.

Знаходимо реактивну потужність, яку потрібно компенсувати в мережі НН ТП 1:

$$Q_n = \sqrt{(n \cdot S_m \cdot K_z)^2 - P_n^2} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 783,27^2} = 405,48 \text{ квар} \quad (4.4)$$

$$Q_{кп} = Q_n - Q_{п} = 687,51 - 405,48 = 282,03 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{кп}=300$ квар: 2 шт КРМ– 0,4 – 150-6 УЗ.

Аналогічно проводимо інші розрахунки. Данні розрахунків для інших ТП наведено в таблиці 4.2.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2- Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв

№ ТП	N _т р	P _р , кВт	Q _р , квар	Q _п , квар	Q _{кп} , квар	N _{бк}	Тип БК	ΣQ _{бк} , квар	K _з	S _р , кВА
1	2	783,27	687,51	405,48	282,03	2	КРМ - 0,4 – 150 -6У3	300	0,7	873,88
2	2	836,89	701,47	278,45	423,01	2	УКМ - 0,4 – 200 - 33 1/3У3	400	0,7	889,5
3	1	443,98	304,39	0	304,39	1	КРМ - 0,4 – 150-6У3	150	0,74	470,06
1	2	966,12	836,91	0	836,91	4	УКМ- 0,4 – 200-33 1/3 У3	800	0,76	966,82
5	2	834,92	581,48	284,3	297,17	2	КРМ - 0,4 – 150 -6У3	300	0,7	881,09
							Всего	1950		

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 1950 кВАр.

5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ ЗЗВ

5.1 Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів ГЗП і цехових підстанцій заводу ЗВ

Для ГЗП підприємства вибираємо двотрансформаторну підстанцію з врахуванням аварійних та допустимих систематичних перевантажень.

Потужність трансформатора на знижувальній підстанції з кількістю трансформаторів 2 та більше:

$$S_{\text{т.розр.}} = S_{\text{max}} / ((n-1) \cdot 1,4) = 4,726 / ((2-1) \cdot 1,4) = 3,38 \text{ МВА} . \quad (5.1)$$

Встановлюємо два трансформатори потужністю $S_{\text{н}} = 4 \text{ МВА}$. Вибираємо трансформатори типу ТМН-4000/35 з параметрами $\Delta P_{\text{xx}} = 6,7 \text{ кВт}$, $I_{\text{нх}} = 1 \%$, $\Delta P_{\text{кз}} = 33,5 \text{ кВт}$, $U_{\text{к}} = 7,5 \%$.

Завантаження трансформаторів в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{4726,82}{2 \cdot 4000} = 0,59. \quad (5.2)$$

При відключенні одного трансформатора другий, що буде працювати з допустимим аварійним перевантаженням, забезпечить живлення навантаження, без відключення споживачів третьої категорії:

$$S = 1,4 \cdot S_{\text{н}} = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ мВА}. \quad (5.3)$$

Для цехових ТП також встановлюємо 2 трансформатори на підстанції, так як більшість споживачів має другу категорію за безперебійністю електропостачання.

Проведемо розрахунок питомого навантаження для підприємства в цілому, щоб обрати типорозмір або номінальну потужність цехових трансформаторів.

Так розрахункове силове та освітлювальне навантаження складає згідно таблиці додатків В.1, з врахуванням компенсації, $S_p = 4726,82 \text{ кВА}$. Загальна площа всіх цехів відповідно до таблиці додатків Б.1 - $F_{\Sigma} = 39965 \text{ м}^2$.

Визначимо питоме навантаження заводу:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_p}{F} = \frac{4726,82}{39965} = 0,118 \text{ кВА/м}^2.$$

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З розрахунку виходить, що доцільне застосування трансформаторів з номінальною потужністю $S_{\text{ном}} = 630 \text{ кВА}$, при $S_{\text{пит}} \leq 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А/м}^2$.

Проводимо розрахунок потужності трансформаторів цехових ТП.

Для ТП № 1 вибираємо потужність силових трансформаторів (передбачується установка двох трансформаторів).

Номінальна потужність трансформатора за умовою систематичного перевантаження:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_1} = \frac{915,49}{2 \cdot 1,09} = 419,95 \text{ кВА}.$$

Відсоток споживачів 1-2 категорії складає 85%.

Номінальна потужність трансформатора за умовою аварійного перевантаження:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{(n-1) \cdot K_2} = \frac{0,85 \cdot 915,49}{(2-1) \cdot 1,4} = 555,83 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Завантаження трансформаторів ТП 1 в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{915,49}{2 \cdot 630} = 0,727$$

Відключення споживачів III-ї категорії в аварійному режимі складає 3,9 %.

Завантаження трансформаторів ТП1 в аварійному режимі:

$$K_3 = \frac{K_{I,II} \cdot S_p}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,85 \cdot 915,49}{630} = 1,24 < 1,4.$$

Дана КТП розміщується в насосній станції.

Аналогічно проводимо розрахунки для ТП-2. Результати розрахунків зводимо в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2- Вибір трансформаторів цехових ТП.

№ ТП	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	$N_{\text{тр}} \times S_{\text{тр}}$, кВА	K_3
1	794,01	455,72	915,49	2х630	0,727
2	847,85	167,87	864,3	2х630	0,686
3	448,91	185,19	485,61	1х630	0,771
4	979	115,07	985,73	2х630	0,782
5	844,79	343,08	911,79	2х630	0,724

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

5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій ЗЗВ

Встановлюємо комплектні трансформаторні підстанції (КТП) Хмельницького підприємства «Укрелектроапарат», які призначені для промислових підприємств. Вибираємо трансформаторні підстанції КТП - 630/10/0,4 з трансформаторами ТМГФ (трансформатор трифазний з масляним охолодженням та природною циркуляцією масла та повітря, герметичний, фланцевого виконання), які призначені для трансформації електроенергії змінного струму, $f=50\text{Гц}$ та допускають встановлення як всередині цеху промислового підприємства, так і ззовні у районах з помірним кліматом.

Таблиця 5.1 -Технічні характеристики трансформаторів

S,	$U_{\text{вн}}$,	$U_{\text{нн}}$,	u_k ,	$\Delta P_{\text{хх}}$,	$\Delta P_{\text{кз}}$,	$\Delta P_{\text{кТП}}$,	$I_{\text{д.с.вн}}$,	$I_{\text{д.с.нн}}$,	$I_{\text{т.с.нн.1с}}$,	$I_{\text{т.с.вн.1с}}$,	$I_{\text{з.ш0,4.}}$,
кВ·А	кВ	кВ	%	кВт	кВт	кВт	кА	кА	кА	кА	кА
630	10	0,4	5,5	0,105	8,6	9,8	51	50	25	20	0,91

Для регулювання напруги трансформатори мають високовольтний перемикач, що здійснює регулювання ступенями $\pm 2 \times 2,5\%$ від номінального значення при відключенні від мережі.

У герметичних трансформаторах масло не стикається з повітрям і не окислюється. Не потрібні додаткові витрати при введенні їх в експлуатацію, немає потреби в профілактичних ремонтах, аналізі та регенерації масла. Гофростінки дозволяють компенсувати зміну тиску усередині баку за рахунок зміни своєї конфігурації та обсягу.

На місце розміщення КТП впливає розрахункове навантаження цеху, умови середовища, питома густина навантаження, перевантажувальна здатність трансформаторів та категорія споживачів за безперебійністю живлення. Прийняте розміщення КТП наведено у таблиці 5.2.

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

Таблиця 5.2 – Вибір місця розташування КТП.

№ КТП	Вид КТП	Місце розташування ТП	Катег. за пожеж. безпекою	Категорії споживачів	% відключаємих спожив. 3 кат.
1	Вбудована	Насосна станція	Д	ІІ, ІІІ	3,9
2	Вбудована	Арматурний цех	Д	ІІ, ІІІ	0
3	Прибудована	Станція перекачування конденсату	Д	ІІ, ІІІ	10,1
4	Вбудована	Формовочний цех	Д	ІІ, ІІІ	11,7
5	Вбудована	Котельня	Д	ІІ, ІІІ	3,4

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

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

6.1 Розрахунок струмів коротких замикань на ЗЗВ

Перед розрахунком струмів КЗ складаємо розрахункову схему (рис. 6.1) на якій намічаємо точки, в яких треба розрахувати струми короткого замикання.

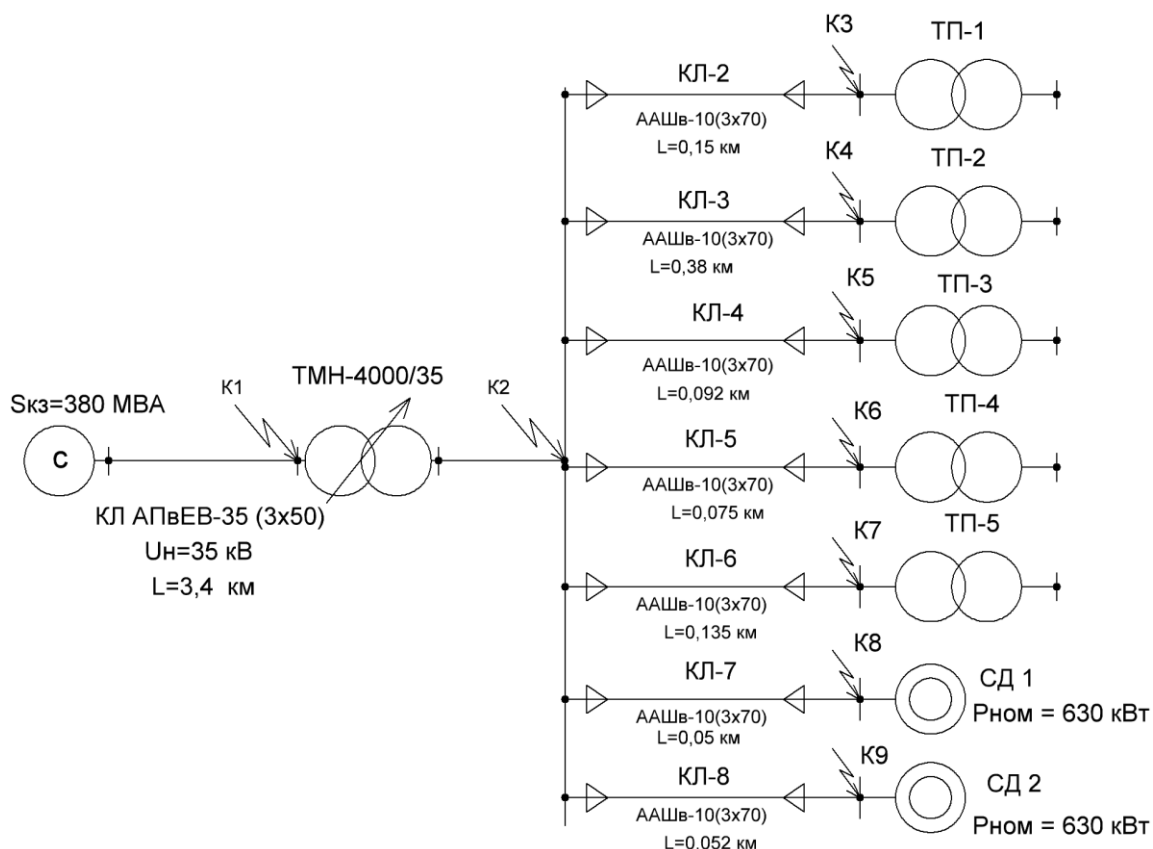


Рис. 6.1 - Розрахункова схема для визначення струмів КЗ в СЕП.

За розрахунковою схемою складається схема заміщення, де представлені всі елементи у вигляді опорів (рис.6.2).

Струми КЗ розраховуємо у відносних одиницях, які приведено до базисних умов.

Визначаємо вихідні данні для виконання:

- для системи : $S_{кз} = 380 \text{ МВА}$;

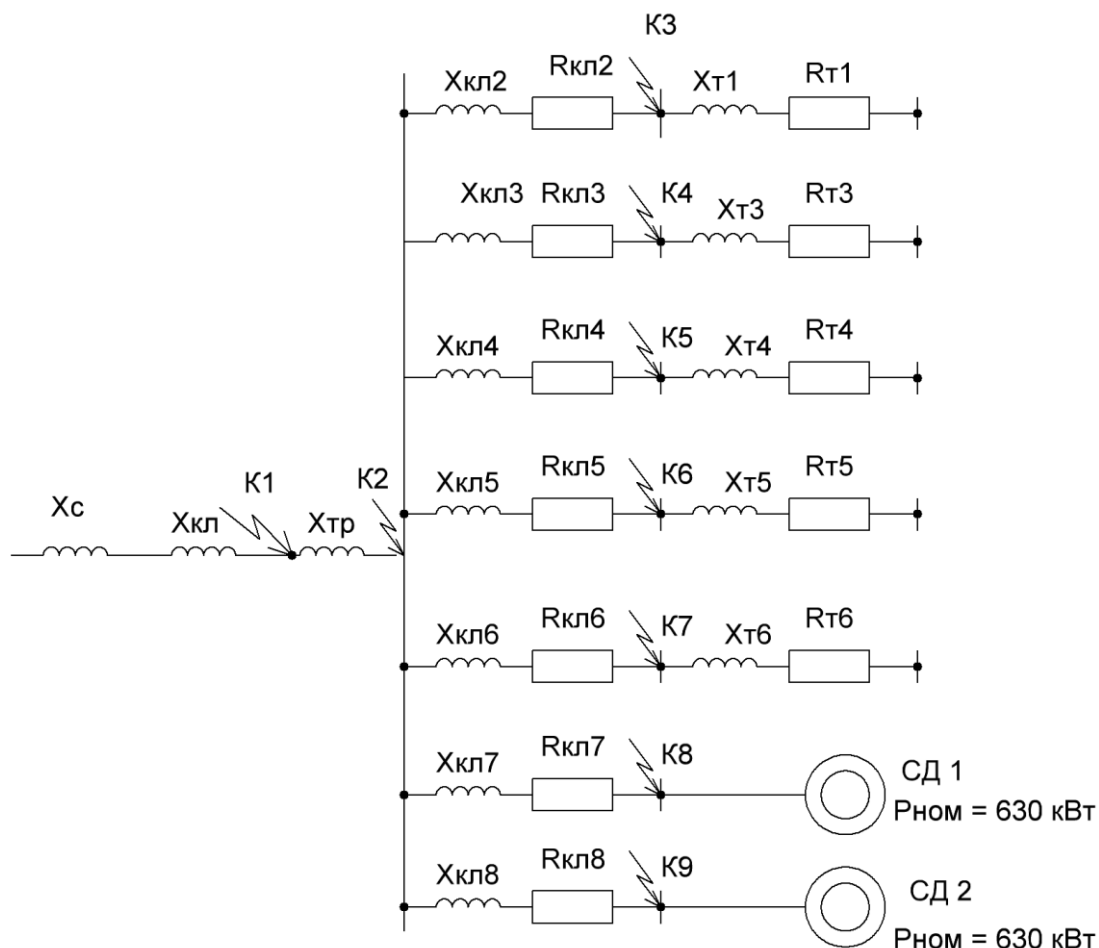


Рис. 6.2 – Схема заміщення для визначення струмів КЗ в СЕП.

- для кабельної лінії 35 кВ: кабель АПВЄВ – 35 (3х50) довжиною $L = 3,4$ км;
- для трансформатору: ТМН- 4000/35; $S_{ном} = 4,0$ МВА; $U_{ном} = 35$ кВ; $U_{K\%} = 10,5$ %;
- для кабельних ліній 10 кВ – марка та довжина.

$S_6 = 100$ МВА. Базисний струм:

$$I_{б1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,65 \text{ кА}; \quad (6.1)$$

$$I_{б2} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{б2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА}. \quad (6.2)$$

Опір системи, що приведений до базисних умов (в.од.):

$$x_c = \frac{S_6}{S_{кc}} = \frac{100}{380} = 0,263 \quad (6.3)$$

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

Опір кабельної лінії перерізом 50 мм², що приведений до базисних умов:

$$x_{\text{кл}} = x_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,137 \cdot 3,4 \cdot \frac{100}{35^2} = 0,038 ; \quad (6.4)$$

$$r_{\text{кл}} = r_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,62 \cdot 3,4 \cdot \frac{100}{35^2} = 0,172 , \quad (6.5)$$

де x_o та r_o – значення питомих індуктивного та активного опорів кабельної лінії [3].

Опір трансформатора, що приведений до базисних умов (в.од.):

$$x_{\text{т}} = \frac{U_{\text{к\%}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{н}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4,0} = 1,875 . \quad (6.6)$$

Опір КЛ, що приведений до базисних умов(в.од.):

$$x_{\text{кл-1}} = x_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,086 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,012 ;$$

$$r_{\text{кл-1}} = r_o \cdot \ell_1 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,46 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,063 .$$

Опір інших КЛ розраховуємо аналогічно. Результати розрахунків представлено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок опорів кабельних ліній.

№ КЛ	Позначення	l,км	R ₀ ,Ом/км	X ₀ ,Ом/км	R, Ом	X, Ом	R*6	X*6
КЛ-1	С-ГЗП	3,4	0,62	0,137	2,108	0,466	0,172	0,038
КЛ-2	ГЗП-ТП-1	0,15	0,46	0,086	0,069	0,013	0,063	0,012
КЛ-3	ГЗП-ТП-2	0,38	0,46	0,086	0,175	0,033	0,159	0,030
КЛ-4	ГЗП-ТП-3	0,092	0,46	0,086	0,042	0,008	0,038	0,007
КЛ-5	ГЗП-ТП-4	0,075	0,46	0,086	0,035	0,006	0,031	0,006
КЛ-6	ГЗП-ТП-5	0,135	0,46	0,086	0,062	0,012	0,056	0,011
КЛ-7	ГЗП-СД 1	0,05	0,46	0,086	0,023	0,004	0,021	0,004
КЛ-8	ГЗП-СД 2	0,052	0,46	0,086	0,024	0,004	0,022	0,004

Результуючий опір до точок К1, К2 (в.од.):

$$x_{\text{к1}} = x_c + x_{\text{вз}} = 0,263 + 0,038 = 0,301 ,$$

$$r_{\text{к1}} = 0,172 ,$$

$$z_{k1} = \sqrt{(x_{k1}^2 + r_{k1}^2)} = \sqrt{0,301^2 + 0,172^2} = 0,347 ;$$

$$x_{k2} = x_{k1} + x_m = 0,301 + 1,875 = 1,486 ;$$

$$z_{k2} = \sqrt{(x_{k2}^2 + r_{k2}^2)} = \sqrt{1,486^2 + 0,172^2} = 1,496 .$$

Над перехідні струми для точок K1, K2 (кА):

$$I_{k1}'' = \frac{I_6}{z_{k1}} = \frac{1,65}{0,347} = 4,759 ;$$

$$I_{k2}'' = \frac{I_6}{z_{k2}} = \frac{5,49}{1,486} = 3,67 .$$

Знаходимо ударні струми точок K1 та K2 без підживлення від високовольтних СД (кА):

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot I_{k1}'' \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 4,759 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,02}} \right) = 10,768 ;$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot I_{k2}'' \cdot \left(1 + \ell^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 3,67 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,01}} \right) = 6,747 .$$

Періодичні складові струму КЗ, що генеруються чотирма СД 630 кВт (кА):

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} / \cos \varphi_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta} = \frac{630 / 0,9}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 0,042 ;$$

$$I_{CD}'' = n \cdot \frac{E_*''}{x_{*d}} \cdot I_n = 4 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,042 = 0,924 .$$

Розраховані ударні струми КЗ СД (кА):

$$i_{yCD} = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{CD}'' = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,924 = 2,35 .$$

Тоді, струми КЗ при врахуванні струму підживлення (вважаємо струм підживлення однаковим для всіх точок):

$$I_{\Sigma R2}'' = I_{k2}'' + I_{CD}'' = 3,67 + 0,924 = 4,594 \text{ кА};$$

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

$$i_{\Sigma_{yK2}} = i_{yK2} + i_{yCD} = 6,747 + 2,35 = 9,097 \text{ кА.}$$

Інші точки розраховуються по струмам КЗ аналогічно, результати зведено до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати розрахунків струмів КЗ.

№ ТКЗ	Хсум	Rсум	Zсум	I", кА	іуд, кА	Г", кА	іу, кА
						З підживленням від СД	
K1	0,301	0,172	0,347	4,759	10,768		
K2	1,486	0,172	1,496	3,670	6,747	4,594	9,097
K3	1,498	0,235	1,516	3,621	6,658	4,545	9,008
K4	1,527	0,393	1,577	3,481	6,400	4,405	8,750
K5	1,535	0,432	1,594	3,444	6,332	4,368	8,682
K6	1,540	0,463	1,608	3,413	6,275	4,337	8,625
K7	1,551	0,519	1,636	3,357	6,171	4,281	8,521
K8	1,555	0,540	1,646	3,336	6,132	4,260	8,482
K9	1,559	0,562	1,657	3,313	6,091	4,237	8,441

6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж 33В

Вибір КЛ від підстанції енергосистеми до ГЗП на напругу 35 кВ було детально розглянуто в 3 розділі роботи. До прокладання приймаємо 2 кабельні лінії марки АПвЕВ-35 (3х50).

Превіряємо кабель за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{ав} = K_{п} \cdot K_{ав} \cdot I_{доп} = 0,9 \cdot 1,25 \cdot 140 = 157,3 > I_p = 91,55,$$

де $K_{п}$ - коефіцієнт прокладки кабелів [3];

$K_{ав}$ - допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження кабеля, приймаємо рівним 1,25. Умова виконується.

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля з врахуванням термічної стійкості:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{23,21}}{94} = 51,25 \text{ мм}^2, \quad (6.7)$$

де K – значення термічного коефіцієнту; для алюмінієвих кабелів $K=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий імпульс:

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

$$B_k = I''^2 (t_b + t_{pz \max}) = 4,759^2 (0,025 + 1) = 23,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де I'' - над перехідний струм;

t_b – значення повного часу роботи вимикача до відключення;

$t_{pz \max}$ – значення максимального часу дії релейного захисту.

Отриманий переріз більше прийнятого, тому остаточно прокладаємо кабель марки АПвЕВ-35 (3х70) з площею перерізу 70 мм². Цей кабель задовільняє умовам термічної стійкості.

Повторюємо розрахунки для інших КТП та електродвигунів аналогічно. Результати проведених розрахунків представлено в таблиці 6.3.

6.3 Вибір високовольтного обладнання ЗЗВ

Для напруги вище 1000 В вимикачі вибирають за номінальними параметрами, типу установки, струмом та за комутаційною здатністю. Потім перевіряють перевіряються за параметрами відновлюючої напруги та на стійкість при наскрізних струмах КЗ.

На боці 35 кВ приймаємо вимикачі типу ВБЗЕ – 35, що мають електромагнітний привод. Вибір вимикача приведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4- Вибір вимикача напругою 35 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35кВ
77,97 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
4,759 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
10,768 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
4,759 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
13,216 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1 + \beta_n)$	28,3 кА
23,21 кА ² ·с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	1089 кА ² ·с

Розрахунковий струм:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4726,82}{\sqrt{3} \cdot 35} = 77,97 \text{ А}.$$

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

Таблиця 6.3 - Вибір кабельних ліній 35 кВ та 10 кВ.

№ КЛ	S _p , кВА	n	I _{p.норм} , А	F _e , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _{пр}	K _{ап}	I _{p.мах} , А	K _{пр} ^{ав} ·K _{ап} ·I _{доп} , А	F _{min} , мм ²
До ГЗП	5550,08	2	45,775	32,69	АПВЄВ-35 (3х70)	260	0,9	1,25	91,55	292,5	51,25
ГЗП-ТП1	915,49	2	26,6	19	ААШВ(3Х50)	165	0,9	1,25	53,16	185,25	47,4
ГЗП-ТП2	864,3	2	24,4	17,4	ААШВ(3Х50)	165	0,9	1,25	48,9	185,25	47,4
ГЗП-ТП3	485,61	1	25,8	18,4	ААШВ(3Х50)	165	1	1,25	25,8	206,25	47,4
ГЗП-ТП4	985,73	2	24,03	17,16	ААШВ(3Х50)	165	0,9	1,25	48,05	185,25	47,4
ГЗП-ТП5	911,79	2	24,2	17,3	ААШВ(3Х50)	165	0,9	1,25	48,4	185,25	47,4
ГЗП-СД1	700	1	38,5	27,5	ААШВ(3Х50)	165	0,8	1,25	38,5	165	47,4
ГЗП-СД2	700	1	38,5	27,5	ААШВ(3Х50)	165	0,8	1,25	38,5	165	47,4
ГЗП-СД3	700	1	38,5	27,5	ААШВ(3Х50)	165	0,8	1,25	38,5	165	47,4
ГЗП-СД4	700	1	38,5	27,5	ААШВ(3Х50)	165	0,8	1,25	38,5	165	47,4

На боці 10 кВ встановлюємо вимикачі типу ВР-1. Вибір ввідних та секційних вимикачів в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 - Вибір ввідних та секційного вимикачів.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
259,9 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
4,594 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
8,82 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	39,6 кА
4,594 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
9,097 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
40,105 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	1200 кА ² · с

Розрахунковий струм ввідного вимикача:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4726,82}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 259,9 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм секційного вимикача:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4726,82}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 129,95 \text{ А.}$$

Вимикачі типу ВР-1В приймаємо для всіх відхідних ліній. Вибір параметрів вимикачів, що встановлено на відхідних лініях приведено до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6. Вибір вимикачів для відхідних ліній 10 кВ РП.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ
53,16 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
4,594 кА	$I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	20 кА
8,82 кА	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк} (1+\beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 20(1+0,4)=39,60 \text{ кА}$
4,594 кА	$I'' \leq I_{дин}$	20 кА
9,097 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	52 кА
26,15 кА ² · с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 48,49 \text{ А.}$$

На боці 10 кВ вимикачі встановлені в типові шафи КРПЗ зовнішньої установки. Технічну характеристику КРПЗ приведено в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 - Технічна характеристика КРПЗ.

Параметри	Каталожні дані
Номинальна напруга, кВ:	10 кВ
Частота, Гц	50 Гц
Номинальний струм, А: Головних ланцюгів Вакуумного вимикача	1000 А 630А
Номинальний струм відключення, кА	20
Електродинамічна стійкість головних ланцюгів, кА	41
Струм термічної стійкості (короткочасний, до 3с), кА	20
Тип вимикача	ВР-1

Вибір роз'єднувачів 35 кВ.

Встановлюємо роз'єднувач типу РНД(З)-35/630Т1, вибір роз'єднувачів 35 кВ зводимо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8- Вибір роз'єднувачів.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри роз'єднувача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
77,97 А	$I_{max} \leq I_{ном}$	630 А
10,768 кА	$i_{уд} \leq i_{дин}$	63 кА
23,21 кА ² *с	$B_k \leq I_{терм}^2 t_{терм}$	2500 кА ² · с

Вибір трансформаторів власних потреб.

Виконуємо розрахунок потужності споживачів власних потреб, дані зведено до таблиці 6.9.

Потужність трансформатора $S_T = P_p / \eta = 23,9 / 1 = 23,9$ кВА.

Приймаємо 2 трансформатори ТМ – 25/10. Технічна характеристика:

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

$S_{\text{ном}} = 25 \text{ кВА}; U_{\text{вн}} = 10 \text{ кВ}; U_{\text{нн}} = 0,4 \text{ кВ}; I_{\text{xx}} = 3,0 \text{ \%}; \Delta P_{\text{xx}} = 0,175 \text{ кВт}, \Delta P_{\text{к}} = 0,88 \text{ кВт}; U_{\text{к}} = 4,5 \text{ \%},.$

Таблиця 6.9 - Розрахунок потужності споживачів власних потреб.

№ п/п	Споживач	Встановлена потужність, кВт	Кількість, шт	Сумарна потужність, кВт
1	Підігрів шаф КРПЗ	0,6	12	7,2
2	Освітлення та опалення приміщення	7	1	7
3	Споживання навантаження оперативними ланцюгами	2,2	1	2,2
4	Зовнішнє освітлення	4,5	1	4,5
5	Підігріву приводу роз'єднувача	0,6	5	3
	Всього			23,9

Вибір обмежувачів перенапруги.

На боці 35 кВ встановлюємо ОПН-35: ОПНп 35/40,5 УХЛ1. На боці 10 кВ встановлюємо обмежувачі перенапруги ОПНп-10/12/1 УХЛ1.

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

7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЗАВОДІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

7.1 Основні заходи по економії електроенергії на заводі

Надмірне споживання електричної енергії на підприємстві пояснюється застарілими технологіями та обладнанням, загальним спадом виробництва, нераціональним використанням енергоресурсів.

Для усунення цього становища потрібно провести глобальну модернізацію виробництва: ввести енергозберігаючі технології виробництва, зменшити матеріалоємність продукції, підвищити рівень організації виробництва, провести реконструкцію старого обладнання, застосовувати нові ефективні електроспоживачі та вдосконалювати режими їх керування і т.д. Але такий підхід потребує значних капіталовкладень.

Основну увагу в бакалаврській роботі буде приділено технічним заходам зі зменшення витрат електричної енергії, але не варто ігнорувати методично-організаційні заходи, які дозволяють без суттєвих капіталовкладень отримати кращі показники. В таблиці 7.1 наведено основні такі заходи.

Таблиця 7.1 – Методично - організаційні заходи по економії електроенергії на підприємстві

№	Назва заходу
1.	Управління збереженням енергії
2.	Контроль та облік електричної енергії
3.	Проведення нормування витрат електроенергії
4.	Складання енергетичних балансів
5.	Застосування систем енергетичного менеджменту, консалтингу та аудиту
6.	Розроблення заходів зі стимулювання зменшення витрат електричної енергії

Тобто важливо виявити ділянки з підвищеним споживанням електроенергії і з мінімальними витратами усунути цей недолік.

Для визначення з технічними заходами економії електроенергії виконаємо аналіз найбільш потужних та значущих споживачів електроенергії на підприємстві.

Підприємства певного профілю відрізняється характерною структурою споживачів, тому доцільно розглянути заходи з економії електроенергії за групами споживачів. На заводі залізобетонних виробів можна виділити наступні типові групи споживачів: верстати, вентилятори, крани, підйомники, бетономішалки, транспортери, дробарки, насоси, електронагрівачі, електропечі, електропили, компресори, освітлення та інше обладнання. Дані по кількості та встановленій потужності окремих груп споживачів наведено в таблиці 7.2, а відносну частку груп електроспоживачів у загальній потужності підприємства представлено на рис. 7.1.

Таблиця 7.2 - Дані по кількості та встановленій потужності окремих груп споживачів на заводі

№	Споживач	Кількість, шт	Загальна встановлена потужність, кВт
1	Верстати	94	851
2	Вентилятори	81	523,5
3	Крани, підйомники	40	756
4	Бетономішалки	50	772,5
5	Транспортери	34	305,5
6	Дробарки	5	96
7	Насоси	91	727
8	Електронагрівачі, електропечі	5	120
9	Електропили	8	100
10	Інше обладнання	15	85
11	Компресори	4	1764

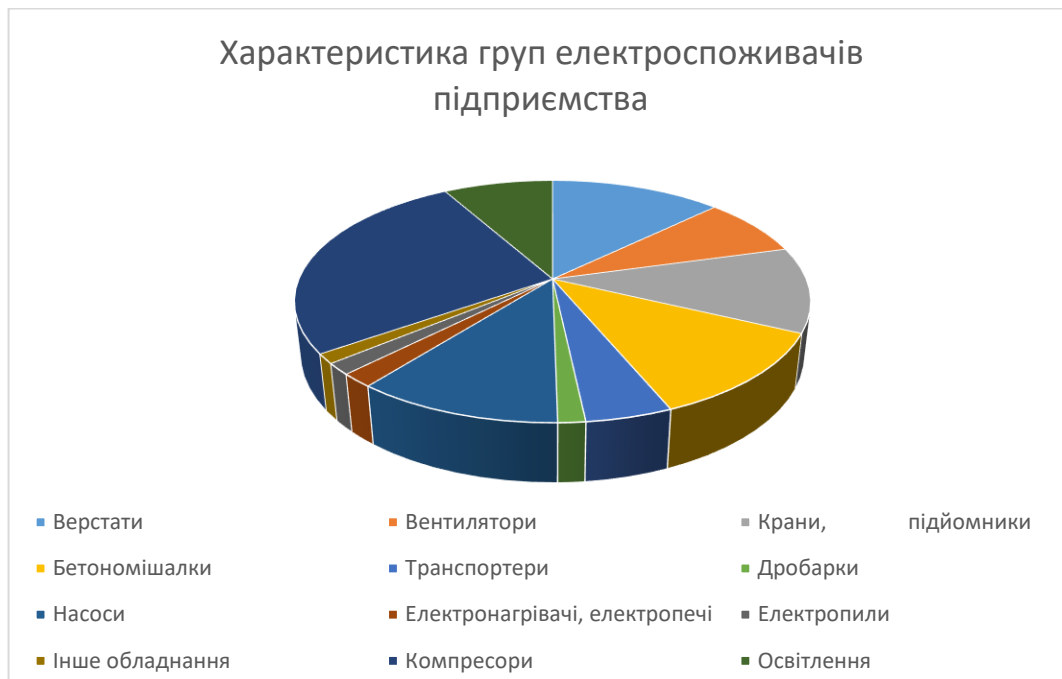


Рис. 7.1 - Відносна частка груп електроспоживачів у загальній потужності підприємства.

Кожна група споживачів має певний набір технічних заходів, за допомогою яких можливо суттєво знизити споживання електричної енергії. Розглянемо такі заходи для основних груп споживачів, які ми виділили на підприємстві залізобетонних виробів. Як видно з рис. 7.1, до основних груп споживачів відносяться: компресори, електропривод, насоси, вентилятори, освітлення. В таблиці 7.3 наведено перелік таких основних заходів.

Таблиця 7.3 – Технічні заходи з економії електроенергії для основних груп споживачів заводу залізобетонних виробів

№	Споживач електроенергії	Характеристика заходу
1	2	3
		своєчасне відключення від мережі стислого повітря непрацюючих інструментів і устаткування
		якщо навантаження непостійне, система обов'язково має бути оснащена регульованим приводом компресора для зниження споживаної потужності компресора
		уникнення роботи компресорів в холостому режимі, за відсутності навантаження потрібне повне відключення компресорів

1	2	3
		усунення щонайменших витоків стислого повітря в системі, регулярне перевірчення щільності з'єднань
		якщо в технології використовуються різні рівні тиску, слід подумати про розділення такої системи
		удосконалення регулювання в системі з декількома компресорами з метою досягнення оптимальної черговості при включенні — виключенні
		рекуперація теплової енергії охолодження повітря за наявності споживачів теплової енергії
2	Електропривод	обмеження неробочого режиму електроприводу
		контроль за режимами експлуатації
		встановлення регульованого ЕП
		застосування стабілізаторів швидкості
		скорочення витрат у перехідних процесах
		заміна двигунів, що працюють з малим навантаженням або зниження напруги на їх затискачах
3	Насоси	перевірка відповідності завантаження насосів
		регулювання опору трубопроводів
		оптимізація продуктивності насосів за рахунок регульованого електроприводу
		усунення витоків та зайвих витрат води
		застосування водопостачання, що обертається
		покращення системи охолодження
4	Вентилятори	регулювання перепаду температур між прямою і зворотною водою
		правильний вибір потужності вентиляторів під необхідне навантаження
		встановлення регульованого електроприводу вентиляторів для зміни частоти їх обертання
		передбачення відключення вентиляторів у неробочий час
5	Освітлення	ремонт дефектів при експлуатації
		раціональний вибір світильників та марки ламп
		підтримка необхідного рівня напруги освітлювальних мереж
		застосування рефлекторів
		обмеження освітленості під час перерви на обід
		регулювання освітлення
		підтримка чистого стану світильників

7.2 Заходи з економії електроенергії в компресорних установках

В табл.7.4 наведено основні заходи, що дозволяють оптимізувати режим роботи компресорної установки. За допомогою табл. 7.4 можна оцінити потенціал збереження енергії за результатами проведення декількох десятків енергоаудитів компресорного устаткування [10].

Таблиця 7.4 - Можливості енергозбереження для компресорного обладнання.

Захід	Можливе значення збереження, %	Орієнтовний термін окупності (років)
Зменшення витоку повітря	60	0,9
Пониження системного тиску	11	1,3
Виключення режимів холостого ходу	34	0,8
Покращення системи регулювання компресорів	34	2,7
Зменшення машинного часу	16	<0,1
Максимальне заощадження (на одну установку)	65	0,8

7.2.1. Зменшення витоку повітря

Як видно з табл. 7.4 дуже хороші результати дає зменшення витоку повітря. В табл.7.5 наведено втрати потужності при різних значеннях тиску.

Таблиця 7.5 – Втрати потужності при різних значеннях тиску

Діаметр отвору, мм	P= 4 атм.		P= 6 атм.		P= 8 атм.	
	Δповітря, л/сек	ΔP, кВт	Δповітря, л/сек	ΔP, кВт	Δповітря, л/сек	ΔP, кВт
1	0,7	0,2	1	0,3	1,3	0,5
5	18	4,6	26	8	33	13
10	73	18	103	33	132	50

Розглянемо визначення зменшення втрат електричної енергії при ліквідації постійного витоку через отвір діаметром 3 мм в системі стислого повітря с тиском 4 атм. При умові роботи системи 3600 годин на рік економія:

$$C = \Delta P \cdot \tau \cdot C_0 = 1,96 \cdot 3600 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3} = 37,185 \text{ тис.грн} \quad (7.1)$$

7.2.2. Регулювання струму збудження СД компресорів

Розглянемо спочатку розрахунок потужності електродвигунів компресорів. При виборі потужності приводних електродвигунів вихідною величиною є статичне навантаження на валу механізму.

Потужність на валу двигуна компресора (кВт):

$$P = \frac{Q(A_n + A_a)}{2\eta_k \eta_n} \cdot 10^{-3} R_3, \quad (7.2)$$

де Q – подача компресора, $\text{м}^3/\text{с}$; p_2 – кінцевий збиточний тиск стискування, Па; A_n – питома робота ізотермічного стискування ($\text{Дж}/\text{м}^3$) до тиску p_2 ; A_a – питома робота адіабатичного стискування ($\text{Дж}/\text{м}^3$) до тиску p_2 ; η_k – к.к.д. компресора ($\eta_k = 0,6 \dots 0,8$); η_n – к.к.д. передачі; $R_3 = 1,05 \dots 1,3$ – коефіцієнт запасу.

Більш точніше потужність на валу двигуна компресора можна знайти, якщо є дійсна індикаторна діаграма стискування повітря або газу:

$$P = \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \cdot 10^{-3} R_3, \quad (7.3)$$

де A – питома робота стискування повітря або газу ($\text{Дж}/\text{м}^3$), яка визначається по індикаторній діаграмі.

Якщо відома потужність P , можна розрахувати момент на валу двигуна (Н·м.):

$$M = 9500 \cdot P / n, \quad (7.4)$$

де n – частота обертання двигуна, об/хв.

Потужність на валу двигуна компресора (кВт):

$$P = \frac{Q(A_n + A_a)}{2\eta_k \eta_n} \cdot 10^{-3} R = \frac{0.5(411000 + 427200)}{2 \cdot 0.7 \cdot 0.6} \cdot 10^{-3} \cdot 1.2 = 598,714 \text{ кВт}$$

Двигун потужністю $P_{\text{ном}} = 630$ кВт Типу СДК2-17-26-12 КУХЛ4

$P = 630$ кВт; $U_{\text{ном}} = 10$ кВ; струм статора 43,1 А; ККД = 93,8 %;

$$\frac{I_n}{I_{\text{ном}}} = 4,4; \quad \frac{M_n}{M_{\text{ном}}} = 0,6; \quad \frac{M_{S=0,05}}{M_{\text{ном}}} = 1,0; \quad \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 1,87.$$

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

Тип тиристорного збуджувача ВТЕ-320, момент інерції ротора $0,51 \cdot 10^3$ кг·м², $\cos \varphi = 0,9$, частота обертання 500 об/хв.

Синхронний двигун за рахунок регулювання струму збудження має значно великі можливості по оптимізації як свого режиму роботи, так і режимів роботи компресора і живильної мережі.

Стосовно самого двигуна, регулюванням струму збудження забезпечується:

- усталена робота при різного характеру впливах, короточасних випадкових посадках напруги, викликаних, наприклад, включенням у мережу потужних асинхронних чи синхронних двигунів, а також при аварійних посадках, збільшеннях навантаження, змінах параметрів ланцюгів збудження;
- режим нульового кута φ , при якому з мережі не споживається реактивна енергія. Відзначимо, що режим мінімуму сумарних втрат у двигуні має місце при $\cos \varphi$ трохи меншому одиниці і відстаючому струмі;
- мінімум установленної потужності двигуна у випадку, якщо вибір габариту двигуна диктується не його нагріванням, а перевантажувальною здатністю;
- можливість зниження габаритів двигуна.

Стосовно живильної мережі регулюванням струму збудження забезпечується:

- генерування реактивної енергії і її регулювання з урахуванням споживання іншими електроприймачами мережі;
- стабілізація, чи, принаймні зниження коливань напруги в живильній мережі, якщо ці коливання пов'язані з підвищеною витратою іншими споживачами реактивної потужності;
- демпфірування коливань частоти живильної напруги.

Стосовно робочої машини- компресору – синхронний двигун забезпечує:

- демпфірування коливань, викликаних пульсаціями моменту опору компресора;
- синхронізацію відносного положення роторів декількох синхронних двигунів, що приводять у рух одноступінні компресори.

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

Розглянемо основні закони автоматичного регулювання збудження синхронних двигунів, що застосовуються на практиці.

Регулювання ведеться у функції наступних величин:

- внутрішнього кута зрушення двигуна між основною ЕРС статора і напругою мережі;
- активної складової струму статора;
- повного струму статора;
- реактивної потужності двигуна;
- коефіцієнта потужності двигуна;
- $\cos\varphi$ кута навантаження;
- напруги мережі.

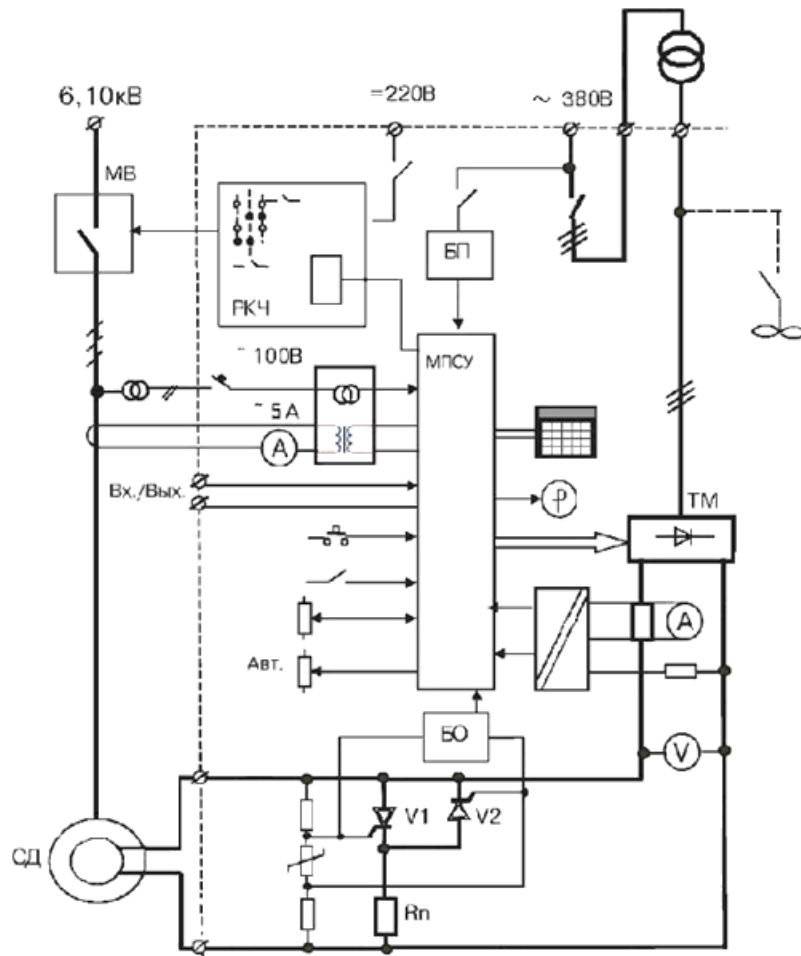
Вибір того чи іншого закону регулювання струму збудження синхронного двигуна визначається на основі аналізу конкретних умов його роботи з урахуванням властивостей навантаження і живильної мережі.

Одним з найкращих способів побудови САР збудження синхронних двигунів, що забезпечують раціональний перехід від одного закону регулювання до іншого в сполученні з оптимізацією контурів регулювання методом послідовної кореляції, є спосіб підпорядкування регулювання координат. При цьому способі об'єкт регулювання розбивається на ряд послідовно з'єднаних ланок, для кожної з якої організується свій контур регулювання з регулятором, що формує технічно оптимальний перехідний процес у контурі. При цьому вихідний сигнал одного регулятора – зовнішнього – є задаючим для іншого – внутрішнього, підлеглого зовнішньому.

Для системи автоматичного регулювання збудження електроприводу компресорної установки приймається схема системи підлеглого регулювання. У цій системі чотири контури регулювання: зовнішній контур – контур регулювання напруги мережі; контур регулювання реактивного струму двигуна; контур регулювання завдання струму збудження; внутрішній контур регулювання струму збудження.

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

Для живлення обмотки збудження синхронного двигуна застосовується тиристорний перетворювач, виконаний за трифазною мостовою схемою випрямлення вхідної змінної напруги від силового трансформатора, в постійну регульовану напругу.



Отримати економію електроенергії при експлуатації компресорної установки можна за рахунок регулювання струму збудження при зміні навантаження.

Під час добового максимуму СД повині працювати з перезбудженням, а у нічний час, при спаді активного та реактивного навантаження – у режимі недозбудження.

При певному навантаженні на валу оптимальний коефіцієнт потужності СД складає:

$$\cos \varphi_{\text{опт}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\alpha_{\text{опт}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_{\text{н}}}{\beta^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,635^2 \cdot 0,484^2}{1^2}}} = 0,956 \quad (7.5)$$

де $\alpha_{\text{опт}}$ – оптимальний коефіцієнт використання компенсуючої здатності:

$$\alpha_{\text{опт}} = \frac{K_{\text{деф}} \cdot Z_{\text{к}} \cdot Q_{\text{н.сд}} - D_1 \cdot m}{(2 \cdot D_2 \cdot m)} = \frac{1 \cdot 0,005 \cdot 775 - 4,25 \cdot 0,3173}{(2 \cdot 6,27 \cdot 0,3173)} = 0,635 \quad , \quad (7.6)$$

де - $K_{\text{деф}}$ – коефіцієнт дефіцитності, приймаємо згідно [9];

$Z_{\text{к}}$ – диференційний коефіцієнт, що враховує витрати на батареї конденсаторів 10 кВ;

$Q_{\text{н.сд}}$ – номінальна реактивна потужність СД:

$$Q_{\text{н.сд}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{н}}}{\beta} = \frac{630 \cdot 0,484}{1} = 304,92 \text{ квар}, \quad (7.7)$$

β – коефіцієнт завантаження СД;

D_1, D_2 – постійні величини, які показують втрати активної потужності, що викликана генерацією реактивної потужності, кВт;

m – вартість втрат електроенергії, грн.

Для інших значень β розрахунок оптимального коефіцієнту використання компенсуючої здатності і $\alpha_{\text{опт}}$ аналогічний і приведено у таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 - Розрахунок $\cos \varphi_{\text{опт}}$.

Параметр	β						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\alpha_{\text{опт}}$	2,1	1,61	1,28	1,05	0,878	0,74	0,64
$\cos \varphi_{\text{опт}}$	0,37	0,54	0,69	0,808	0,88	0,93	0,96

Регулювання струму збудження СД здійснюється за U -подібними характеристиками, які у відносних одиницях представлені в [11] .

Визначимо економію електроенергії, що отримується при зниженні завантаження компресора і зміні його струму збудження. Для цього на U -

подібних характеристиках визначимо точки, що відповідають потужності, яка споживається з мережі без регулювання і з врахуванням регулювання:

$$\Delta P = P_{\text{ст}} - P_{\text{ст,рег.}} = (0,73 - 0,71) \cdot 630 = 12,6 \text{ кВт} \quad (7.8)$$

Вартість річної економії електроенергії складає:

$$C = C_0 \cdot \Delta P \cdot \tau = 5,27 \cdot 10^{-3} \cdot 12,6 \cdot 2847,468 = 189,078 \text{ тис. грн.} \quad (7.9)$$

7.3 Заходи з економії електроенергії в електроприводі

В цьому розділі розглянемо: перевірку відповідності двигуна та навантаження (захід 1); донавантаження верстатів, що працюють з недовантаженням (захід 2); зміну з'єднання обмоток статора по схемі «трикутник - зірка» (захід 3); обмеження неробочого ходу двигунів (захід 4); використання регульованого електроприводу насосу (захід 5).

7.3.1. Перевірка відповідності двигуна та навантаження.

Захід 1. Споживання електроенергії електроприводами суттєво залежить від правильного вибору потужності двигуна під конкретне навантаження. Якщо застосовується двигун меншої потужності, він буде працювати з перевантаженням і швидше вийде з ладу. При встановленні двигуна більшої потужності спостерігатимуться нераціональні капітальні витрати, зниження ККД двигуна, споживання більшої реактивної потужності асинхронними двигунами. Для проведення такої перевірки на практиці визначається еквівалентний момент потрібного двигуна і порівнюється з номінальним моментом раніше обраного двигуна.

Приклад 1. Розглянемо відповідність навантаженню двигуна кранової установки формовочного цеху. Двигун асинхронний з фазним ротором тип *МТФ 311-6* потужність $P_{\text{ном}} = 13 \text{ кВт}$ при тривалості вмикання $TB = 25 \%$, швидкість обертання $n_{\text{ном}} = 935 \text{ об/хв.}$ Навантажувальну діаграму механізму підйому вантажа представлено на рис. 7.3.

Для перевірки відповідності встановленого двигуна обчислимо еквівалентний момент:

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

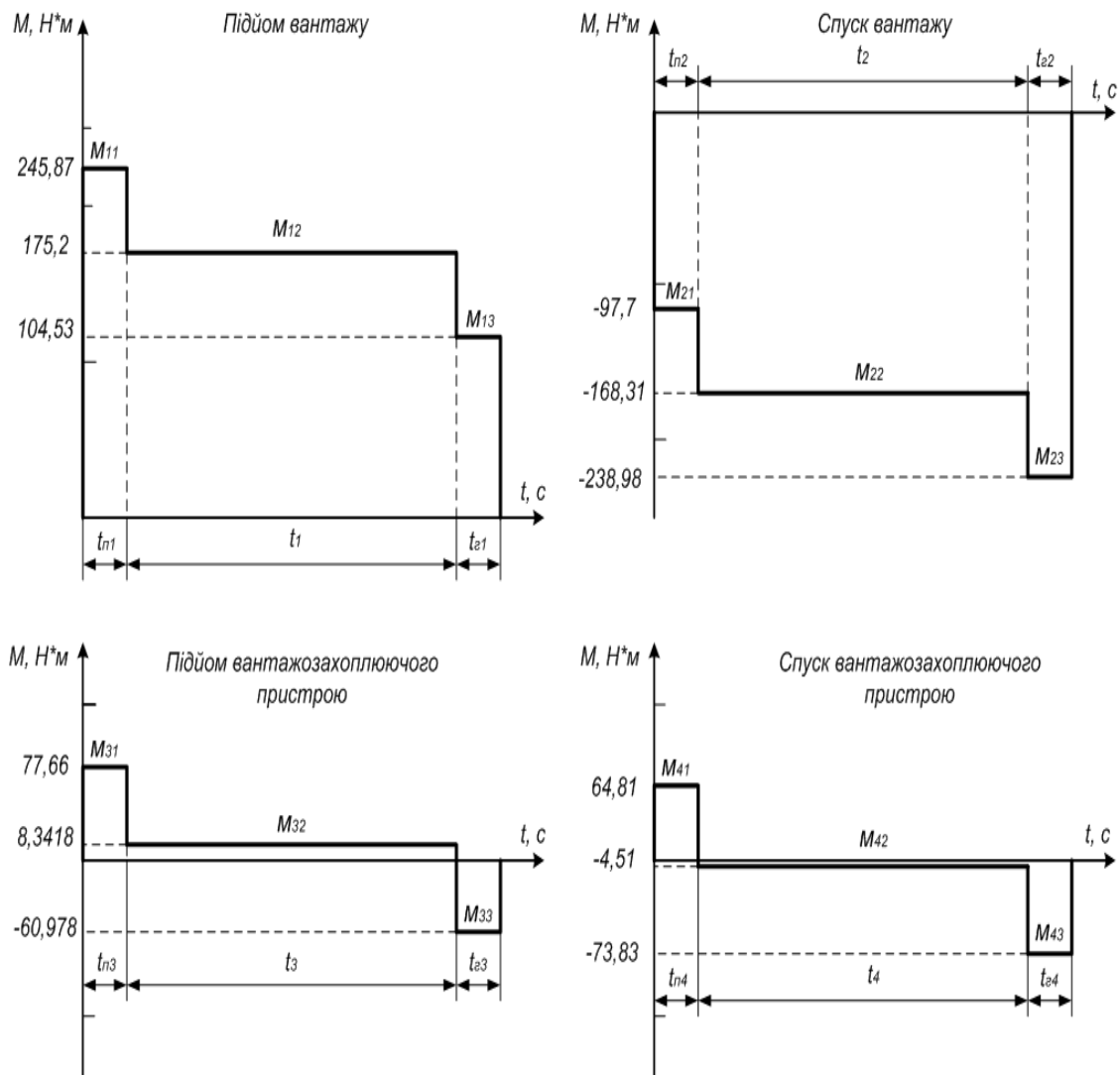


Рис.7.3 - Навантажувальні діаграми механізму підйому вантажа

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{\sum M_j^2 \cdot t_j}{\beta \cdot \sum (t_{ni} + t_{zi}) + \sum t_i}} = \sqrt{\frac{1,93616 \cdot 10^6}{127,5}} = 123,34 H \cdot m$$

де M_j - значення моментів двигуна із навантажувальної діаграми, Н · м ;

t_{ni}, t_i, t_{zi} - час дії моментів с;

$$\begin{aligned} \sum M_j^2 \cdot t_j &= 245,87^2 \cdot 0,915 + 175,2^2 \cdot 30,96 + 104,53^2 \cdot 0,915 + (-97,7)^2 \cdot 0,915 + \\ &+ (-168,31)^2 \cdot 0,915 + (-238,98)^2 \cdot 0,915 + 77,66^2 \cdot 0,915 + 8,342^2 \cdot 30,96 + \\ &+ (-60,978)^2 \cdot 0,915 + 64,81^2 \cdot 0,915 + (-4,51)^2 \cdot 30,96 + (-73,83)^2 \cdot 0,915 = \\ &= 1,939616 \cdot 10^6 (H \cdot m)^2 \cdot c \end{aligned}$$

$$\beta \cdot \sum (t_{ni} + t_{zi}) + \sum t_i = 0,5 \cdot (0,915 \cdot 8) + (30,96 \cdot 4) = 127,5 c ;$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	57

β - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження при пуску і гальмуванні,

$$\beta = 0,5-0,7.$$

Потужність двигуна:

$$P = M_{екв} \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 123,34 \cdot 97,91 \cdot 10^{-3} = 12,07 \text{ кВт}$$

$$\text{де } \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2\pi \cdot 935}{60} = 97,91 \text{ рад/с.}$$

Уточнене значення ТВ, %:

$$TB = \frac{\sum t_j}{T} \cdot 100 = \frac{123,84}{514,29} \cdot 100 = 24,07\%,$$

де $\sum t_j$ - сумарний робочий час за цикл:

$$\sum t_j = \sum t_{ni} + \sum t_{zi} + \sum t_j = 7,32 + 123,84 = 131,16 \text{ с.}$$

Обчислену потужність приводимо до каталожної (стандартної) тривалості вмикання:

$$P_{cm} = P \sqrt{\frac{TB}{TB_{cm}}} = 12,07 \cdot \sqrt{\frac{24,07}{25}} = 11,85 \text{ кВт.}$$

Отриману потужність P_{cm} порівнюємо з номінальною потужністю двигуна P_n . Якщо $P_n > P_{cm}$, то заздалегідь вибраний двигун за умовами нагрівання обраний правильно.

$$11,85 \text{ кВт} \leq 13 \text{ кВт. Умова виконується.}$$

Перевіряємо двигун на перевантажувальну здатність. Для цього обчислимо номінальний момент двигуна:

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n} = 9550 \cdot \frac{13}{935} = 132,78 \text{ Н·м,}$$

де P_n номінальна потужність обраного двигуна, кВт;

n_n - номінальна швидкість двигуна в об/хв.

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

За навантажувальними діаграмами визначимо максимальний момент, та проведемо перевірку двигуна за умовою перевантаження:

$$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = \frac{245,87}{132,78} = 1,85 \leq (0,8 \div 0,85) \cdot \frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{ном}}} = (0,8 \div 0,85) \cdot \frac{314}{132,78} = 1,89 \div 2,01$$

Умова виконується. Отже, встановлений двигун відповідає навантаженню кранової установки.

7.3.2. Збільшення навантаження двигунів, що працюють з недовантаженням.

Захід 2. Заміна малозавантажених двигунів доцільна у тих випадках, коли отримується зниження втрат енергії у двигуні, на який замінюють, і системі електропостачання, за умови допустимого терміну окупності. Розрахунки показують, що при коефіцієнті завантаження менше 0,4 у більшості випадків заміна малозавантажених двигунів є економічно доцільною, при коефіцієнті завантаження більше 0,7 – недоцільною, при значенні коефіцієнту у межах від 0,4 до 0,7 – потрібні додаткові техніко-економічні розрахунки [7].

Приклад 2. Розглянемо доцільність заміни двигуна верстата формовочного цеху 4A250 S4 УЗ потужністю $P_{\text{ном}} = 75$ кВт, який працює з навантаженням $P_{\text{нав}} = 36$ кВт. Для заміни запропоновано двигун серії АІР потужністю $P_{\text{ном}} = 45$ кВт: АІР 200 S4.

Коефіцієнт завантаження працюючого двигуна:

$$k_{31} = \frac{P_{\text{нав}}}{P_{\text{ном1}}} = \frac{36}{75} = 0,48.$$

Коефіцієнт завантаження запропонованого двигуна:

$$k_{32} = \frac{P_{\text{нав}}}{P_{\text{ном2}}} = \frac{36}{45} = 0,8.$$

Технічні характеристики двигунів наведено в таблиці 7.7.

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

Таблиця 7.7 - Технічні характеристики двигунів.

№	Тип двигуна	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$\eta_{\text{ном}},$ -	$\cos\varphi_{\text{ном}},$ -	$I_{\text{х.х.}},$ А	$\Delta P_{\text{х.х.}}^*,$ %
1	4A250 S4 У3	75	380	0,93	0,9	54,46	4,6
2	AIP 200 S4	45	380	0,925	0,89	33,22	4,7

Розраховуємо для двигуна 4A250 S4 У3 сумарні втрати активної потужності:

$$Q_{\text{хх1}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном1}} \cdot I_{\text{хх}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 54,46 = 35,84 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{ном1}} = \frac{P_{\text{ном1}} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{ном1}}}{\eta_{\text{ном1}}} = \frac{75 \cdot 0,48}{0,93} = 39,06 \text{ квар};$$

$$\gamma_1 = \frac{\Delta P_{\text{хх1}}^*}{((1 - \eta_{\text{ном1}}) \cdot 100 - \Delta P_{\text{хх1}}^*)} = \frac{4,6}{((1 - 0,93) \cdot 100 - 4,6)} = 1,917;$$

$$\Delta P_{\text{зб1}} = \frac{P_{\text{ном1}} \cdot (1 - \eta_{\text{ном1}})}{\eta_{\text{ном1}} \cdot (1 + \gamma_1)} = \frac{75 \cdot (1 - 0,93)}{(0,93 \cdot (1 + 1,917))} = 1,94 \text{ кВт.}$$

Приймаємо [7] коефіцієнт підвищення втрат $k_e = 0,125$.

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= [Q_{\text{х.х.1}} (1 - k_{\text{з1}}^2) + k_{\text{з1}}^2 Q_{\text{ном1}}] \cdot k_e + \Delta P_{\text{х.х.1}} + k_{\text{з1}}^2 \Delta P_{\text{зб1}} = \\ &= [35,84 \cdot (1 - 0,48^2) + 0,48^2 \cdot 39,06] \cdot 0,125 + 4,6 / 100 \cdot 75 + 0,48^2 \cdot 1,94 = 3,896 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Для двигуна AIP 200 S4 виконуємо аналогічні розрахунки, результати зведено до таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 – Результати розрахунків сумарних втрат активної потужності

№	Тип двигуна	$Q_{\text{х.х.}},$ квар	$Q_{\text{ном}},$ квар	$k_{\text{з}},$ -	$\gamma,$ -	$\Delta P_{\text{зб}},$ кВт	$\Delta P,$ кВт
1	4A250 S4 У3	35,84	39,06	0,48	1,917	1,94	3,896
2	AIP 200 S4	21,86	24,92	0,8	1,679	1,36	2,987

Знаходимо зниження втрат активної потужності після заміни двигуна 4A250 S4 У3 на АІР 200 S4:

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 3,896 - 2,987 = 0,909 \text{ кВт.}$$

Вартість економії електроенергії складе:

$$C = \Delta P \cdot \tau_{\max} \cdot C_0 = 0,909 \cdot 2847,468 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3} = 13,64 \text{ тис. грн.}$$

7.3.3. Зміна з'єднання обмоток статора асинхронного двигуна.

Захід 3. Одним з заходів зниження напруги, що підводиться до двигуна є зміна з'єднання обмоток статора, тобто з'єднання обмотки статора у «трикутник» замінюється на з'єднання «зірка». Це дає змогу знизити споживану реактивна потужність, зменшити втрати потужності у двигуні і, як наслідок, в елементах системи електропостачання електроприводу.

Приклад 3. Розглянемо застосування даного заходу на прикладі асинхронного двигуна АІР 180 М6 верстату формовочного цеху потужністю $P_{\text{ном}} = 18,5 \text{ кВт}$. Двигун працює з навантаженням $P_{\text{нав}} = 5,5 \text{ кВт}$ зі схемою «трикутника».

Технічну характеристику двигуна наведено в таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 – Технічна характеристика двигуна

№	Тип двигуна	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$\eta_{\text{ном}},$ -	$\cos \varphi_{\text{ном}},$ -
1	АІР 180 М6	18,5	220/380	0,895	0,85

Коефіцієнт завантаження двигуна:

$$k_z = \frac{P_{\text{нав}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{5,55}{18,5} = 0,3.$$

Такий коефіцієнт завантаження призводить до зменшення експлуатаційних ККД та $\cos \varphi$ (рис. 3.2.1 [7]): $\eta = 87 \%$, $\cos \varphi = 0,62$.

Для цього значення коефіцієнту завантаження двигуна вибираємо (табл. 3.2.5 [7]) співвідношення ККД: $\eta_Y/\eta_\Delta = 1,04$ та по табл. 3.2.6. [7] співвідношення $\cos\varphi$: $\cos\varphi_Y/\cos\varphi_\Delta = 1,435$.

Тоді, при переключенні на «зірку» збільшаться значення експлуатаційних ККД та $\cos\varphi$:

$$\eta_Y = 1,04 \cdot 0,87 = 0,9;$$

$$\cos\varphi_Y = 1,435 \cdot 0,62 = 0,89.$$

При з'єднанні обмоток статора двигуна у «зірку» втрати активної потужності в знизяться:

$$\Delta P = 0,3 \cdot 18,5 \cdot (1/0,87 - 1/0,9) = 0,212 \text{ кВт.}$$

Зменшиться споживання реактивної потужності:

$$\Delta Q = 0,3 \cdot 18,5 \cdot (1,265/0,87) - 0,3 \cdot 18,5 \cdot (0,892/0,9) = 1,224 \text{ квар.}$$

Економія електроенергії складе:

$$C = \Delta P \cdot \tau_{\max} \cdot C_0 = 0,212 \cdot 2847,468 \cdot 5,27 \cdot 10^{-3} = 3,181 \text{ тис. грн.}$$

Але слід звернути увагу, що при впровадженні цього заходу обмеження на навантаження двигуна складає 60 %.

7.3.4. Обмеження холостого ходу двигунів.

Захід 4. Одним з найбільш дієвих способів скорочення витрат електроенергії є встановлення обмежувачів холостого ходу електроприводів. Виявити доцільність цього заходу можна за допомогою діаграми визначення ефективності обмежувачів холостого ходу [7] або за розрахунковою формулою, яка встановлює максимальну тривалість холостого ходу електроприводу при перевищенні якої доцільно вимикати двигун [7]:

$$T_{xx} = \frac{J_\Sigma \cdot \omega_0}{M_{сер}} + \frac{J_\Sigma \cdot \omega_0^2 \cdot (1 + R_1/R_2') \cdot M_{сер}}{2k}, \quad (7.10)$$

де J_Σ – сумарний момент інерції частин електропривода, що рухаються; приведений до валу двигуна загальний момент інерції електропривода;

$$J_\Sigma = J_{дв} + J_{пр.ро},$$

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

де $J_{\text{дв}}$ – момент інерції ротора двигуна;

$J_{\text{пр.рО}}$ - приведений момент інерції робочого органа;

ω_0 – кутова швидкість обертання електроприводу;

$M_{\text{сер}}$ – середній пусковий момент електродвигуна;

R_1, R_2' - активні опори обмотки статора та приведений ротора;

K – втрати потужності, що є постійними для двигуна.

Проведемо оцінку доцільності цього заходу для електроприводів підприємства. Для цього потрібно зібрати дані по електроприводам: номінальна потужність, напруга, кількість пар полюсів, ККД, активні опори обмоток статора та ротора, момент інерції ротора, кратності пускового та критичного моменту, номінальне ковзання, кількість циклів роботи привода за годину.

Приклад 4. У якості прикладу розглянемо електропривод станку для розрізання дроту арматурного цеху з асинхронним двигуном АІР 132 М6 :

- номінальна потужність електроприводу $P_{\text{ном}} = 7,5$ кВт;
- активні опори обмотки статора $R_1 = 0,321$ Ом та приведений ротора $R_2' = 0,215$ Ом;
- номінальне ковзання $s_{\text{ном}} = 4\%$;
- кількість пар полюсів $p = 3$;
- номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}} = 85,5\%$;
- кратність пускового $\lambda_{\text{п}} = 2$ та критичного моменту $\lambda_{\text{кр}} = 2,2$.

Розраховуємо середній пусковий момент електродвигуна:

$$M_{\text{сер.}} = \frac{M_{\text{п}} + M_{\text{кр}}}{2} = \frac{\lambda_{\text{п}} \cdot M_{\text{ном}} + \lambda_{\text{кр}} \cdot M_{\text{ном}}}{2} = \frac{2,0 \cdot 72,93 + 2,2 \cdot 72,93}{2} = 153,16$$

Н·м,

де номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{ном.}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_{\text{ном}})} = \frac{7500}{104,72 \cdot (1 - 0,04)} = 72,93 \text{ Н·м,}$$
$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

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

Постійні втрати потужності:

$$K = \Delta P_{НОМ} - \Delta P_{ЗМ} = 1274,93 - 342,73 = 929,202 \text{ Вт},$$

де $\Delta P_{НОМ}$ - повні втрати в двигуні:

$$\Delta P_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot \frac{1 - \eta_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = 7500 \cdot \frac{1 - 0,855}{0,855} = 1274,93 \text{ Вт},$$

$\Delta P_{ЗМ}$ – змінні втрати в двигуні;

$$\Delta P_{ЗМ} = M_{НОМ} \cdot \omega_0 \cdot s_{НОМ} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = 72,93 \cdot 104,72 \cdot 0,04 \cdot (1 + 0,06 / 0,04) = 342,73$$

Максимальний час холостого ходу:

$$T_{xx} = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}{M_{сер}} + \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0^2 \cdot (1 + R_1 / R_2') \cdot M_{сер}}{2k} =$$

$$= \frac{0,398 \cdot 104,72}{153,16} + \frac{0,398 \cdot 104,72^2 \cdot (1 + 0,06 / 0,04)}{2 \cdot 929,202} = 8,84 \text{ с},$$

$$\text{де } J_{\Sigma} = J_{ДВ} + J_{ПР.РО} = 0,058 + 0,34 = 0,398.$$

В загальних рекомендаціях [7] зазначено, що при тривалості періоду xx вище 10 с, вже доцільно вимикати двигун з метою заощадження електроенергії.

Оцінимо можливу економію електроенергії. Для цього визначимо показник рівня енергоефективності (ϵ), попередньо розрахувавши коефіцієнти a та b та скориставшись діаграмою на рис.3.2.2 [7].

$$a = \frac{P_0}{P_{НОМ}} = \frac{1900}{7500} = 0,253,$$

$$b = \frac{1}{4T_H} = \frac{1}{4 \cdot 18} = 0,014,$$

де P_0 – потужність холостого ходу;

T_H – середня тривалість холостого ходу;

Z – значення циклів за годину.

Економія електричної енергії складе [7]:

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

$$\Delta W = \varepsilon \cdot z \cdot P_{\text{ном}} \cdot \frac{T_H}{3600} = 0,218 \cdot 41 \cdot 7,5 \cdot \frac{18}{3600} = 0,335175 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{год}$$

Вартість заощадженої електроенергії:

$$C = C_0 \cdot \Delta W \cdot \tau_{\text{max}} = 5.27 \cdot 0.335175 \cdot 2847 = 5.028 \text{ тис.грн}$$

Для двигунів потужністю 11 кВт та 55 кВт розрахунки виконуються аналогічно, вихідні дані для розрахунків представлено в таблиці 7.10 та результати в таблиці 7.11.

Таблиця 7.10 – Параметри асинхронного електроприводу для розрахунків обмежувачів ХХ.

$P_{\text{ном}},$	$p,$	$S_{\text{ном}},$	$\eta_{\text{ном}},$	$R_1,$	$R_2',$	$\lambda_{\text{п}},$	$\lambda_{\text{кр}},$	$J_{\text{рот}},$	$P_0,$	$T_H,$	$Z,$
кВт	-	-	-	Ом	Ом	-	-	кг·м ²	кВт	с	цикл/год
AIP 132 M6											
7,5	3	0,04	0,855	0,321	0,215	2,0	2,2	0,058	1,9	18	41
AIP 132 M2											
11	1	0,03	0,88	0,236	0,189	1,6	2,2	0,023	2,6	21	26
AIP 225 M2											
55	1	0,02	0,925	0,118	0,098	1,8	2,6	0,64	5,4	14	27

Таблиця 7.11 – Результати перевірки ефективності обмежувачів ХХ.

ω_0	$\omega_{\text{ном}}$	$M_{\text{ном}},$	$\Delta P_{\text{ном}}$	$\Delta P_{\text{зм}},$	$K,$	$J_{\text{зв}},$	$M_{\text{ср}},$	$T_{\text{хх}},$	$a,$	$\phi,$	$\varepsilon,$	$\Delta W,$	$C,$
рад/с	рад/с	Н·м	Вт	Вт	Вт	кг·м ²	Н·м	с	-	с ⁻¹		кВт·год /год	грн
AIP 132 M6													
104,72	102,83	72,93	1274,93	342,73	929,202	0,0696	153,16	8,84	0,25	0,014	0,218	0,335	5029
AIP 132 M2													
314,16	304,73	36,09	1500	765,01	734,99	0,0276	68,58	11,37	0,218	0,025	0,18	0,363	5446
AIP 225 M2													
314,16	307,88	178,64	4459,5	2473,9	1985,49	0,264	393,02	44,4	0,102	0,018	0,09	0,578	8664
Всего												1,276	19139

Загальна вартість заощадженої електроенергії по трьом верстатам: 19,139 тис.грн.

7.3.5. Економія електроенергії з використанням регульованого електроприводу насосу.

Захід 5. Оцінимо доцільність застосування частотного регулювання швидкості обертання ротору для насосного агрегату котельної, де встановлено відцентровий моноблочний насос марки НКР-Г 65-250/263/5,5/4.

Потужність електродвигуна 5,5 кВт. Номінальна продуктивність насосу $Q_{\text{ном}} = 65 \text{ м}^3/\text{год}$.

Приклад 5. Протягом доби продуктивність насосу змінюється відповідно до графіку, який зображено на рис. 7.4.

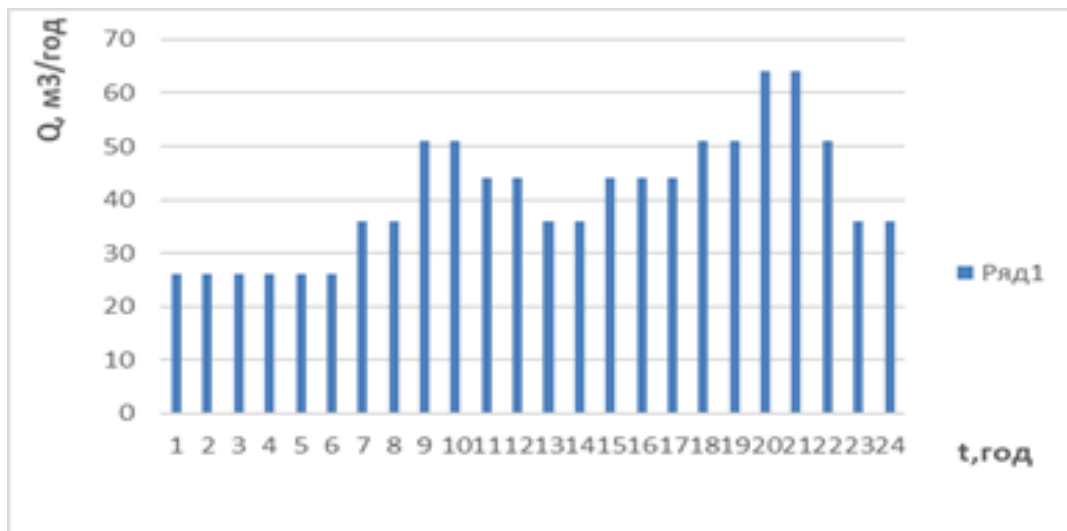


Рис. 7.4 – Зміна продуктивності насосу протягом доби.

При зменшенні споживання води, регулювання продуктивності можна здійснювати за рахунок дроселювання або зміною швидкості обертання двигуна. Як відомо [7], другий спосіб є більш економічним. Для проведення аналізу скористаємося графіком (рис.7.5), на якому приведені дані про спожиту потужність електроприводом відцентрового насоса при дросельному та частотному регулюванні в залежності від витрат рідини та статичного напору у відносних одиницях [7].

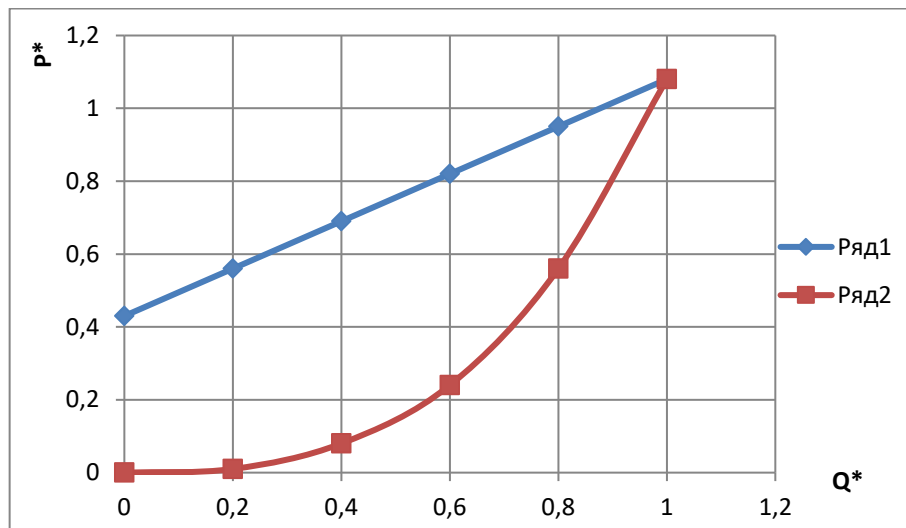


Рис. 7.5 - Споживання потужності електроприводом відцентрового насосу при дросельному і при частотному регулюванні в залежності від витрати рідини та статичного напору

Згідно з графіком водоспоживання витрата води у період часу з 0 годин до 1 год складає 26 м³/год, у відносних одиницях 26/64=0,41. За графіком визначаємо різницю між спожитою потужністю при дросельному та частотному регулюванні, яка складає 0,71-0,16=0,55.

Потужність, що споживається двигуном насоса:

$$P_1 = \frac{P_{\text{мех}}}{\eta_1} = \frac{5,5}{0,7} = 7,86 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{мех}} = M_c \cdot \omega = 0,035 \cdot 157 = 5,5 \text{ кВт};$$

$$M_c = M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{5,5}{157} = 0,035 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $P_{\text{мех}}$ - потужність на валу двигуна насоса; M_c - статичний момент навантаження на валу двигуна; η_1 - ККД двигуна.

Тоді економія потужності складає 0,55·7,86=65,57 кВт. Для інших сходинок графіку водоспоживання розрахунки виконуються аналогічно і зведені в таблицю 7.12.

Таблиця 7.12 - Розрахункова економія електроенергії, що споживається насосним агрегатом при різних способах регулювання роботи.

Час	Q , м³/год	Q^*	P^* (дрос)	P^* (част)	ΔP^*	W , кВт·год	C , грн
0-1	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
1-2	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
2-3	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
3-4	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
4-5	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
5-6	26	0,41	0,71	0,16	0,55	4,323	22,869
6-7	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
7-8	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
8-9	51	0,8	0,97	0,6	0,37	2,908	15,384
9-10	51	0,8	0,97	0,6	0,37	2,908	15,384
10-11	44	0,69	0,9	0,35	0,55	4,323	22,869
11-12	44	0,69	0,9	0,35	0,55	4,323	22,869
12-13	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
13-14	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
14-15	44	0,69	0,9	0,35	0,55	4,323	22,869
15-16	44	0,69	0,9	0,35	0,55	4,323	22,869
16-17	44	0,69	0,9	0,35	0,55	4,323	22,869
17-18	51	0,8	0,97	0,6	0,37	2,908	15,384
18-19	51	0,8	0,97	0,6	0,37	2,908	15,384
19-20	64	1	1,08	1,08	0	0,000	0,000
20-21	64	1	1,08	1,08	0	0,000	0,000
21-22	51	0,8	0,97	0,6	0,37	2,908	15,384
22-23	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
23-24	36	0,56	0,77	0,18	0,59	4,637	24,532
						89,918	475,668

Вважаємо, що зміна потужності протягом 1 години незначна, за таблицею 7.12 можна розрахувати економію добового споживання електроенергії при переході на частотне регулювання. З виконаних розрахунків можна зробити висновок, що добова економія електроенергії при частотному регулюванні склала 89,918 кВт*год. При вартості електроенергії $C_0 = 5,27$ грн/кВт·год отримаємо вартість добової економії: $89,918 \cdot 5,27 = 475,668$ грн. Якщо не враховувати зміну витрат води у вихідні дні, а також сезонні зміни її витрат, можна оцінити річну економію енергії у 173,618 тис.грн.

Основні заходи по впровадженню електрозбереження в електроприводі на підприємстві та оцінка економічного ефекту приведені в таблиці 7.13.

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

При реалізації конкретних проектів застосовується, як правило, не один, а декілька можливих шляхів електрозбереження, тому для отримання максимального ефекту необхідний комплексний підхід до рішення задачі електрозбереження в електроприводі.

В результаті проведеного аналізу на підприємстві були виділені групи електроприймачів, що потребують впровадження певного заходу з енергозбереження, оптимального за умовами технологічного процесу.

Для таких споживачів, що потребують регулювання швидкості обертання був застосований регульований електропривод. До таких технологічних механізмів відносяться насоси, вентилятори, транспортери. Для малозавантажених двигунів, що не потребують регулювання швидкості обертання розглянуті варіанти заміни на двигун меншої потужності або зниження напруги на затискачах двигуна. Запропоновано застосування пристроїв обмеження холостого ходу. Для високовольтних синхронних двигунів застосовується регулювання струму збудження. Загальна економія електроенергії по запропонованим заходам склала 435,84 грн.

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

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційної роботі розроблена система електропостачання заводу залізобетонних виробів.

Визначено повне розрахункове навантаження заводу, яке дорівнює $S_p = 4,727$ МВА. Побудовані графіки електричних навантажень заводу на підставі яких розраховано час використання максимуму енергосистеми $T_m = 4461$ год., час найбільших втрат $\tau = 2847$ год. Побудована картограма електричних навантажень з визначенням умовного ЦЕН з координатами $x_0 = 173,72$ м, $y_0 = 94,13$ м.

Проведено порівняння схем зовнішнього електропостачання, яке показало різницю приведених витрат варіантів живлення на напругу 10 кВ та 35 кВ менше 1%. Тоді, з врахуванням перспектив розвитку заводу і меншої плати за спожиту електроенергію прийнято варіант живлення напругою 35 кВ з встановленням ГЗП.

Розрахунок режимів реактивної потужності показав доцільність використання високовольтних двигунів. Потужність яку вони генерують для КРП становить 774 квар, додатково встановлено низьковольтні конденсаторні батареї потужністю 1950 квар.

Вибрані трансформаторні підстанції. На ГЗП встановлено 2 трансформатори потужністю 4 МВА типу ТМН-4000/35 та цехові трансформаторні підстанції типу КТП - 630/10/0,4 (чотири двотрансформаторні та одна однострансформаторна) з трансформаторами ТМГФ.

Електропостачання ГЗП здійснюється кабельними лініями АПвЕВ – 35 (3х70) довжиною $L = 3,4$ км напругою 35 кВ. Електропостачання цехових підстанцій здійснюється кабельними лініями ААШв (3х50) по радіальній схемі.

На підставі розрахунків струмів короткого замикання вибрано та перевірено високовольтне обладнання. На стороні 35 кВ встановлено вимикачі типу ВБЗЕ–35, на стороні 10 кВ до встановлення прийняти вакуумні вимикачі ВР1-20.

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В спеціальному розділі роботи проведені дослідження ефективності споживання електричної енергії на ЗЗВ. Проаналізовано, що основними електроспоживачами на підприємстві являються 4 високовольтні компресори 630 кВт, низьковольтні електродвигуни: верстатів, бетономішалок, насосів, вентиляторів та транспортерів.

Для компресорних установок запропоновано зменшення втрат електричної енергії за рахунок ліквідації витоків повітря, удосконалення системи регулювання струму збудження.

Для низьковольтного електроприводу було виконано перевірку відповідності працюючого двигуна навантаженню, застосовано заміну мало навантажених двигунів, перемикання схеми з'єднання обмотки статора з «трикутника» на «зірку», встановлення пристроїв обмеження холостого ходу. Вартість заощадженої електроенергії склала 436 тис.грн.

Крім запропонованих технічних заходів розглянуті також організаційно-методичні, що не потребують суттєвих капіталовкладень, тобто для отримання максимального ефекту застосовано комплексний підхід до рішення задачі електрозбереження в електроприводі.

Потрібно відзначити, що спроектована система електропостачання заводу залізобетонних виробів задовольняє вимогам безпеки обслуговування, надійності та економічності.

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок., видання третє, перероблене і доповнене. Мінпаливенерго 2010 р. -736 с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів / Державний нормативний акт про охорону праці, Київ 1998.
3. Плєшков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування.- Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2007.
4. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плєшков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В.] ;– Харків: ТОВ «Цифра Принт», 2018.– 242с.
5. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плєшков П. Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А.І., Величко Т.В., Плєшков С.П.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т.- Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2021.-209 с.
6. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плєшков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плєшков, С.В. Серебренніков, В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
8. Компресорні установки [Текст]: навч. посібник / М.В. Холоменюк – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.
9. Компресорні станції : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 385 с.

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

10. Енергозбереження в компресорних системах : навчальний посібник / С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 147 с.
11. Компресорні станції та компресорні установки: навчальний посібник / О. Г. Федоров . – Одеса : Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики, 2013. – 130 с.
12. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95с.
- 13.Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.-К:Кондор, .-408 с.2005
14. 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.

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

Додаток А. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

Таблиця А.1 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіль-ть ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт				m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт, квар		n _е	Км	Розрахункова потужність, кВт, квар, кВА		
			Одного			Сумарна					P _{зм}	Q _{зм}			P _p	Q _p	S _p
1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Формовочний цех																
	Верстати	17	5	-	55	560		0,2	0,65	1,17	112	131					
	Малярка	16	5	-	8	120		0,5	0,55	1,52	60	91,2					
	Вентилятори	8	2	-	10	30		0,5	0,5	1,73	15	26					
	Кран	2	5	-	11	16		0,1	0,5	1,73	1,6	2,77					
	Верстати	9	5	-	90	662,5		0,24	0,6	1,33	159	211,09					
	Підйомник	2	15	-	15	30		0,3	0,6	1,33	9	11,98					
	Всього по цеху	54	5	-	90	1412,5	>3	0,25	0,6	1,33	356	473	31,4	1,29	459,24	473	659,3
2	Арматурний цех																
	Бетономішалки	30	15	-	50	350		0,36	0,8	0,75	126	93,8					
	Бетоноукладчик	5	20	-	20	100		0,3	0,8	0,75	30	22,5					
	Формовочні машини	5	40	-	40	200		0,25	0,8	0,75	50	37,5					
	Станки для розрізання дроту	3	7,5	-	20	50		0,3	0,7	0,91	15	13,65					
	Кран	2	25	-	25	50		0,1	0,5	1,73	5	8,65					
	Вентилятори	5	3	-	5	18,5		0,4	0,5	1,73	7,4	12,8					
	Всього по цеху	50	3	-	50	768,5	>3	0,31	0,78	0,81	233,4	188,9	31	1,24	289,42	216,6	361,49
3	Бетонозмішувальний цех																
	Бетономішалки	4	15	-	17,5	62,5		0,4	0,8	0,75	25	18,75					
	Вентилятори	5	2	-	2	10		0,6	0,5	1,73	6	10,38					
	Всього по цеху	9	2	-	17,5	72,5	>3	0,43	0,73	0,94	31	29,13	8	1,48	45,88	32,04	55,96
4	Лісопилка з сорт майд.																
	Електропили	8	15	-	25	100		0,4	0,6	1,17	40	46,8					
	Верстати	7	5,5	-	10	40		0,15	0,5	1,73	6	10,38					
	Транспортери	10	5	-	15	100		0,5	0,8	0,75	50	37,5					
	Вентилятори	7	1	-	10	60		0,6	0,8	0,75	36	27					
	Всього по цеху	32	1	-	25	300	>3	0,44	0,74	0,92	132	121,68					
5	Розкряжувальна ст-ція																

Продовження таблиці А.1.

1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Окорочне устаткування	6	5	-	15	85		0,4	0,8	0,75	34	25,5					
	Лебідка	2	10	-		20		0,3	0,45	1,65	6	9,9					
	Транспортери	3	10	-	15	35		0,3	0,7	0,65	10,5	6,8					
	Вентилятори	5	10	-	15	50		0,6	0,8	0,75	30	22,5					
	Всього по станції	16	5	-	15	190	3	0,42	0,78	0,80	80,5	64,7	16	1,27	102,24	64,7	120,9
6	Лісосушильний цех																
	Електричні печі опору	2	30		30	60		0,6	0,6	1,17	36	42,12					
	Візки	8	3	-	15	68		0,15	0,5	1,73	10,2	17,3					
	Насоси	5	15	-	20	80		0,4	0,6	1,17	32	37,44					
	Вентилятори	5	1	-	5	21		0,6	0,8	0,75	12,6	9,45					
	Всього по цеху	20	1	-	30	229	>3	0,4	0,6	1,17	90,8	106,61	15	1,27	115,3	106,61	157,05
7	Котельня																
	Насоси	8	10	-	10	80		0,6	0,8	0,75	48	36					
	Насоси	8	5,5	-	80	120		0,8	0,8	0,75	96	72					
	Вентилятори	5	10	-	25	80		0,4	0,7	1,02	32	32,6					
	Всього по котельні	21	10	-	25	280	2,5	0,63	0,8	0,75	176	140,6	21	1,148	202,95	140,6	246,15
8	РМЦ	36	3,5	-	19,6	334	>3	0,16	0,53	1,59	55,48	88,31	17	1,74	96,54	88,31	130,83
9	Адміністративний корпус	15	1	-	15	250	>3	0,8	0,8	0,75	200	150	15	1,07	214	150	261,3
10	Біржа круглого лісу																
	Бревностаски	6	10	-	10	60		0,5	0,75	0,88	30	26,4					
	Транспортери	6	3	-	10	50		0,4	0,5	1,73	20	34,6					
	Кран	4	10	-	10	40		0,1	0,6	1,17	4	4,68					
	Всього по біржі	16	3	-	10	150	>3	0,36	0,64	1,22	54	65,68	16	1,35	72,9	65,68	98,12
11	Склад арматурної сталі	12	1	-	15	172,5	>3	0,3	0,6	1,33	51	56,59	12	1,52	77,52	56,59	95,98
12	Склад готової продукції	6	5	-	10	50	2	0,3	0,8	0,75	15	11,25	6	1,88	28,2	12,38	30,79
13	Склад заповнювачів	15	5	-	46	176	>3	0,5	0,66	1,15	87,84	101,12	8	1,4	122,98	111,23	165,82
14	Склад цементу №1	5	1	-	5	17	>3	0,64	0,75	0,88	10,85	9,55	5	1,34	14,54	10,51	17,94
15	Градишня																
	Насоси	10	15	-	25	80		0,6	0,6	1,15	48	55,2					
	Вентилятори	6	1	-	5	10		0,6	0,75	0,88	6	5,28					

Продовження таблиці А.1.

1	2	3	4			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по градирні	16	10	-	25	90	>3	0,6	0,67	1,12	54	60,48	7,2	1,32	71,28	66,53	
16	Отепľувальний басейн																
	Електронагрівачі	3	20	-	20	60		0,6	0,8	0,75	36	27					
	Насоси	2	10	-	15	25		0,8	0,4	1,83	20	15					
	Всього по басейну	5	10	-	20	85	>3	0,66	0,8	0,75	56	42	5	1,34	75,04	46,2	120,9
17	Склад пиломатеріалів	7	10	-	20	70	2	0,21	0,5	1,73	15	25,85	5	2,0	30	28,6	41,9
18	Мазутозберігання	7	3	-	8	40	2,7	0,4	0,84	0,63	27	16,99	7	1,58	42,66	18,7	46,6
19	Адміністративний корпус	15	1	-	15	250	>3	0,8	0,8	0,75	200	150	15	1,07	214	150	261,3
20	Пожежне депо	6	5	-	15	50	3	0,48	0,74	0,89	24	21,24	6	1,52	36,48	23,36	43,32
21	Циклон	4	10	-	10	40	2	0,6	0,8	0,75	32	24	4	1,43	45,76	26,4	
22	Насосна станція																157,05
	Насоси	2	125	-	125	250		0,8	0,8	0,75	200	150					
	Насоси	1	160	-	160	160		0,8	0,8	0,75	128	96					
	Вентилятор	2	10	-	15	25		0,64	0,8	0,75	16	12					
	Всього по станції	5	10	-	160	435	>3	0,79	0,8	0,75	344	258	5	1,12	385,28	283,8	478,52
23	Резервуар води	7	5	-	10	55	2	0,6	0,8	0,75	33	24,75	4	1,33	43,89	27,23	51,65
24	Насосна пожежогасіння	5	90	-	90	450	1	0,65	0,8	0,75	292,5	219,4	5	1,35	394,9	241,3	462,8
25	Насосна каналізації	5	10	-	10	50	1	0,64	0,8	0,75	32	24	5	1,35	43,2	26,4	50,63
26	Столова	30	1	-	30	170	>3	0,6	0,9	0,48	102	49	12	1,23	125,5	49	134,7
27	Склад смоли і фарб	5	5	-	5	25	>3	0,6	0,75	0,88	15	13,2	5	1,41	21,15	14,52	25,65
28	Склад готової продукції	5	10	-	10	50	1	0,4	0,77	0,83	20	16,5	5	1,76	35,2	18,15	39,6
29	Станція перекачки конденсату	30	5	-	15	322	3	0,77	0,79	0,77	249,6	191,36	30	1,05	262,08	191,36	324,5
30	Склад інструмента	4	1	-	10	15	>3	0,3	0,68	1,08	4,5	4,84	4	2,14	9,63	5,32	11,00
31	Склад цементу	5	1	-	5	15	>3	0,57	0,8	0,75	8,6	6,45	5	1,47	12,64	7,09	14,49
	Всього по заводу	453	1	-	160	6364	>3	0,45	0,74	0,90	2883,1	2605,2	81	1,09	3142,58	2605,2	4082,02
	Освітлення														543,48	515,12	748,81
	Всього по 0,4 кВ														3686,06	3120,32	4829,4

Додаток Б. Розрахунок освітлювальних навантажень заводу
Таблиця Б.1 - Розрахунок освітлення

№	Найменування	F,м ²	p ₀ ,Вт/м ²	P _в ,кВт	K ₁	K _с	cosφ/ tgφ	P _р ,кВт	Q _р ,квар	S _р ,кВА
1	Арматурний цех	5899	16	94,38	1,2	0,9	0,9/0,48	101,93	48,93	113,07
2	Формовочний цех	6729	16	107,66	1,2	0,9	0,9/0,48	116,27	55,8	128,97
3	Склад арматурної сталі	706	6	4,24	1,12	0,85	0,5/1,73	4,03	6,97	8,05
4	Бетонозмішувальний цех	175	14	2,45	1,12	0,9	0,5/1,73	2,47	4,27	4,93
5	Склад готової продукції 1	5598	6	33,6	1,12	0,85	0,5/1,73	31,99	55,34	63,92
6	Компресорна	408	12	4,9	1,12	0,9	0,5/1,73	4,94	8,54	9,87
7	Склад заповнювачів	1386	6	8,32	1,12	0,85	0,5/1,73	7,92	13,7	15,82
8	Склад цементу	63	6	0,38	1,12	0,85	0,5/1,73	0,36	0,63	0,73
9	Градирия	19	12	0,23	1,12	0,85	0,5/1,73	0,22	0,38	0,44
10	Біржа круглого лісу	4968	14	69,55	1,12	0,85	0,5/1,73	66,21	114,55	132,31
11	Отеплювальний басейн	1223	14	17,12	1,12	0,9	0,5/1,73	17,25	29,85	34,48
12	Лісопильний цех з сортмайданом	2549	16	40,78	1,2	0,9	0,9/0,48	44,04	21,14	48,85
13	Склад пиломатеріалів	1658	16	26,53	1,12	0,85	0,5/1,73	25,25	43,69	50,46
14	Розкрязувальна станція	34	14	0,48	1,2	0,9	0,9/0,48	0,52	0,25	0,58
15	Лісосушильний цех	2261	16	36,18	1,2	0,9	0,9/0,48	39,07	18,75	43,34
16	Котельня	639	6	3,83	1,2	0,9	0,9/0,48	4,14	1,98	4,59
17	Мазутозбереження	534	6	3,2	1,12	0,85	0,5/1,73	3,05	5,27	6,09
18	Адміністративний корпус	738	20	14,76	1,2	0,9	0,9/0,48	15,94	7,65	17,68
19	Пожежне депо	10	6	0,06	1,2	0,85	0,9/0,48	0,061	0,03	0,07
20	Циклон	111	6	0,67	1,12	0,85	0,5/1,73	0,64	1,1	1,27
21	Насосна станція II підйому	159	12	1,91	1,12	0,9	0,5/1,73	2,14	3,7	4,27
22	Резервуар для води	1357	6	8,14	1,12	0,85	0,5/1,73	7,75	13,4	15,48
23	Насосна пожежогасіння	54	12	0,65	1,12	0,85	0,5/1,73	0,73	1,26	1,46
24	Насосна каналізації	81	6	0,49	1,12	0,85	0,5/1,73	0,47	0,81	0,94
25	Столова	356	14	4,98	1,2	0,9	0,9/0,48	5,38	2,58	5,97
26	Склад смоли та фарб	36	6	0,22	1,12	0,85	0,5/1,73	0,21	0,36	0,42
27	Склад готової продукції 2	834	6	5,0	1,12	0,85	0,5/1,73	4,76	8,23	9,51
28	РМЦ	840	14	11,76	1,2	0,9	0,9/0,48	12,7	6,09	14,08
29	Станція перекачування конденсату	57	6	0,34	1,12	0,9	0,5/1,73	0,34	0,59	0,68
30	Склад інструмента	420	6	2,52	1,12	0,85	0,5/1,73	2,39	4,15	4,79
31	Склад цементу	63	6	0,38	1,12	0,85	0,5/1,73	0,36	0,63	0,73
32	Територія заводу	178100	0,1	17,81	1,12	1	0,5/1,73	19,95	34,5	39,85
	Всього							543,481	515,12	748,81

Додаток В. Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В

Таблиця В.1 - Розрахунок електричних навантажень в мережі вище 1000 В

Найменування підрозділу	п	Потужність ЕП, кВт		m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє навантаження кВт		n_e	Км	Розрахункове навантаження, кВт		
		одного	всього					$P_{зм}$	$Q_{зм}$			P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП 1														
1.Склад пиломатеріалів														
силове	7	10-20	70	2	0,21	0,5	1,73	15	25,85	5	2,0	30	28,6	41,4
освітлювальне												25,25	43,69	
Всього по складу												55,25	72,29	90,98
2.Насосна станція 2 під.														
силове	15	10-160	435	>3	0,79	0,8	0,75	344	258	5	1,12	385,28	283,8	478,5
освітлювальне												2,14	3,7	
Всього по станції												387,42	287,5	482,4
3.Резервуар для води														
силове	7	5-10	55	2	0,6	0,8	0,75	33	24,75	7	1,33	43,89	27,23	51,65
освітлювальне												7,75	13,4	
Всього по резервуару												51,64	40,63	65,7
4.РМЦ														
силове	36	3,5-19,6	334	>3	0,16	0,53	1,59	55,48	88,31	17	1,74	96,54	88,31	130,84
освітлювальне												12,7	6,09	
Всього по РМЦ												109,24	94,4	144,4
5.Склад інструмента														
силове	4	1-10	15	>3	0,3	0,68	1,08	4,5	4,84	4	2,14	9,63	5,32	11,00
освітлювальне												2,39	4,15	
Всього по складу												12,02	9,47	15,3
6.Біржа круглого лісу														
освітлювальне												66,21	114,55	
Всього по біржі												139,11	180,23	227,7
Освітлення території												19,95	34,5	
На шинах 0,4кВ														
силове	85	1-160	1059	>3	0,48	0,735	0,93	505,98	467,43	13	1,28	646,88	467,43	798,1

Apk.	80
------	----

Apk.	81
------	----

Продовження таблиці В.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
силове	30	5-15	322	3	0,77	0,79	0,77	249,6	191,36	30	1,05	262,08	191,36	324,51
освітлювальне												0,34	0,59	
Всього по станції												262,42	191,95	325,1
На шинах 0,4кВ														
силове	76	1-30	582	>3	0,7	0,8	0,74	405,6	300,84	39	1,08	438,04	300,84	531,4
освітлювальне												5,94	3,55	
Всього												443,98	304,39	538,3
КУ													-150	
З урахуванням КУ												443,98	154,39	470,06
Втрати в трансформа-торах (1х630кВА)												4,93	30,8	
Всього на шинах 10кВ ТП 3												448,91	185,19	485,61
ТП 4														
1. Формовочний цех														
силове	54	5-90	1412,5	>3	0,25	0,6	1,33	356	473	31,4	1,29	459,24	473	659,27
освітлювальне												116,27	55,8	
Всього по цеху												575,51	528,8	781,56
2.Лісосушильний цех														
силове	20	1-30	229	>3	0,4	0,6	1,17	90,8	106,61	15	1,27	115,3	106,61	157,03
освітлювальне												39,07	18,75	
Всього по цеху												154,37	125,36	198,86
3.Адміністративний кор.														
силове	15	1-5	250	>3	0,8	0,8	0,75	200	150	15	1,07	214	150	261,34
освітлювальне												15,94	7,65	
Всього по корпусу												229,94	157,65	278,8
4.Циклон														
силове	4	10	40	1	0,6	0,8	0,75	32	24	8	1,43	45,76	26,4	52,83
освітлювальне												0,64	1,1	
Всього по циклону												46,4	27,5	53,9
5.Освітлення території														
На шинах 0,4кВ														
силове	93	1-90	1931,5	>3	0,35	0,65	1,15	678,8	753,61	43	1,17	794,2	753,61	1094,8
освітлювальне												171,92	83,3	
Всього												966,12	836,91	1278,2

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

82

Арк.

Продовження таблиці В.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
КУ													-800	
З урахуванням КУ												966,12	36,91	966,82
Втрати в трансформа-торах (2х630кВА)												12,88	78,16	
Всього на шинах 10кВ ТП4												979	115,07	985,73
ТП 5														
1.Лісопилний цех														
силове	32	1-25	300	>3	0,44	0,74	0,92	132	121,68	24	1,19	157,08	121,68	198,69
освітлювальне												44,04	21,14	
Всього по цеху												201,12	142,82	246,7
2.Котельня														
силове	21	10-25	280	2,5	0,63	0,8	0,75	176	140,6	21	1,148	202,05	140,6	246,15
освітлювальне												4,14	1,98	
Всього по котельні												206,19	142,58	250,7
3.Мазутозберігання														
силове	7	3-8	40	2,7	0,4	0,84	0,63	27	16,99	7	1,58	42,66	18,7	46,6
освітлювальне												3,05	5,27	
Всього												45,71	23,97	51,61
4.Пожежне депо														
силове	6	5-15	50	3	0,48	0,74	0,89	24	21,24	6	1,52	36,48	23,36	43,32
освітлювальне												0,06	0,03	
Всього по депо												36,54	23,39	43,39
5.Насосна пожежогасіння														
силове	5	90	450	1	0,65	0,8	0,75	292,5	219,4	5	1,35	394,9	241,3	462,8
освітлювальне												0,73	1,26	
Всього по насосній												395,63	242,56	464,1
6.Насосна каналізації														
силове	5	10	50	1	0,64	0,8	0,75	32	24	5	1,35	43,2	26,4	50,63
освітлювальне												0,47	0,81	
Всього по насосній												43,67	27,21	51,45
7.Склад цементу														
силове	5	1-5	15	>3	0,57	0,8	0,75	8,6	6,45	5	1,47	12,64	7,09	14,49
освітлювальне												0,36	0,63	
Всього по складу												13	7,72	15,1

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Apk.	84
------	----