

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 ПЛІШКОВ
“ ____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання холодокомбінату»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-20,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Костянтин АНТОНОВ
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
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 Плешков

«___» _____ 2024 р.

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

Антонова Костянтина Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Розроблення системи електропостачання холодокомбінату.
Development of a power supply system for a cold storage plant»

2. Керівник роботи (проекту) Козловський Олександр Антонович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 31.05.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи
електропостачання холодокомбінату згідно сучасних вимог надійності,
економічності та заходів з електрозбереження.

1. Вступ. 2. Розрахунок електричних навантажень. 3. Картограма електричних
навантажень. 4. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та
внутрішнього електропостачання. 5. Компенсація реактивної потужності.
6. Трансформаторні підстанції. 7. Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання.
8. Спеціальний розділ. 9. Висновки. 10. Перелік посилань.

5. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>15.04.24</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>16.04.24</i>	
<i>3</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>22.04.24</i>	
<i>4</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем ел. пост.</i>	<i>24.04.24</i>	
<i>5</i>	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>29.04.24</i>	
<i>6</i>	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>3.05.24</i>	
<i>7</i>	<i>Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання</i>	<i>6.05.24</i>	
<i>8</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05.24</i>	
<i>9</i>	<i>Висновки</i>	<i>17.05.24</i>	
<i>10</i>	<i>Складання переліку бібліографічних посилань</i>	<i>19.05.24</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки роботи</i>	<i>22.05.24</i>	
<i>12</i>	<i>Оформлення слайдів (графічна частина роботи)</i>	<i>25.05.24</i>	

Дата видачі завдання

“ ____ ” _____ 2024 року

Підпис керівника _____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ

Задання прийнято до виконання

“ ____ ” _____ 2024 року

Підпис студента _____ Костянтин АНТОНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: загальний обсяг 86 с.; 12 рис., 11 табл.; 11 джерел; 5-ть додатків на 21 с.

Антонов К. В. Розроблення системи електропостачання холодокомбінату – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота спрямована на розв'язання питань комплексного проектування системи електропостачання холодокомбінату відповідно до сучасних вимог економічності та надійності. З цією метою було виконано розрахунки силових та освітлювальних електричних навантажень, техніко-економічне обґрунтування схеми приєднання. Також був проведений аналіз режимів реактивної потужності з наступним вибором конденсаторних установок 0,4 та, 10 кВ. Виконано розрахунок струмів коротких замикань. На основі отриманих даних проведено вибір кабельних ліній 10 кВ, високовольтного обладнання центральної розподільної установки та запропоновано компоновку і місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглянуто структуру сучасного електропривода, проаналізовано шляхи електрозбереження в промисловому електроприводі. Проаналізовано методи керування продуктивністю вентиляторних і насосних установок. Обґрунтовано доцільність застосування частотно-регульованого електроприводу з метою економії електроенергії у насосному агрегаті.

Ключові слова: електричне навантаження, реактивна потужність, струми короткого замикання, високовольтне електричне обладнання, електрозбереження, електропривод, насос

ABSTRACT

Qualification work: total vol. 86 p.; 12 fig.; 11 tabl.; 11 sourc.; 5 add. on 21 p.

Antonov K. V. Development of a power supply system for a cold storage plant.
– **Manuscript.**

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

The qualification work is aimed at solving the complex design of the power supply system of the refrigeration plant in accordance with modern requirements for efficiency and reliability. For this purpose, calculations of power and lighting electrical loads and a feasibility study of the connection scheme were carried out. An analysis of reactive power modes was also carried out with the subsequent selection of capacitor units of 0.4 and 10 kV. Short circuit currents have been calculated. Based on the data obtained, the selection of 10 kV cable lines, high-voltage equipment of the central distribution plant was carried out, and the layout and location of workshop transformer substations was proposed.

In a special section of the qualification work, the structure of a modern electric drive is considered, and ways of energy saving in an industrial electric drive are analyzed. Methods for controlling the performance of fan and pumping units are analyzed. The feasibility of using a frequency-controlled electric drive in order to save electricity in a pumping unit is substantiated.

Key words: electrical load, reactive power, short circuit currents, high-voltage electrical equipment, energy saving, electric drive, pump

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	8
1. Розрахунок електричних навантажень холодокомбінату.....	9
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.....	9
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	11
1.3. Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В.....	12
1.4. Побудова графіків електричних навантажень холодокомбінату.....	14
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки.....	18
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання комбінату.....	20
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	20
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання.....	29
4. Компенсація реактивної потужності.....	30
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	30
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.....	32
5. Трансформаторні підстанції.....	35
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій...	35
5.2. Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	37

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.		Антонов К.В.			Розроблення системи електропостачання холодокомбінату. Development of a power supply system for a cold storage plant	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Козловський О.А.				Д	6	86
Н.контр.						ЦНТУ, гр. ЕЕ-20		
Затв.		Плешков П.Г.						

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання, електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	38
6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	38
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	43
6.3. Вибір електрообладнання.....	45
7. Спеціальний розділ.....	51
7.1. Структура сучасного електропривода.....	52
7.2. Напрями реалізації енергозбереження в промисловому електроприводі.	53
7.3. Регулювання продуктивності вентиляторних установок.....	55
7.4. Керування продуктивністю насосних установок.....	57
7.5. Приклад застосування частотно-регульованого електропривода.....	59
7.6. Частотно-регульований електропривод з асинхронними двигунами.....	62
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65
ДОДАТКИ.....	66
Додаток А. Розрахунок електричних навантажень.....	67
Додаток Б. Картограма електричних навантажень.....	78
Додаток В. Техніко-економічні розрахунки.....	79
Додаток Г. Вибір цехових трансформаторів.....	80
Додаток Д. Вибір вимірювальних трансформаторів.....	82

ВСТУП

Важливість розробки систем електропостачання підприємств харчової промисловості, зокрема холодокомбінатів, важко переоцінити. Ефективне та надійне електропостачання є ключовим фактором для безперебійної роботи таких підприємств, що забезпечують виготовлення та зберігання продуктів харчування. Сучасні холодокомбінати потребують стабільного електропостачання для підтримання низьких температур, необхідних для зберігання заморожених продуктів. Відсутність електропостачання може призвести до значних фінансових втрат і навіть до псування продуктів, що може спричинити серйозні наслідки для здоров'я населення. Зростаючі вимоги до енергетичної ефективності вимагають інноваційних підходів до розробки систем електропостачання.

Основними технологічними підрозділами холодокомбінату є: головний чотириповерховий виробничий корпус, три цехи морозива, два вафельні цехи, три компресорні станції 0,4 кВ, три морозильні камери. До допоміжних підрозділів відносяться, склади, механічна майстерня. Таким чином, холодокомбінат спеціалізується на виробництві та зберіганні морозива.

Технологічний процес холодокомбінату полягає в наступному. Спочатку здійснюється підготовка та змішування інгредієнтів у спеціальних змішувачах. Потім отримана суміш проходить пастеризацію та гомогенізацію для знищення мікроорганізмів і забезпечення однорідної консистенції. Наступний етап – охолодження та дозрівання суміші, після чого вона заморожується та збивається в морозильних установках, де утворюється кремоподібна структура морозива. На завершення морозиво фасується у відповідні контейнери та проходить глибоке заморожування перед транспортуванням і зберіганням.

Режим роботи холодокомбінату – тризмінний. За надійністю електропостачання 90% електроприймачів комбінату відносяться до II-ї категорії, а 10% – до III-ї, відповідно до [1].

Живлення холодокомбінату може здійснюватися від ПС енергосистеми, по кабельних лініях напругою 10 або 35 кВ довжиною 3,5 км.

Значення надперехідного струму короткого замикання в максимальному режимі роботи енергосистеми, на шинах 10 кВ ПС енергосистеми становить, 9,94 кА.

Таким чином, ця кваліфікаційна робота спрямована на є розв'язання питань комплексного проектування системи електропостачання холодокомбінату.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						8

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХОЛОДОКОМБІНАТУ

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Для розрахунку електричних навантажень в електромережах споживачів 0,4 кВ використовується метод впорядкованих діаграм [2, 3, 6]. Детально виконаємо розрахунок навантажень споживачів головного виробничого корпусу (ГВК).

Розрахункове активне навантаження корпусу:

$$P_p = P_{\text{сзм}} \cdot k_M = 620,5 \cdot 1,08 = 670,9 \text{ кВт},$$

де $P_{\text{сзм}}$ – середньозмінне активне навантаження ГВК

$$P_{\text{сзм}} = \sum_i^n P_{\text{сзм}_i} = 332,1 + 620,5 + 102,5 + 1,2 + 6,2 + 65,1 + 29,1 + 189,0 + \\ + 184,5 + 1,2 + 12, + 21,1 + 4,5 + 4,4 = 620,5 \text{ кВт},$$

k_M – коефіцієнт максимуму електроспоживачів:

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{\text{еф}}^{(1,04-0,4 \cdot K_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,57^2 - 12,7 \cdot 0,57 + 8,235}{(0,57 + 0,05) \cdot 48^{(1,04-0,4 \cdot 0,57)}}} = 1,08,$$

k_B – груповий коефіцієнт використання

$$k_B = \frac{P_{\text{сзм}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}} = \frac{620,5}{1090,3} = 0,57,$$

$P_{\text{ном}_i}$ – встановлена активна потужність i -го електроприймача ГВК;

$n_{\text{еф}}$ – ефективне число електроприймачів ГВК:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}}{P_{\text{н.мак}}} = \frac{2 \cdot 1090,3}{45,0} = 48 \text{ шт},$$

за умови, що відношення потужностей $P_{\text{ном.мак}} / P_{\text{ном.мін}}$ становитиме

$$m = \frac{P_{\text{ном.мак}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{45}{1,1} = 41 > 3,$$

при груповому коефіцієнті використання $k_B \geq 0,2$.

					Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	

Розрахункове реактивне навантаження електроприймачів ГВК з урахуванням, що $n_{\text{еф}} = 48 > 10$ шт.:

$$Q_p = Q_{\text{сзм}} = 609,3 \text{ квар},$$

де $Q_{\text{сзм}}$ – середньозмінне реактивне навантаження ГВК

$$Q_{\text{сзм}} = \sum_i^n Q_{\text{сзм}_i} = 296,0 + 609,3 + 76,7 + 2,1 + 10,7 + 48,8 + 34,0 + 141,8 + 246,0 + 2,0 + 7,4 + 32,0 + 7,8 + 0 = 609,3 \text{ квар}.$$

Розрахунковий максимум навантаження по ГВК на шинах 0,4 кВ

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{670,9^2 + 609,3^2} = 906,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Деякі розрахункові вузли головного виробничого корпусу містять електроприймачів з повторно-короткочасним режимом роботи (кран-балки, тельфери, зварювальні апарати, тощо), тому їх паспортна активна потужність перед розрахунком приводилася до тривалості вмикання за формулою:

$$P'_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\frac{TB, \%}{100}},$$

де $P_{\text{пасп}}$ – паспортна активна потужність електроприймача, кВт;

TB – тривалість вмикання, %.

Розрахунок силових електричних навантажень у мережах до 1000 В інших цехів і підрозділів ГВК аналогічний до представленого і тому виконаний у вигляді табл. А.1.

						Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

1.2 Розрахунок освітлювальних навантаження

Розрахунок освітлювального навантаження для кожного із підрозділів холодокомбінату виконано за методом питомої освітлювальної потужності [3].

Детальний розрахунок освітлювального навантаження виконано для головного виробничого корпусу. Попередньо до установки прийняті люмінесцентні лампи денного світла з номінальною потужністю 40 Вт.

Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів:

$$P_{\text{в}} = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 21,0 \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 113,4 \text{ кВт},$$

p_0 – питома потужність освітлювального навантаження, кВт/м²;

F – освітлювана площа ГВК, м².

Розрахункова потужність, що споживається освітлювальними установками головного виробничого корпусу:

$$P_{\text{р}} = k_1 \cdot k_{\text{п}} \cdot P_{\text{в}} = 1,2 \cdot 0,95 \cdot 113,4 = 129,6 \text{ кВт},$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує втрати активної потужності в пускорегулюючих апаратах вибраного типу ламп, приймаємо рівним 1,2.

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, для приміщень ГВК складає 0,95 [3].

Розрахункова реактивна потужність, що споживається освітлювальними установками головного виробничого корпусу:

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\varphi = 129,6 \cdot 0,33 = 62,6 \text{ квар},$$

де $\text{tg}\varphi$ – коефіцієнт потужності, для ламп типу ДРЛ приймаємо 0,484.

Для інших ділянок і цехів ГВК, розрахунок аналогічний наведеному і тому виконаний у вигляді табл. А.2.

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

1.3 Розрахунок електричних навантажень у мережі вище 1000 В

У мережах з напругою вище 1000 В холокомбінату за розрахункові вузли навантаження прийняті шини цехових трансформаторних підстанцій та збірні шини розподільчої установки 10 кВ. Перед виконанням розрахунків була попередньо визначена кількість трансформаторів цехових ПС і самих цих ПС, а також їх розташування на комбінату. Якщо структурний підрозділ має навантаження не більше 350 кВА і знаходиться на відстані до 100 м від цехової ПС суміжної ділянки (цеху), то в такому випадку від однієї цехової ПС можуть отримувати живлення декілька цехів. У зв'язку з тим, що переважна більшість споживачів (85%) комбінату належать до II-ї категорії за безперебійністю електропостачання [1], то всі цехові ПС комплектуються двома силовими трансформаторами.

Нижче проводиться детальний розрахунок електричних навантажень для ТП-3. Він виконаний виходячи з умови повної компенсації реактивної потужності в мережі до 1000 В на комбінату.

Розрахункове силове навантаження на вводі 10 кВ ТП-3:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1350,1^2 + 471^2} = 1429,9 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

де P_p – розрахункове активне навантаження на вводі 10 кВ ТП-3:

$$P_p = P_{p.c} + P_{oc} + \Delta P_T = 1314,7 + 18,7 + 16,7 = 1350,1 \text{ кВт}$$

$P_{p.c}$ – активна складова силового навантаження ТП-3 на шинах 0,4 кВ:

$$P_{p.c} = P_{c3M.c} \cdot K_M = 1184,8 \cdot 1,11 = 1314,7 \text{ кВт},$$

$P_{c3M.c}$ – середньозмінне силове активне навантаження на вводі 10 кВ ТП-3:

$$P_{c3M} = \sum_i^n P_{c3M.c_i} = 987,3 + 72,5 + 63,0 + 62,1 = 1184,8 \text{ кВт},$$

k_M – коефіцієнт максимуму розрахункової потужності споживачів ТП-3:

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{ef}^{(1,04-0,4k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,65^2 - 12,7 \cdot 0,65 + 8,235}{(0,65 + 0,05) \cdot 23^{(1,04-0,4 \cdot 0,65)}}} = 1,11;$$

k_B – груповий (середньозважений) коефіцієнт використання вузла

$$k_B = \frac{P_{c3M}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} = \frac{1184,8}{1834,1} = 0,65,$$

$P_{ном}$ – активна складова встановленої потужності електроприймачів ТП-3;

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	12

$n_{\text{эф}}$ – ефективна кількість електроприймачів приєднаних до ТП-3

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}}{P_{\text{н.мах}}} = \frac{2 \cdot 1834,1}{160} = 23 \text{ шт.},$$

оскільки відношення $P_{\text{ном.мах}} / P_{\text{ном.мін}}$ складає:

$$m = P_{\text{ном.мах}} / P_{\text{ном.мін}} = 160 / 0,6 > 3;$$

$P_{\text{ос}}$ – розрахункове освітлювальне активне навантаження ТП-3:

$$P_{\text{ос}} = \sum_i^n P_{\text{р.ос}_i} = 3,0 + 2,4 + 0,1 + 13,2 = 18,7 \text{ кВт};$$

ΔP – втрати активної потужності в трансформаторах цехової підстанції №3:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_{\text{н.х}} + \Delta P_{\text{к.з}} \cdot k_3^2) = 2(2,45 + 12,2 \cdot 0,695^2) = 16,7 \text{ кВт};$$

n – число трансформаторів;

$\Delta P_{\text{н.х}}$ – каталожні втрати неробочого ходу трансформатора ТМГ-1000/10;

$\Delta P_{\text{к.з}}$ – каталожні втрати короткого замикання трансформатора ТМГ-1000/10;

k_3 – середнє значення коефіцієнта завантаження трансформаторів ТП-3;

$Q_{\text{р}}$ – розрахункове реактивне навантаження на ввіді ТП-3:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{р.с}} + Q_{\text{ос}} - Q_{\text{пкр}} + \Delta Q_{\text{т}} = 961,7 + 28,2 - 600 + 81,1 = 471,0 \text{ квар},$$

$Q_{\text{р.с}}$ – розрахункове силове реактивне навантаження ТП-3 на шинах 0,4 кВ:

$$Q_{\text{р.с}} = Q_{\text{сзм.с}} = 961,7 \text{ квар},$$

оскільки $n_{\text{эф}} = 23 > 10$ шт.;

$Q_{\text{ос}}$ – реактивне складова освітлювального навантаження на шинах 0,4 кВ ТП-3:

$$Q_{\text{р.ос}} = \sum_i^n Q_{\text{ос}_i} = 5,2 + 0 + 0,2 + 22,9 = 28,2 \text{ квар};$$

$Q_{\text{пкр}}$ – встановлена потужність ПКРП 0,4 кВ на всі ПС (див. р. 4.2), враховується зі знаком «-»;

ΔQ – втрати реактивної потужності в трансформаторах ТП-3:

$$\Delta Q = n \cdot S_{\text{ном}} \left(\frac{i_{\text{н.х}}}{100} + \frac{u_{\text{к.з}}}{100} \cdot k_3^2 \right) = 2 \cdot 1000 \left(\frac{1,4}{100} + \frac{5,5}{100} \cdot 0,695^2 \right) = 81,1 \text{ квар}.$$

$S_{\text{ном}}$ – каталожне значення повної потужності трансформаторів ТП-3;

$i_{\text{н.х}}$ – каталожний струм неробочого ходу трансформатора ТМГ-1000/10;

$u_{\text{к.з}}$ – каталожна напруга короткого замикання трансформатора ТМГ-1000/10;

Методика розрахунку навантажень для мереж з напругою вище 1000 В аналогічна наведеній вище, тому його результати виконані у вигляді табл. А.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		13

1.4 Побудова графіків електричних навантажень комбінату

Графіки електричних навантажень на шинах 10 кВ ЦРУ холодокомбінату побудовано на базі типових графіків, що були задані у відносних одиницях. Для побудови графіків, значення ординати кожного ступеня приведені до розрахованого значення максимального навантаження.

Максимальні активне та реактивне навантаження робочої літньої доби:

$$P_{\text{макс.з}} = k_{\text{п.р}} \cdot P_{\text{макс.л}} = 0,7 \cdot 6543,8 = 4580,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{макс.з}} = k_{\text{п.к}} \cdot Q_{\text{макс.л}} = 0,7 \cdot 983,5 = 688,4 \text{ квар};$$

де $k_{\text{п.р}}$ – коефіцієнт приведення для активної складової навантаження;

$k_{\text{п.к}}$ – коефіцієнти приведення для реактивної складової навантаження.

Виконаємо детально розрахунок для першого інтервалу добового графіка активної, реактивної та повної потужностей літньої робочої доби:

$$P_{\text{л.р.1}} = \frac{P_{*1}}{100} \cdot P_{\text{макс.л}} = \frac{65}{100} \cdot 6543,8 = 4253,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{л.р.1}} = \frac{Q_{*1}}{100} \cdot Q_{\text{макс.л}} = \frac{62}{100} \cdot 983,5 = 609,8 \text{ квар};$$

$$S_{\text{л.р.1}} = \sqrt{P_{\text{л.р.1}}^2 + Q_{\text{л.р.1}}^2} = \sqrt{6733,6^2 + 1128,8^2} = 6827,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Розрахунки інших ступенів добових графіків, аналогічні до представленого і тому виконані у вигляді табл. А.4 - А.7. Добові графіки електроспоживання холодокомбінату для всіх періодів року представлені на рис. 1.1, а-г).

При побудові річних графіків електричного навантаження було прийнято наступний розподіл часу року:

робочих діб:

– літній період – 105;

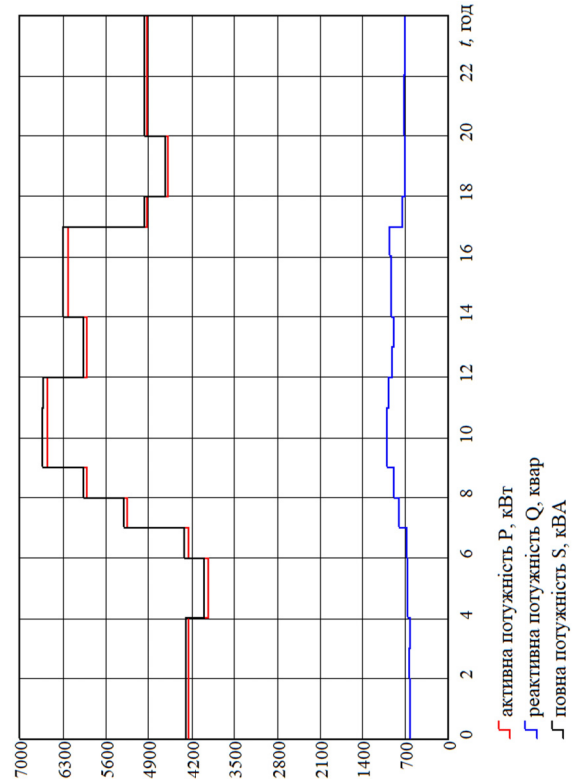
– зимовий період – 147;

вихідних діб:

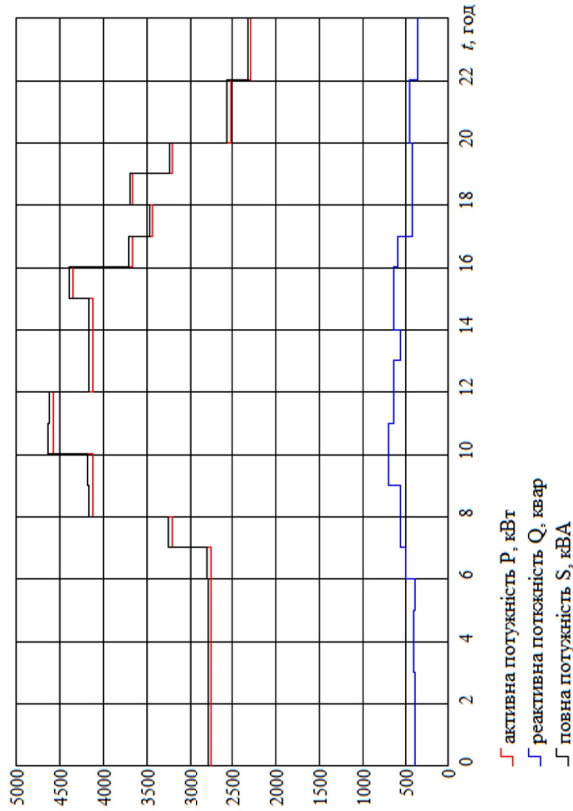
– літній період – 48;

– зимовий період – 65.

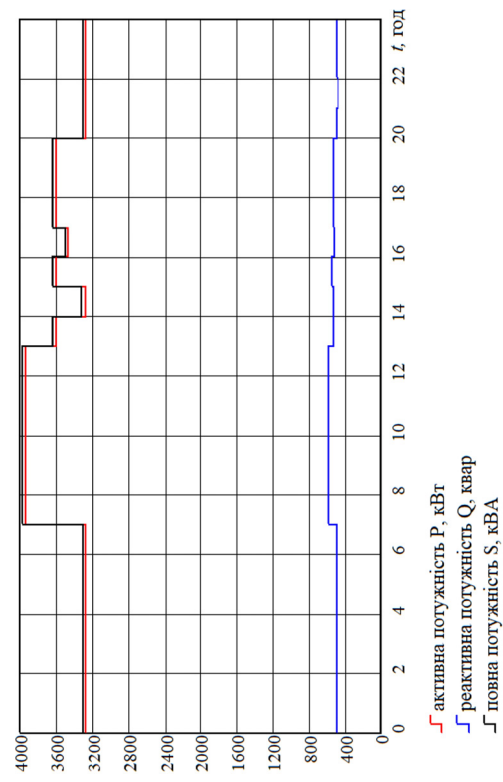
						Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		



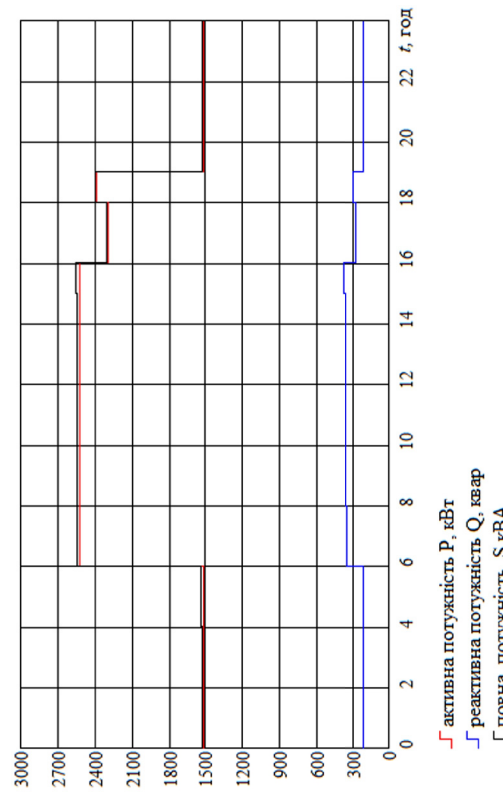
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.1 – Добові графіки електроспоживання холодокомбінату на шинах 10 кВ ЦРУ за:
а) робочу літню добу; б) вихідну літню добу; в) робочу зимову добу; г) вихідну зимову добу

За добовими графіками електричних навантажень, були побудовані річні графіки за тривалістю – активного, реактивного та повного навантажень. Розрахунок виконано у вигляді табл. А.8, а результати розрахунку – річний графік навантаження за тривалістю поданий на рис. 1.2.

Річне споживання активної та реактивної електроенергії:

$$W_p = \sum_{i=1}^n [180 \cdot P_{з.р_i} + 32 \cdot P_{з.в_i} + 129 \cdot P_{л.р_i} + 24 \cdot P_{л.в_i}] = 34009,6 \text{ МВт} \cdot \text{год};$$

$$V_p = \sum_{i=1}^n [180 \cdot Q_{з.р_i} + 32 \cdot Q_{з.в_i} + 129 \cdot Q_{л.р_i} + 24 \cdot Q_{л.в_i}] = 5015,8 \text{ Мвар} \cdot \text{год};$$

де P_i , Q_i – ординати i -го інтервалу на відповідних річних графіках активного, кВт і реактивного навантажень, квар;

t_i – тривалість i -го інтервалу графіку, год.

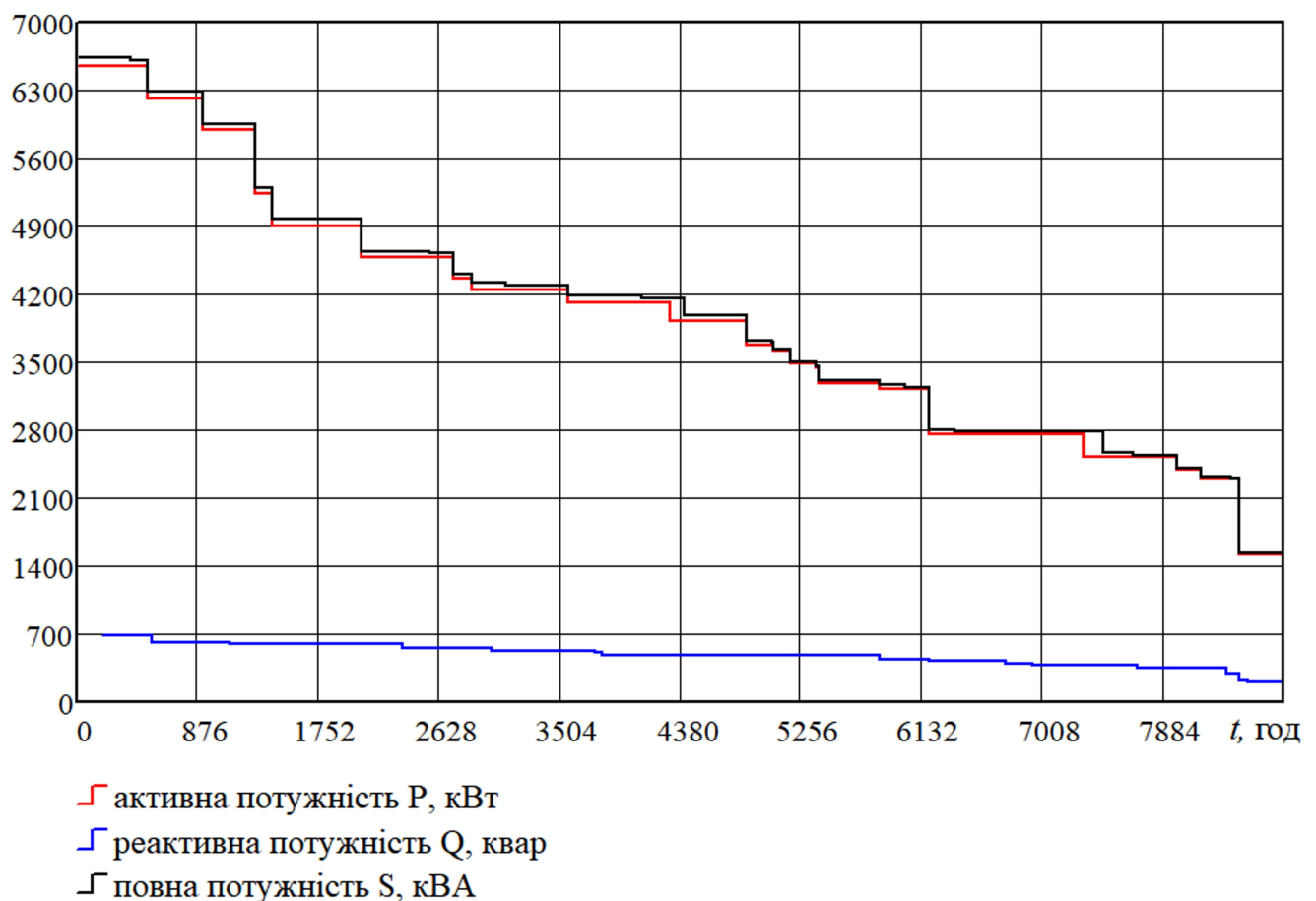


Рисунок 1.2 – Річний графік електроспоживання холодокомбінату за тривалістю

Кількість годин використання максимуму навантаження холодокомбінату

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{34009,6^2 + 5015,8^2}}{6617,3} = 5195,1 \text{ год.}$$

Річний час максимальних втрат холодокомбінату

$$\tau = \left[0,124 + \frac{T_m}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = \left[0,124 + \frac{5195,1}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = 3627,6 \text{ год.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		17

2. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

Місця розташування центральної розподільної установки 10 кВ (ЦРУ) та цехових трансформаторних підстанцій на генеральному плані холодокомбінату визначають за допомогою картограми електронавантажень. Для цього:

- розраховується сумарне електричне навантаження $P_{p.сум.i}$ для кожного структурного підрозділу та комбінату в цілому;
- генеральному плані будуються кола з радіусом, який пропорційний розрахованому $P_{p.сум.i}$;
- усередині кола виділяється сектор, площа якого пропорційна освітлювальному навантаженню $P_{p.осв}$ даного підрозділу.

Отримані центри кіл визначають оптимальне місце розташування ЦРУ та відповідних цехових підстанцій.

Виконаємо детально розрахунок радіусу кола та центрального кута для головного виробничого корпусу.

Радіус кола, який пропорційний сумарному розрахунковому навантаженню:

$$R = \sqrt{\frac{P_{p.сум.2}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{800,2}{3,14 \cdot 1}} = 16 \text{ мм},$$

де $P_{p.сум.2}$ – сумарне розрахункове навантаження головного виробничого корпусу;

m – масштаб, приймаємо $m = 1$.

Центральний кут α сектора площа якого пропорційна освітлювальному електричному навантаженню головного виробничого корпусу:

$$\alpha_i = 360 \frac{P_{p.осв}}{P_{p.сум.2}} = 360 \frac{129,3}{800,2} = 58,2^\circ.$$

де $P_{осв}$ – розрахункове освітлювальне навантаження ГВК, кВт;

$P_{p\Sigma}$ – сумарне розрахункове навантаження ГВК, кВт.

Розрахунок для інших структурних підрозділів і холодокомбінату в цілому аналогічний приведеному, тому виконаний у вигляді табл. Б.1.

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

Використовуючи дані з табл. Б.1 знайдемо координати центру електричних навантажень холодокомбінату:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{7420,8 + 54413,8 + 4880,7 + 178346,1 + 168481,4 + 22099,5 + 237007,1}{6933,6} + \frac{3317 + 13985,6 + 66506,4 + 1789,5 + 9341,8 + 66506,4 + 1789,5 + 9341,8 + 6004,5}{6933,6} + \frac{6124,7 + 21264,6 + 81614 + 22900,7 + 6814,1 + 36731,5}{6933,6} = 136,9 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{49422,3 + 104346,5 + 6032,3 + 181089,9 + 153563,8 + 16816,0}{6933,6} + \frac{160699,9 + 17605,6 + 11166,5 + 34292,4 + 9197,0 + 6846,8 + 3182,1 + 6016,6}{6933,6} + \frac{10167,1 + 25246,4 + 8738,4 + 2149,3 + 3332,3}{6933,6} = 136,9 \text{ м};$$

де n – кількість відділень структурних підрозділів комбінату, дорівнює 19;

$x_i P_i$, $y_i P_i$ – добутки, декартових координат x та y i -го підрозділу на генеральному плані комбінату на його сумарне активне розрахункове навантаження, кВт·м;

Розрахунковий центр електричних навантажень холодокомбінату знаходиться на території компресорної станції №2, тому переносимо його в точку з координатами $x_0 = 138$ м, $y_0 = 91$ м.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		19

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

Правильний вибір напруги та схеми приєднання холодокомбінату до енергосистеми є ключовим моментом при оптимальній будові його системи електропостачання.

Основними факторами, що впливають на вибір напруги зовнішньої мережі електропостачання є наступні:

- розрахункове навантаження підприємства (включаючи потужність джерел реактивної потужності);
- відстань до наявних джерел живлення;
- розташування електроприймачів на території комбінату;
- категорія за надійністю електропостачання.

Для холодокомбінату, який відноситься до об'єктів середньої потужності, (встановлена потужність обладнання становить 9,55 МВА), доцільно використати схему електропостачання з одним прийомним пунктом електроенергії, такими як ГЗП або ЦРУ. Оскільки між холодокомбінатом і джерелом живлення розміщений житловий масив, то живлення його повинно здійснюватися через кабельні лінії (КЛ).

З огляду на ці фактори розглядаються два варіанти схеми приєднання комбінату до енергосистеми:

1) електропостачання здійснюється від ПС енергосистеми через КЛ довжиною 3,5 км із напругою 10 кВ. При цьому на території комбінату будується ЦРУ (рис. 3.1, а);

2) електропостачання здійснюється від ПС енергосистеми через кабельні лінії довжиною 3,5 км із напругою 35 кВ. На території комбінату будується ГПП, на якій встановлюються трансформатори з номінальною потужністю 6300 кВА і напругами 35/10 кВ. З метою резервування передбачається ремонтна перемичка між живлячими лініями із роз'єднувачів (рис. 3.1, б).

Кінцеве проектне рішення приймається на основі порівняння приведених витрат за варіантами.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		20

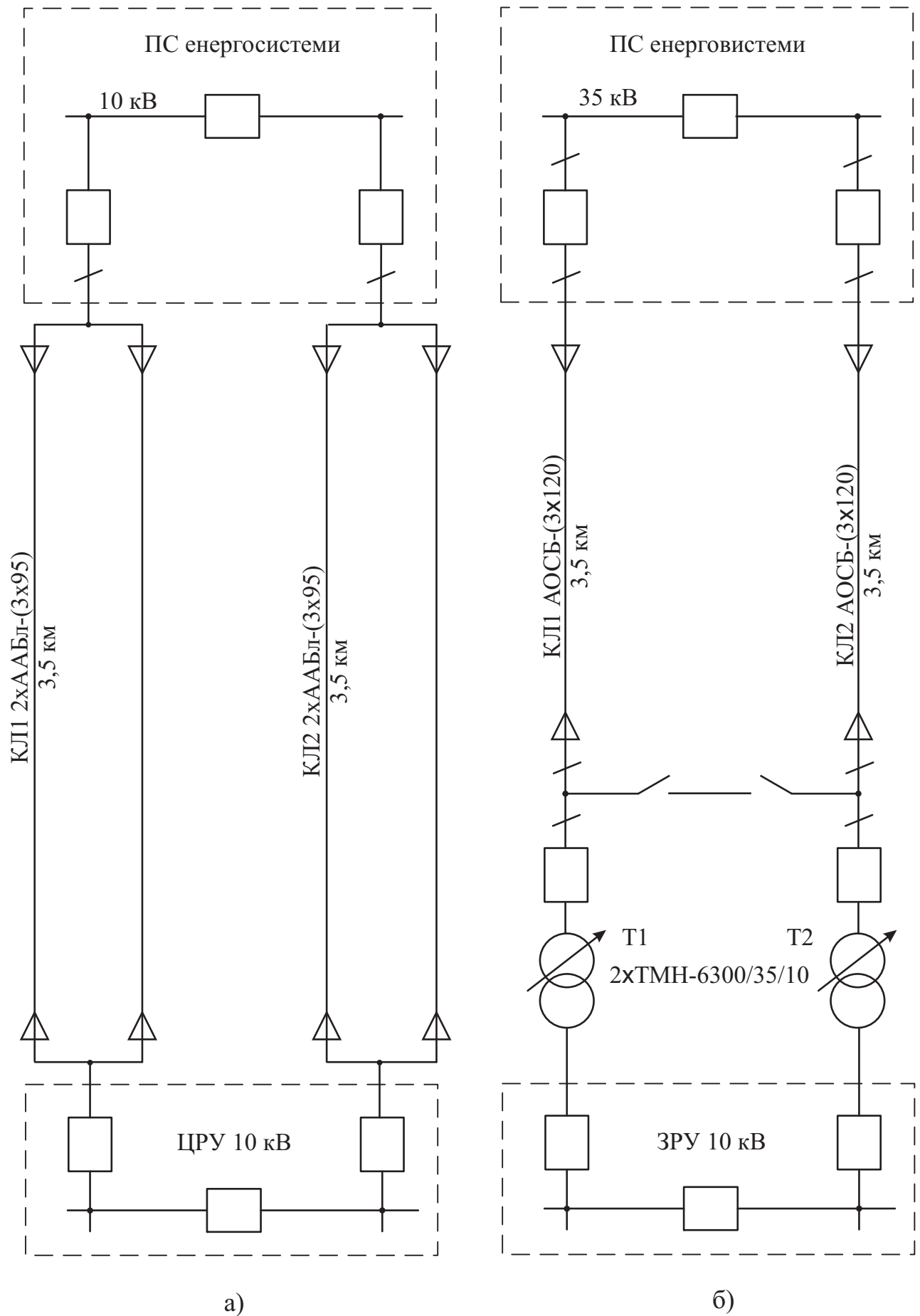


Рисунок 3.1 - Варианты схем приеднання холодокомбінату

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		21

Варіант №1. Живлення комбінату здійснюється напругою 10 кВ.

Вибір кабельних ліній.

Розрахунковий струм кабельної лінії КЛ-1 (КЛ-2):

$$I_{\text{р.кл-1}} = \frac{S_{\text{р}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{6617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 182 \text{ А.}$$

де n – кількість кабельних ліній, шт.

Попередньо приймаємо до прокладання вскладі КЛ-1 два трифазні кабелі марки ААБл, що мають площу перерізу 95 мм² кожен, з тривалим допустимим струмовим навантаженням $I_{\text{доп}} = 192 \text{ А}$ і втратами потужності при повному завантаженні $\Delta p_{\text{к.з}} = 50 \text{ кВт/км}$ [1].

Допустимий струм 2-х кабелів КЛ-1 (КЛ-2) у нормальному режимі роботи з урахуванням зниження внаслідок їх прокладання в одній траншеї:

$$I'_{\text{доп}} = n_{\text{п}} \cdot k_{\text{з.д.н}} \cdot I_{\text{доп}} = 2 \cdot 0,84 \cdot 192 = 322,6 \text{ А.}$$

де $n_{\text{п}}$ – кількість паралельних гілок в КЛ-1 (КЛ-2);

$k_{\text{з.д.н}}$ – коефіцієнт зниження навантаження, внаслідок прокладки чотирьох кабельних ліній у одній траншеї [1].

Коефіцієнт завантаження КЛ-1 (КЛ-2) у нормальному режимі роботи:

$$k_{\text{з}} = \frac{I_{\text{р}}}{I'_{\text{доп}}} = \frac{182,1}{322,6} = 0,56.$$

При виході кабельної лінії КЛ-1, КЛ-2 залишиться в роботі та працюючи з допустимим перевантаженням забезпечить живлення комбінату:

$$I_{\text{р.а}} = I'_{\text{доп}} \cdot k_{\text{а.п}} = 322,6 \cdot 1,25 = 403,3 > I_{\text{р.к}} = 364,0 \text{ А.}$$

де $k_{\text{а.п}}$ – коефіцієнт перевантаження на період ліквідації післяаварійного режиму тривалістю до 6 год [1];

$I_{\text{р.к}}$ – розрахунковий струм комбінату

$$I_{\text{р.к}} = n I_{\text{р.кл-1}} = 2 \cdot 182 = 364 \text{ А.}$$

Отже, попередньо вибрані кабелі для кабельної лінії КЛ-1 (КЛ-2) в кількості 2 шт. марки ААБл-(3×120) задовольняють всім пред'явленим умовам, тому приймаємо їх до установки.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	22

Варіант №2. Живлення комбінату виконується напругою 35 кВ.

Вибір кабельних ліній.

Розрахунковий струм у кабельній лінії КЛ-1 (КЛ-2):

$$I_{\text{р.кл-1}} = \frac{S_{\text{р}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{6617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 36,8} = 52,0 \text{ А.}$$

Попередньо приймаємо до прокладання один кабель марки АОСБ-(3×120) – з найменшим перерізом для даного класу напруги. Тривало допустиме струмове навантаження якого $I_{\text{доп}} = 225 \text{ А}$ [1], втрати потужності $\Delta p_{\text{к.з}} = 37 \text{ кВт/км}$.

Допустимий струм КЛ-1 з урахуванням його зниження в нормальному режимі роботи внаслідок прокладання одній траншеї з КЛ-2:

$$I'_{\text{доп}} = k_{\text{з.д.н}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,92 \cdot 225 = 207 \text{ А.}$$

Коефіцієнт завантаження КЛ у нормальному режимі роботи:

$$k_{\text{з}} = \frac{I_{\text{р}}}{I'_{\text{доп}}} = \frac{52}{207} = 0,25.$$

При виході з ладу КЛ-1, КЛ-2 працюючи без перевантаження забезпечить живлення всіх електроприймачів комбінату

$$I_{\text{р.а}} = 104 < I'_{\text{доп}} = 207 \text{ А.}$$

Отже, попередньо вибраний кабель АОСБ-35-(3х120) задовольняє всім пред'явленим умовам, тому приймаємо його до подальшого розгляду.

Вибір силових трансформаторів ГЗП.

Враховуючи наявність споживачів I та II категорій за надійністю електропостачання приймаємо до установки два трансформатора. Номінальна потужність трансформаторів визначається за умовою:

$$S_{\text{т.ном}} \geq \frac{S_{\text{р}} \cdot k_{\text{к.сп}}}{n \cdot k_{\text{з}}} = \frac{6617,3 \cdot 0,92}{2 \cdot 0,7} = 4350, \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Приймаємо до установки трансформатори з номінальною потужністю $S_{\text{ном}} = 6300 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	23

Завантаження трансформатора в нормальному режиму роботи:

$$k_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{6617,3}{2 \cdot 6300} = 0,53.$$

Перевантажувальна здатність трансформатора

$$1,4 \cdot S_{\text{т.ном}} \geq S_p,$$

$$1,4 \cdot 6300 = 8820 > 6617,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Отже, трансформатори ТМН-6300/35/10 задовольняють всім пред'явленим вимогам, тому приймаємо їх до подальшого розгляду.

Вибір схеми приєднання комбінату.

Критерієм вибору схеми приєднання комбінату до енергосистеми є мінімум приведених витрат для одного з намічених варіантів. Витрати розраховуються лише для тих елементів схем, що відрізняються.

Приведені витрати для 1-го варіанту:

$$П_{\text{в1}} = E_{\text{н}} \cdot K + C + B + Z = 0,12 \cdot 16104,8 + 1649,6 + 2112,1 + 13,7 = 5707,9 \text{ тис. грн.}$$

де C – поточні витрати з передавання та розподілу електричної енергії, грн/рік;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, рівний $E_{\text{н}} = 0.12$;

K – сумарні капіталовкладення, тис. грн;

B – вартість втрат електричної енергії в КЛ-1, КЛ-2, грн./рік;

Z – збитки від недоданої електричної енергії, зумовлені рівнем надійності схеми приєднання, грн/рік.

З намічених варіантів схеми приєднання комбінату кращим буде той – що мінімізує приведені витрати.

Загальна сума капіталовкладень

Загальна сума капіталовкладень для намічених варіантів визначається за укрупненими показникам вартості елементів схеми.

Розрахунок і його результати представлені в табл. В.1.

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

Розрахунок поточних витрат

Варіант №1.

Поточні витрати визначаються як сума двох складових:

$$C = A + E$$

де A – витрати на амортизацію, тис. грн.;

$$A_i = \frac{K_i \cdot H_{a.i}}{100};$$

K_i – вартість i -го елемента схеми приєднання, тис. грн.

H_a – норма відрахувань на амортизацію обладнання, %;

E – експлуатаційні витрати, тис. грн.:

$$E_i = \frac{K_i \cdot H_{e.i}}{100},$$

H_e – норма відрахувань на експлуатацію обладнання, %.

Поточні витрати:

- на утримання шаф КРУ 10 кВ:

$$C_{1.1} = \frac{K_1 \cdot H_{a.1}}{100} + \frac{K_1 \cdot H_{e.1}}{100} = \frac{391,2 \cdot 15}{100} + \frac{391,2 \cdot 5}{100} = 58,7 + 19,6 = 78,2 \text{ тис. грн.}$$

- на утримання кабельних ліній КЛ-1 і КЛ-2 ААБл-(3×95):

$$C_{1.i} = \frac{K_1 \cdot H_{a.1}}{100} + \frac{K_1 \cdot H_{e.1}}{100} = \frac{15713,6 \cdot 5}{100} + \frac{15713,6 \cdot 5}{100} = 785,7 + 785,7 = 1571,4 \text{ тис. грн.}$$

Поточні витрати для варіанту №1:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n C_{1.i} = 78,2 + 1571,4 = 1649,6 \text{ тис. грн.}$$

де i – кількість елементів схеми, що розглядається шт.

Розрахунок для поточних витрат для варіанту №2 аналогічний представленому і виконаний у вигляді табл. В.2.

Вартість втрат електроенергії

Варіант №1.

Вартість втрат електроенергії у КЛ-1 і КЛ-2:

$$B = c_0 \cdot \Delta E_{\text{кл.н}} = 5,217 \cdot 404847,8 = 2112,09 \text{ тис. грн.};$$

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

де c_0 – вартість електроенергії для споживачів II-го класу напруги, грн. / кВт·год;

$\Delta E_{\text{кл.н}}$ – навантажувальні втрати електричної енергії

$$\Delta E_{\text{кл.н}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau = 111,6 \cdot 3627,6 = 404847,8 \text{ кВт·год};$$

τ – річний час максимальних втрат, год;

$\Delta P_{\text{н.кл}}$ – навантажувальні втрати активної потужності в кабельних лініях:

$$\Delta P_{\text{н.кл}} = n \cdot \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2 = 2 \cdot 50 \cdot 3,5 \cdot 0,56^2 = 111,6 \text{ кВт.}$$

де $\Delta p_{\text{пл}}$ – питомі втрати активної потужності в кабельних лініях при повному їх навантаженні, кВт/км;

l – довжина КЛ-1 (КЛ-2), км.

Варіант №2.

Вартість втрат електроенергії в схемі приєднання:

$$B = c_0 \cdot \Delta E = 4,009 \cdot 292423,7 = 1172,4 \text{ тис. грн.};$$

де c_0 – вартість електроенергії для споживачів I-го класу напруги, грн. / кВт·год;

ΔE – втрати електричної енергії в схемі приєднання:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{кл.н}} + \Delta E_{\text{тр}} = 59222,5 + 200589,7 = 249787,2 \text{ кВт·год};$$

$\Delta E_{\text{кл}}$ – втрати електроенергії в КЛ-1 і КЛ-2:

$$\Delta E_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau = 16,3 \cdot 3627,6 = 59222,5 \text{ кВт·год};$$

$\Delta P_{\text{н}}$ – навантажувальні втрати активної потужності в КЛ-1 і КЛ-2:

$$\Delta P_{\text{н.кл}} = n \cdot \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_{3,\text{кл}}^2 = 2 \cdot 37 \cdot 3,5 \cdot 0,25^2 = 16,3 \text{ кВт};$$

$k_{3,\text{кл}}$ – коефіцієнт завантаження кабельної лінії;

$\Delta E_{\text{тр}}$ – сумарні втрати електричної енергії в трансформаторах ГЗП:

$$\Delta E_{\text{т}} = \Delta E_{\text{т.н.х}} + \Delta E_{\text{т.н}} = 140160 + 60429,7 = 200589,7 \text{ кВт·год};$$

$\Delta E_{\text{т.н.х}}$ – втрати електричної енергії неробочого ходу:

$$\Delta E_{\text{т.н.х}} = n \cdot \Delta p_{\text{н.х}} \cdot T_{\text{в}} = 2 \cdot 8 \cdot 8760 = 140160 \text{ кВт·год};$$

$T_{\text{в}}$ – час роботи трансформатора впродовж року, год;

$\Delta E_{\text{т.н}}$ – навантажувальні втрати електричної енергії:

$$\Delta E_{\text{т.н}} = n \cdot \Delta p_{\text{к.з}} \cdot \tau \cdot k_{3,\text{т}}^2 = 2 \cdot 46,5 \cdot 3627,6 \cdot 0,53^2 = 93050,2 \text{ кВт·год},$$

$\Delta p_{\text{к.з}}$ – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$k_{3,\text{т}}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	26

Ймовірні збитки від перерви електропостачання

Варіант №1. Річні збитки від аварійних перерв електропостачання:

$$З_1 = z_0 \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 120 \cdot 3924,4 \cdot 0,029 = 13,66 \text{ тис. грн.}$$

де z_0 – питомий показник збитку із-за недоданої електроенергії внаслідок аварії, для підприємств харчової промисловості, на основі зарубіжного досвіду приймаємо 120 грн. /кВт·год;

$P_{\text{ср}}$ – середньорічне активне навантаження холодокомбінату:

$$P_{\text{ср}} = P_p \cdot T_{\text{макс}} / 8760 = 6617,3 \cdot 5195,1 / 8760 = 3924,4 \text{ кВт};$$

T_a – середньорічний час аварійного простою виробництва:

$$T_a = k_a^{(2)} \cdot 8760 = 3,34 \cdot 10^{-6} \cdot 8760 = 0,029 \text{ год};$$

$k_a^{(2)}$ – коефіцієнт аварійного простою двох ланок схеми приєднання

$$k_a^{(2)} = k_a^2 + 2 \cdot k_{\text{ап}} = (2,77 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 1,63 \cdot 10^{-6} = 3,34 \cdot 10^{-6};$$

$k_{\text{ап}}$ – коефіцієнт аварійного простою, у випадку коли одна ланка, вимкнена, а інша – вимикається внаслідок аварії

$$k_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot k_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,566 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 1,63 \cdot 10^{-6};$$

λ_a – параметр потоку відмов однієї ланки схеми приєднання:

$$\lambda_a = \sum \lambda_{a,i} = \lambda_{a,v} + \lambda_{a,p} + \lambda_{a,кл} = 0,004 + 0,002 + 0,56 = 0,566;$$

$\lambda_{a,v}$, $\lambda_{a,p}$, $\lambda_{a,кл}$ – параметри потоку відмов елементів однієї ланки, відповідно, високовольтного вимикача, роз'єднувача та кабельної лінії, 1/рік;

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт планового простою однієї ланки схеми приєднання:

$$k_{\text{п}} = 1,2 \cdot k_{\text{п.макс}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3};$$

$k_{\text{п.макс}}$ – найбільший коефіцієнт планового простою однієї ланки, що має максимальний середній час планового простою зі всіх елементів схеми;

k_a – коефіцієнт аварійного простою однієї ланки схеми приєднання::

$$k_a = \lambda_a \cdot T_b = 0,566 \cdot 4,89 \cdot 10^{-4} = 2,77 \cdot 10^{-4};$$

T_b – середній час відновлення однієї ланки схеми приєднання:

$$T_b = \frac{\sum \lambda_{a,i} \cdot T_{b,j}}{\lambda_a} = \frac{(0,004 \cdot 0,45 + 0,002 \cdot 0,34 + 0,56 \cdot 0,49) \cdot 10^{-3}}{0,566} = 4,89 \cdot 10^{-4} \text{ год/рік.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		27

Варіант №2. Річні збитки від аварійних перерв електропостачання:

$$Z_2 = Z_0 \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 120 \cdot 3924,4 \cdot 0,138 \cdot 10^{-3} = 65 \text{ тис. грн.};$$

T_a – середньорічний час аварійного простою комбінату:

$$T_a = k_a^{(2)} \cdot 8760 = 1,58 \cdot 10^{-5} \cdot 8760 = 0,138 \text{ год};$$

$k_a^{(2)}$ – коефіцієнт аварійного простою двох ланок схеми приєднання:

$$k_a^{(2)} = k_a^2 + 2k_{\text{ап}} = (9,36 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 7,47 \cdot 10^{-6} = 1,58 \cdot 10^{-5};$$

$k_{\text{ап}}$ – коефіцієнт аварійного простою схеми приєднання:

$$k_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot k_{\text{п}} = 0,5 \cdot 0,288 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 7,47 \cdot 10^{-6};$$

λ_a – параметр потоку відмов однієї ланки схеми приєднання:

$$\begin{aligned} \lambda_a &= \sum n \cdot \lambda_{a,i} = n_p \cdot \lambda_{a,i} + n_b \cdot \lambda_{a,i} + \lambda_{a,\text{кл}} + n_{\text{ш}} \cdot \lambda_{a,\text{зб.ш}} + \lambda_{a,\text{т}} = \\ &= 4 \cdot 0,008 + 2 \cdot 0,008 + 0,21 + 2 \cdot 0,01 + 0,01 = 0,288; \end{aligned}$$

n – кількість однотипних елементів схеми приєднання;

$n_p, n_b, n_{\text{ш}}$ – кількість, відповідно, роз'єднувачів, вимикачів і збірних шин;

$\lambda_{a,p}, \lambda_{a,b}, \lambda_{a,\text{кл}}, \lambda_{a,\text{ш}}, \lambda_{a,\text{тр.}}$ – параметри потоку відмов елементів однієї ланки, 1/рік, відповідно, роз'єднувача, вимикача, кабельної лінії, збірних шин і трансформатора;

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт планового простою однієї ланки схеми приєднання:

$$k_{\text{п}} = 1,2 \cdot k_{\text{п.мак}} = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3};$$

k_a – коефіцієнт аварійного простою однієї ланки схеми приєднання:

$$k_a = \lambda_a \cdot T_b = 0,288 \cdot 3,25 \cdot 10^{-3} = 9,36 \cdot 10^{-4};$$

k_b – середній час відновлення однієї ланки схеми приєднання:

$$\begin{aligned} T_b &= \frac{\sum \lambda_{a,i} \cdot T_{b,j}}{\lambda_a} = \frac{(4 \cdot 0,008 \cdot 0,34 + 2 \cdot 0,008 \cdot 0,51 + 0,21 \cdot 0,25)}{0,288} + \\ &+ \frac{(2 \cdot 0,01 \cdot 0,25 + 0,01 \cdot 1,71) \cdot 10^{-3}}{0,288} = 3,25 \cdot 10^{-4}, \text{ год/рік} \end{aligned}$$

Результати техніко-економічного обґрунтування варіантів схеми приєднання холодокомбінату зведені в табл. В.3.

Проводимо порівняння приведених витрат за наміченими варіантами:

$$П_{\text{в1}} = 5707,9 < П_{\text{в2}} = 6459,8 \text{ тис. грн.};$$

отже, приймаємо схему приєднання холодокомбінату до енергосистеми за варіантом №1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		28

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Організація внутрішнього електропостачання промислового підприємства може бути виконана за радіальною, магістральною або змішаною схемою.

Радіальні схеми передачі електроенергії характеризуються безпосереднім перенесенням енергії від джерела живлення до приймального пункту. Зазвичай такі схеми використовуються для невеликих за потужністю підприємств, де споживачі розташовані компактно. Радіальні схеми дозволяють досягти глибокого секціонування системи електропостачання.

Магістральні схеми використовуються, коли споживачів багато і радіальні схеми непрактичні. Головною перевагою магістральних схем є скорочення кількості ланок комутації. Такі схеми є найбільш ефективними, коли цехові трансформаторні підстанції мають розташування близьке до лінійного. Кількість цехових трансформаторів, що живляться від однієї магістралі, залежить від їх номінальної потужності та вимог до надійності електропостачання. Від однієї магістралі доцільно жити не більше 2-х, 3-х цехових трансформаторів з номінальною потужністю 1000-2500 кВА.

Розроблено одиночні, двійні та n - магістральні схеми. Одиночні магістральні схеми мають меншу надійність порівняно з радіальними схемами, оскільки вони не можуть резервувати електроспоживачів на низькій напрузі (0,4 кВ). Ці схеми використовуються лише для споживачів III-ї категорії за безперебійністю електропостачання.

Подвійні та n - магістральні схеми мають високу надійність, тому можуть бути використані для споживачів всіх категорій. Секції шин цехових ПС або розподільчих пунктів працюють роздільно в нормальному режимі роботи. У разі аварії на одній з магістралей трансформаторні підстанції або розподільчі пункти на стороні 10 кВ підключаються до тієї, що залишилася в роботі.

Отже, внутрішня мережа електропостачання холодокомбінату реалізована за магістральною схемою, оскільки така схема ефективно використовується для об'єктів з багатьма споживачами, а також дозволяє зменшити кількість вузлів комутації та досягти високого рівня надійності електропостачання.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		29

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Активне та реактивне навантаження на шинах 0,4 кВ холодокомбінату:

$$P_H = \sum P_{\text{тп.і}} = 1380,8 + 1409,4 + 1333,4 + 1386,4 + 1240,2 = 6750,3 \text{ кВт};$$

$$Q_H = \sum Q_{\text{тп.і}} = 1161,4 + 999,6 + 989,9 + 1043,5 + 953,3 = 5147,9 \text{ квар.}$$

Навантаження на шинах 10 кВ холодокомбінату:

- активне:

$$P_p = P_B + P_H + \Delta P_{\text{тр}} = 0 + 6750,3 + 80,2 = 6830,5 \text{ кВт},$$

де P_B – високовольтне активне розрахункове навантаження;

P_H – високовольтне активне розрахункове навантаження;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – втрати активної потужності в трансформаторах цехових ПС:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \sum \Delta P_{\text{тр.і}} = 16,8 + 17,0 + 15,7 + 17,0 + 16,5 = 80,2 \text{ кВт};$$

- реактивне:

$$Q_p = Q_B + Q_H + \Delta Q_{\text{тр}} = 0 + 5147,9 + 391,1 = 5539,0 \text{ квар},$$

де Q_B – високовольтне реактивне розрахункове навантаження;

$\Delta Q_{\text{тр}}$ – втрати реактивної потужності в трансформаторах цехових ПС

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \sum \Delta Q_{\text{тр.і}} = 81,5 + 82,7 + 76,9 + 82,5 + 80,3 = 391,1 \text{ квар.}$$

Економічно доцільна потужність, що може бути передана з енергосистеми

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg}\varphi_e = 6830,5 \cdot 0,15 = 1024,6 \text{ квар},$$

де $\text{tg}\varphi_e$ – економічно обґрунтований коефіцієнт потужності.

Мінімальна кількість цехових трансформаторів у розподільній мережі холодокомбінату:

$$n_0 = P_H / (k_3 \cdot S_{\text{т.ном}}) = 6750,3 / (0,69 \cdot 1000) = 9,8,$$

де $k_3 = 0,69$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів згідно з табл. А.3;

$S_{\text{т.ном}}$ – номінальна потужність цехового трансформатора ТМГ-1000/10/0,4.

Приймаємо мінімальну кількість цехових трансформаторів 10 шт.

Розглянемо детально варіант компенсації реактивної потужності за кількості цехових трансформаторів $n = n_0$.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		30

Варіант №1.

При установці 10-ти цехових трансформаторів у мережі холодокомбінату значення реактивної потужності, що може бути передано з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ складе

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(10 \cdot 1000 \cdot 0,69)^2 - 6750,3^2} = 1429,5 \text{ квар.}$$

Потужність пристроїв компенсації реактивної енергії (ПКРП), що необхідно встановити в мережі 0,4 кВ

$$Q_{\text{пкрп.н}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 5145,5 - 1435,9 = 3709,6 \text{ квар.}$$

Отже, приймаємо до встановлення в мережі 0,4 кВ ПКРП загальною потужністю 3670 квар (4х80, 1х150, 1х200, 2х300, 6х400 квар).

Уточнене значення потужності

$$Q_{1.\text{ут}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 5147,9 - 3670 = 1477,9 \text{ квар.}$$

Потужність високовольтних (10 кВ) пристроїв компенсації

$$Q_{\text{пкрп.в}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 5539,0 - 3670 - 1024,6 = 844,4 \text{ квар.}$$

Отже, приймаємо до установки в мережі 10 кВ ПКРП загальною потужністю $Q_{\text{ку.в}} = 900$ квар (2х450 квар).

Розрахунок інших варіантів компенсації реактивної потужності в мережі холодокомбінату з кількістю силових трансформаторів $n = n_0 + 1$, $n = n_0 + 2$ аналогічний представленому, тому його результати подані в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Варіанти компенсації реактивної потужності

Розрахунковий параметр	Од. вим.	Варіант I	Варіант II	Варіант III
n	шт.	10	11	12
Q_1	квар	1429,5	2958,1	3457,0
$Q_{\text{пкрп.н}}$	квар	3718,3	2189,7	1690,9
$Q_{\text{к.у.н}}$	квар	3670,0	2300,0	1840,0
$Q_{1.\text{ут}}$	квар	1477,9	2847,9	3307,9
$Q_{\text{пкрп.в}}$	квар	844,4	2324,7	2823,5
$Q_{\text{ку.в}}$	квар	900,0	2250,0	2700,0
$Q_{\text{е}}$	квар	1024,6	1024,6	1024,6
Всього за балансом	квар	5594,6	5574,6	5564,6
Різниця в балансах	квар	-55,6	-35,6	25,6

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

Визначення необхідної потужності та місця розташування конденсаторних установок базується на економічному порівнянні декількох намічених варіантів. Критерієм економічності є мінімізація приведених витрат.

Розглянемо детально розрахунок приведених витрат за варіантом №1 ($n = n_0 = 10$ шт).

Приведені витрати на компенсацію реактивної потужності холодокомбінату:

$$Z_1 = E \cdot (K_{\text{ку.нн}} + K_{\text{ку.вн}} + K_{\text{кпп}}) + (\Delta P_{\text{к.нн}} + \Delta P_{\text{к.вн}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot c_0 \cdot \tau =$$

$$= 0,32 \cdot (1684,94 + 907,622 + 0) + (16,4 + 2,7 + 2,7) \cdot 5,217 \cdot 10^{-3} \cdot 3627,6 = 1235,5 \text{ тис. грн.},$$

де E – сумарні щорічні відрахування на амортизацію та експлуатацію обладнання:

$$E = E_{\text{н}} + H_{\text{а}} + H_{\text{е}} = 0,12 + 0,15 + 0,5 = 0,32;$$

$H_{\text{а}}$, $H_{\text{е}}$ – норми відрахувань від вартості конденсаторних установок (КУ), відповідно, на амортизацію та експлуатацію, в.о.;

$K_{\text{кн}}$ – сумарна вартість конденсаторних установок низької напруги (НН):

$$K_{\text{ку.нн}} = \sum N_{\text{ку.і}} \cdot K_{\text{ку.і}} = 6 \cdot 180 + 2 \cdot 123,37 + 1 \cdot 89,16 + 1 \cdot 72,72 + 4 \cdot 49,08 = 1684,94 \text{ тис. грн.}$$

$N_{\text{ку.і}}$ – кількість конденсаторних установок одного номіналу;

$K_{\text{куі}}$ – вартість конденсаторної установки даної номіналу;

$K_{\text{ку.вн}}$ – вартість конденсаторних установок високої напруги (ВН) і додаткового обладнання для них:

$$K_{\text{ку.вн}} = \sum N_{\text{ку.і}} \cdot K_{\text{ку.і}} + N_{\text{ш}} \cdot K_{\text{ш}} = 2 \cdot 258,211 + 2 \cdot 195,6 = 907,622 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{\text{ш}}$ – кількість лінійних шаф з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються;

$K_{\text{ш}}$ – вартість шаф з вимикачами 10 кВ, що додатково встановлюються;

$\Delta P_{\text{тп}}$ – втрати активної потужності при передаванні реактивної потужності через цехові трансформатори:

$$\Delta P_{\text{тп}} = Q^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{ном}}^2 = 1477,9^2 \cdot 1,22 \cdot 10^{-4} / 10^2 = 2,7 \text{ кВт},$$

де $R_{\text{ек}}$ – еквівалентний опір цехових трансформаторів ТМГ-1000-10/0,4

$$R_{\text{ек}} = (\Delta p_{\text{кз}} \cdot U_{\text{н}}^2) / (n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{т.ном}}^2) = (12,2 \cdot 10^2) / (10 \cdot 1000^2) = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ кОм.}$$

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

Втрати активної потужності у конденсаторах низьковольтних КУ:

$$\Delta P_{\text{к.нн}} = \Delta p_{\text{пит.нн}} \cdot Q_{\text{ку.нн}} = 0,0045 \cdot 3650 = 16,4 \text{ кВт},$$

де $\Delta p_{\text{пит.нн}}$ – питомі втрати активної потужності в КУ низької напруги, кВт/квар;

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів

$$\Delta P_{\text{к.вн}} = \Delta p_{\text{пит.вн}} \cdot Q_{\text{ку.вн}} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт},$$

де $\Delta p_{\text{пит.вн}}$ – питомі втрати активної потужності в КУ низької напруги, кВт/квар.

Розрахунок витрат на компенсацію реактивної потужності у системі електропостачання холодокомбінату для 2-го (n_0+1) та 3-го (n_0+2) варіантів аналогічний представленому і поданий у вигляді табл. 4.1.

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на компенсацію реактивної потужності

№ п/п	Параметр	Од. вим.	Варіант		
			I	II	III
			$n_0 = 10$, шт	$n_0 + 1 = 11$, шт	$n_0 + 2 = 12$, шт
1	$K_{\text{ку.нн}}$	тис. грн.	1684,94	1548,0	819,39
2	$K_{\text{ку.вн}}$	тис. грн.	907,622	1058,8	2260,38
3	$K_{\text{тп}}$	тис. грн.	0	1180,0	2555,6
4	$\Delta P_{\text{ку.нн}}$	кВт	16,4	10,4	8,1
5	$\Delta P_{\text{ку.вн}}$	кВт	2,7	6,75	8,1
6	$\Delta P_{\text{тп}}$	кВт	2,7	8,91	11,2
7	Z	тис. грн.	1232,5	1704,8	2321,7

Отже, приведені витрати 1-го варіанту компенсації реактивної потужності виявилися мінімальними

$$Z_1 = 1235,5 < Z_2 = 1704,8 < Z_3 = 2321,7 \text{ тис. грн.}$$

тому приймаємо його до подальшого розгляду.

Визначення місця установки конденсаторних установок низької напруги проводиться за наявною реактивною потужністю, що може бути передана з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ. Для цехової підстанції ТП-1 вона складе:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_s)^2 - P_n^2} = \sqrt{(2 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 1380,8^2} = 230,9 \text{ квар.}$$

Реактивна потужність КУ НН, що необхідно встановити на ТП-1

$$Q_{\text{ку.нн}} = Q_n - Q_{\text{п}} = 1161,4 - 230,9 = 930,5 \text{ квар.}$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	33

Отже, приймаємо до установки КУ загальною потужністю $Q_{\text{кп}} = 960$ квар:

2 шт. – УКРМ-0,4-400-10-21У3;

2 шт. – УКРМ-0,4-80-5-21У3.

Аналогічно проводимо розрахунки інших ТП 1-го варіанту та інших варіантів. Результати розрахунків представлено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вибір кількості, потужності та місце розташування КУ

№ ТП	$N_{\text{тр}}$	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$Q_{\text{л}}$, квар	$Q_{\text{кп}}$, квар	$N_{\text{ку}}$, шт.	Тип КУ	$\Sigma Q_{\text{ку}}$, квар	k_3	S , кВА
Варіант №1										
ТП1	2	1380,8	1161,4	230,9	930,5	2	ККУ-0,4-400-10-21У3	960,0	0,698	1395,4
						2	ККУ-0,4-80-5-21У3			
ТП2	2	1409,4	999,6	39,7	959,9	2	ККУ-0,4-400-10-21У3	960,0	0,705	1410,2
						2	ККУ-0,4-80-5-21У3			
ТП3	2	1333,4	989,9	355,4	634,5	2	ККУ-0,4-300-10-21У3	600,0	0,695	1389,3
ТП4	2	1386,4	1043,5	194,7	848,9	2	ККУ-0,4-400-10-21У3	800,0	0,704	1407,6
ТП5	2	1240,2	953,3	605,3	348,1	1	ККУ-0,4-200-10-21У3	350,0	0,690	1379,2
						1	ККУ-0,4-150-15-21У3			
Всього	10	6750,3	5147,9	1426,0	3721,9			3670		
Варіант №2										
ТП1	3	1380,8	1161,4	1154,7	6,7		-	0.0	0,601	1804.3
ТП2	2	1409,4	999,6	85,0	914,7	2	ККУ-0,4-400-10-21У3	900	0,706	1413.0
						2	ККУ-0,4-50-5-21У3			
ТП3	2	1333,4	989,9	488,2	501,7	1	ККУ-0,4-300-10-21У3	500	0,710	1420.6
						1	ККУ-0,4-200-10-21У3			
ТП4	2	1386,4	1043,5	307,1	736,5	1	ККУ-0,4-400-10-21У3	700	0,714	1428.3
ТП5	2	1240,2	953,3	731,8	221,5	1	ККУ-0,4-300-10-21У3	200	0,726	1451.1
						1	ККУ-0,4-100-10-21У3			
Всього	11	6750,3	5147,9	2766,7	2381,1	1	ККУ-0,4-100-10-21У3	2300		
Варіант №3										
ТП1	3	1380,8	1161,4	1154,7	6,7		-	0,0	0,601	1804,3
ТП2	2	1409,4	999,6	172,8	826,8	2	ККУ-0,4-400-10-71У3	900	0,705	1410,7
						2	ККУ-0,4-50-5-21У3			
ТП3	2	1333,4	989,9	426,5	563,4	1	ККУ-0,4-300-10-71У3	600	0,695	1389,3
						1	ККУ-0,4-300-10-71У3			
ТП4	3	1386,4	1043,5	1051,4	0,0	0	-	0	0,578	1735,2
ТП5	2	1240,2	953,3	649,6	303,8	1	ККУ-0,4-150-15-21У3	300	0,701	1401,7
						1	ККУ-0,4-150-15-21У3			
Всього	12	6750,3	5147,9	3455,1	1700,7			1800		

5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій

При виборі цехових трансформаторних підстанцій для холодокомбінату були враховані такі фактори: визначені розрахункові навантаження, категорії електроприймачів за надійністю електропостачання, особливості умов навколишнього середовища, наявність конденсаторних установок, що підключені до шин 0,4 кВ цехових ПС, режим роботи підприємства та архітектурні аспекти.

Кількість і номінальна потужність трансформаторів, що встановлюються на цехових підстанціях, мають взаємозв'язок між собою. Це пояснюється тим, що для розрахункового навантаження комбінату S_p , загальна кількість необхідних трансформаторів буде змінюватися залежно від прийнятої їх одиничної потужності. Таким чином, чим вища одинична потужність трансформаторів КТП, тим меншу кількість трансформаторів потрібно встановити для забезпечення необхідного навантаження комбінату, і навпаки.

Кількість цехових трансформаторів обираємо без проведення техніко-економічних розрахунків, лише за допомогою їх коефіцієнтів завантаження. Які знаходяться в наступних межах:

0,65 - 0,7 для цехів з переважною кількістю електроприймачів I категорії за надійністю електропостачання, що отримують живлення від двотрансформаторних підстанцій;

0,7 - 0,8 для цехів з переважною кількістю електроприймачів II категорії за надійністю електропостачання, що отримують живлення від при однострансформаторних ПС із взаємним резервуванням трансформаторів.

За таких коефіцієнтів завантаження трансформаторів і використання двотрансформаторних підстанцій у системі електропостачання комбінату, їх кількість складе 5 шт., при цьому в них буде встановлено 10 трансформаторів одиничною потужністю 1000 кВ·А кожен

Однак, такий підхід до вибору силових трансформаторів у багатьох випадках призводить до неекономічних рішень, оскільки розрахункове навантаження холодокомбінату буде досягнуте не одразу в 1-й рік експлуатації, а

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		35

поступово впродовж кількох років. Тому варто перевірити правильність вибору кількості та одиничної потужності трансформаторів цехових підстанцій комбінату за методом питомої густини навантаження. Згідно з цим методом, кількість трансформаторів $n_{\text{тр}}$ пов'язана з їх номінальною потужністю. Згідно з цим методом, кількість трансформаторів $n_{\text{тр}}$ пов'язана з їх номінальною потужністю наступним чином:

$$n_{\text{тр}} = S_p / (k_{\text{з.тр}}/S_{\text{ном.е}}) = 6717,3 / (0,7 \cdot 1000) = 9,6 \approx 10 \text{ шт.},$$

де $S_{\text{ном.е}}$ – економічно обґрунтована номінальна потужність цехового трансформатора, приймається залежно від питомої густини навантаження:

$$S_{\text{п}} = \frac{S_p}{F} = \frac{6717,3}{32620} = 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А}/\text{м}^2.$$

Якщо питома густина навантаження $S_{\text{п}} \leq 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А}/\text{м}^2$ то економічно доцільною одиничною потужністю трансформатора є $S_{\text{н.е}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. Отримане розрахункове число трансформаторів округлюємо до цілого значення. Таким чином, для забезпечення навантаження необхідно встановити 10 трансформаторів з номінальною потужністю 1000 кВА на цехових трансформаторних підстанціях.

Прийняті до установки трансформатори також необхідно перевірити за допустимим післяаварійним перевантаженням:

$$S_{\text{н.т}} \cdot k_{\text{п}} > S_{\text{ав.р}};$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт перевантаження трансформаторів в післяаварійному режимі роботи, для двотрансформаторних підстанцій $k_{\text{п}} = 1,4 [1]$;

$S_{\text{ав.р}}$ – розрахункова потужність у післяаварійному режимі роботи.

Вибір та перевірку трансформаторів для кожної цехової підстанції наведено в табл. Г.1.

Отже, проведений розрахунок показав, що вибрані трансформатори марки ТМГ-1000/10/0,4 задовольняють усім технічним умовам, тому приймаємо їх до установки.

						Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій

Місце розташування цехових трансформаторних підстанцій визначається рівнем та характером електронавантажень, а також їх розміщенням на генплані холодокомбінату. Задля максимального наближення цехових ПС до електроприймачів у мережі 0,4 кВ, вони розташовуються якомога ближче до центрів електричних навантажень. Таке розміщення ПС дозволяє скоротити довжину електромереж напругою 0,4 кВ і значно зменшити втрати потужності та енергії в них.

Всі трансформаторні підстанції холодокомбінату виконуються двотрансформаторними з них ТП1, ТП2, ТП4 вбудовані у виробничі приміщення, а ТП3, ТП5 – прибудовані. Компонування прибудованих і внутрішніх (вбудованих) цехових трансформаторних підстанцій визначається індивідуально в кожному конкретному випадку. При цьому враховуються архітектурно-будівельні норми та вимоги до експлуатації, конфігурація виробничих приміщень, розміщення технологічного обладнання, умови навколишнього середовища в цеху, забезпечення належного охолодження підстанції, а також вимоги пожежної та електричної безпеки.

Оскільки холодокомбінат є підприємством харчової промисловості, трансформаторна підстанція головного виробничого корпусу виконана вбудованою, біля зовнішньої стіни. Двері підстанції відчиняються назовні. Монтаж та обслуговування безпосередньо з боку виробничого приміщення не передбачається.

Підстанції, що живлять компресорні станції №1 та №3, також виконані вбудованими, але розміщені в окремому приміщенні. Таке рішення пов'язане з категорією приміщень щодо пожежо- та вибухонебезпеки.

Прибудовані підстанції (ТП3, ТП5) мають одну спільну стінку з виробничим приміщенням, проте розташовані за його межами. Така конструкція трансформаторних ПС має високі техніко-економічні показники і добре поєднується з невисокими одноповерховими приміщеннями компресорних станцій та невеликих виробничих цехів.

						Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1 Розрахунок струмів КЗ

Для вибору високовольтного електрообладнання та кабельних ліній розподільної мережі (10 кВ) проводимо розрахунок струмів КЗ у системі електропостачання холодокомбінату у відносних базисних одиницях. Для розрахунку струмів короткого замикання складається однолінійна розрахункова схема (рис. 6.1), а на її основі – схема заміщення (рис. 6.2), де всі елементи замінюються повними опорами, приведеними до базисних умов.

Струм КЗ у максимальному режимі роботи енергосистеми на шинах 10 кВ РУ ПС енергосистеми становить $I_{\text{к.с.макс}} = 9,94$ кА.

Виконаємо детальний розрахунок струмів КЗ для однієї магістральної лінії КЛ-3 – КЛ7, що містить відповідні розрахункові точки К1, К5-К7, а для інших розрахункових торчок результати представлені в табл. 6.1.

Приймаємо базисні величини: $U_6 = 10,5$ кВ; $S_6 = 100$ МВ·А.

Тоді базисний струм становитиме:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА};$$

Параметри схеми заміщення системи електропостачання холодокомбінату:

- опір енергосистеми

$$x_{\text{с*}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз.с.макс}} \cdot U_{\text{ср}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 9,94 \cdot 10,5} = 0,55 \text{ в.о.};$$

- кабельних ліній:

КЛ-1

$$r_{\text{кл1*}} = \frac{r_0}{2} \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,129 \cdot 3,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,517 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл1*}} = \frac{x_0}{2} \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,083}{2} \cdot 3,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,132 \text{ в.о.};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		38

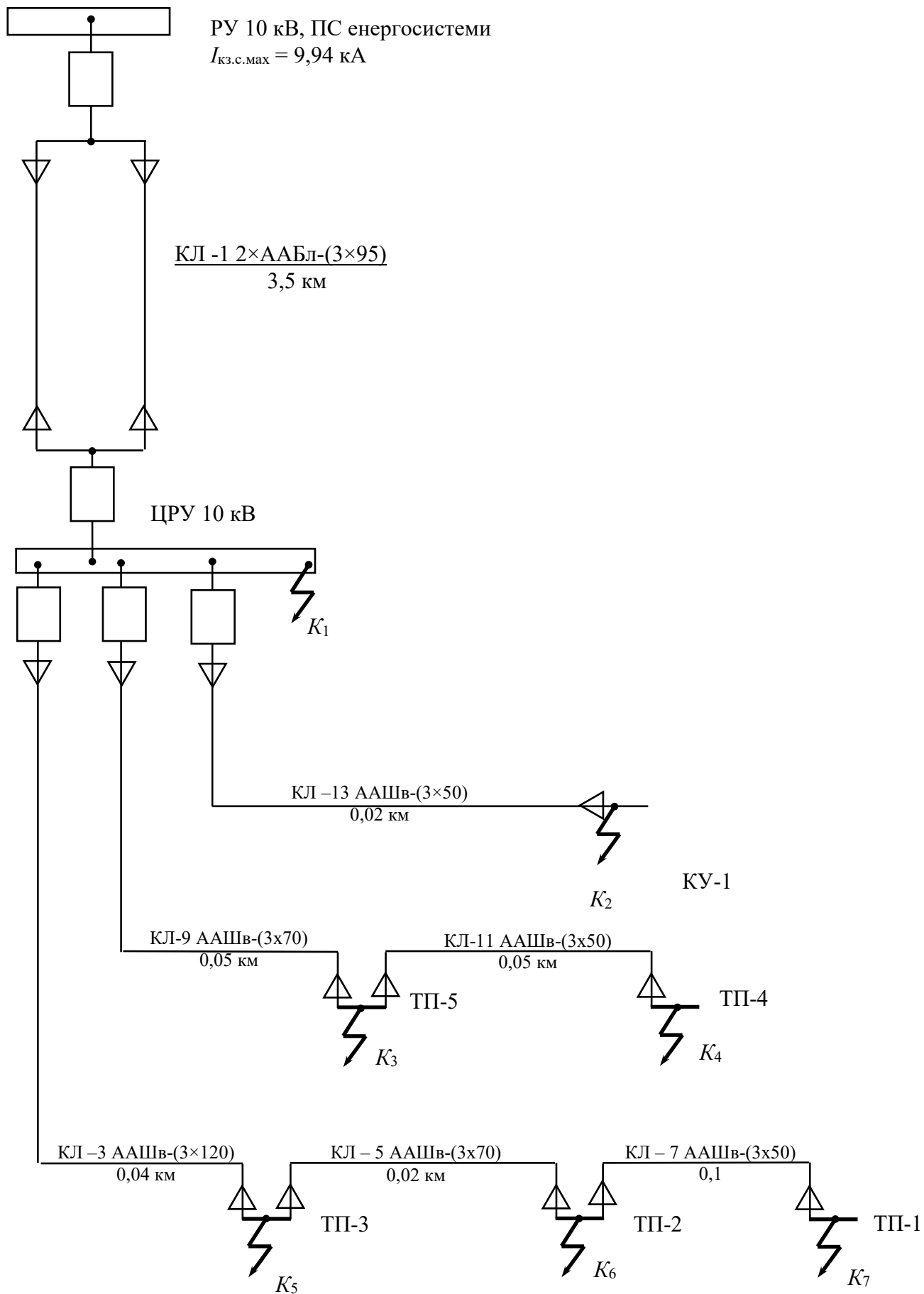


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема СЕП холодокомбінату

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

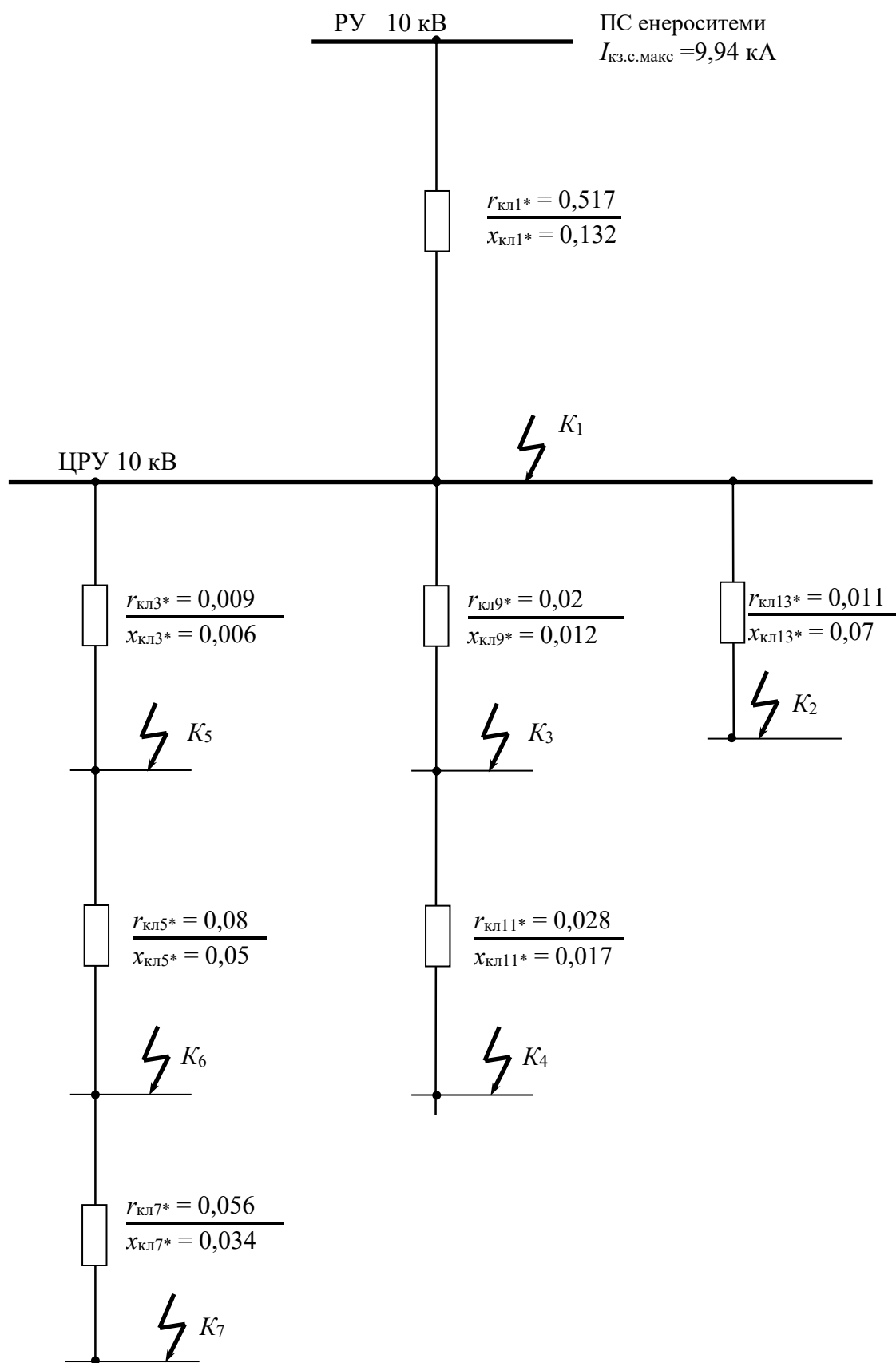


Рисунок 6.2 – Схема заміщення СЕП холодокомбінату

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

КЛ-3

$$r_{\text{кл}3*} = r_0 \cdot l_{\text{кл}3} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,258 \cdot 0,04 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,009 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл}3*} = x_0 \cdot l_{\text{кл}3} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,153 \cdot 0,04 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,006 \text{ в.о.};$$

КЛ-5:

$$r_{\text{кл}5*} = r_0 \cdot l_{\text{кл}5} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,443 \cdot 0,02 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,008 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл}5*} = x_0 \cdot l_{\text{кл}5} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,26 \cdot 0,02 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,005 \text{ в.о.};$$

КЛ-7:

$$r_{\text{кл}7*} = r_0 \cdot l_{\text{кл}7} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,62 \cdot 0,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,056 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл}7*} = x_0 \cdot l_{\text{кл}7} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,37 \cdot 0,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,034 \text{ в.о.};$$

де x_0 , r_0 – питомі, відповідно, індуктивний та активний опори кабельних ліній,
Ом/км;

l – довжина КЛ, км;

Результуючий опір у колі намічених точок КЗ:

- K_1 :

$$r_{\text{рез}1*} = r_{\text{с}^*} + r_{\text{кл}1*} = 0 + 0,517 = 0,517 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}1*} = x_{\text{с}1*} + x_{\text{кл}1*} = 0,55 + 0,265 = 0,685 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}1*} = \sqrt{r_{\text{рез}1*}^2 + x_{\text{рез}1*}^2} = \sqrt{0,517^2 + 0,685^2} = 0,858 \text{ в.о.};$$

- K_5 :

$$r_{\text{рез}5*} = r_{\text{рез}1*} + r_{\text{кл}3*} = 0,517 + 0,009 = 0,527 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}5*} = x_{\text{рез}1*} + x_{\text{кл}3*} = 0,685 + 0,006 = 0,69 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}5*} = \sqrt{r_{\text{рез}5*}^2 + x_{\text{рез}5*}^2} = \sqrt{0,527^2 + 0,69^2} = 0,869 \text{ в.о.};$$

- K_6 :

$$r_{\text{рез}6*} = r_{\text{рез}5*} + r_{\text{кл}5*} = 0,527 + 0,008 = 0,535 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}6*} = x_{\text{рез}5*} + x_{\text{кл}5*} = 0,69 + 0,05 = 0,695 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}6*} = \sqrt{r_{\text{рез}6*}^2 + x_{\text{рез}6*}^2} = \sqrt{0,535^2 + 0,695^2} = 0,877 \text{ в.о.};$$

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

- K_7 :

$$r_{\text{рез}7*} = r_{\text{рез}6*} + r_{\text{кл}7*} = 0,535 + 0,056 = 0,591;$$

$$x_{\text{рез}7*} = x_{\text{рез}6*} + x_{\text{кл}7*} = 0,695 + 0,034 = 0,729;$$

$$z_{\text{рез}7*} = \sqrt{r_{\text{рез}7*}^2 + x_{\text{рез}7*}^2} = \sqrt{0,591^2 + 0,729^2} = 0,938.$$

Ударні коефіцієнти:

$$k_{y1} = 1 + e^{(-0,01/T_{a1})} = 1 + e^{(-0,01/0,0025)} = 1,019;$$

$$k_{y5} = 1 + e^{(-0,01/T_{a5})} = 1 + e^{(-0,01/0,0025)} = 1,019;$$

$$k_{y6} = 1 + e^{(-0,01/T_{a6})} = 1 + e^{(-0,01/0,0025)} = 1,019;$$

$$k_{y7} = 1 + e^{(-0,01/T_{a7})} = 1 + e^{(-0,01/0,0025)} = 1,018;$$

де T_a – час затухання аперіодичної складової струму КЗ:

$$T_{a1} = \frac{x_{\text{рез}1}}{\omega \cdot r_{\text{рез}1}} = \frac{0,685}{314,16 \cdot 0,517} = 0,0025 \text{ с};$$

$$T_{a5} = \frac{x_{\text{рез}5}}{\omega \cdot r_{\text{рез}5}} = \frac{0,690}{314,16 \cdot 0,527} = 0,0025 \text{ с};$$

$$T_{a6} = \frac{x_{\text{рез}6}}{\omega \cdot r_{\text{рез}6}} = \frac{0,695}{314,16 \cdot 0,535} = 0,0025 \text{ с};$$

$$T_{a7} = \frac{x_{\text{рез}7}}{\omega \cdot r_{\text{рез}7}} = \frac{0,729}{314,16 \cdot 0,591} = 0,0025 \text{ с}.$$

Надперехідні струми:

$$I_1'' = \frac{E_*'' \cdot I_6}{z_{\text{рез}1*}} = \frac{1 \cdot 5,5}{0,858} = 6,41 \text{ кА};$$

$$I_5'' = \frac{E_*'' \cdot I_6}{z_{\text{рез}5*}} = \frac{1 \cdot 5,5}{0,869} = 6,33 \text{ кА};$$

$$I_6 = \frac{E_*'' \cdot I_6}{z_{\text{рез}6*}} = \frac{1 \cdot 5,5}{0,877} = 6,27 \text{ кА};$$

$$I_7'' = \frac{E_*'' \cdot I_6}{z_{\text{рез}7*}} = \frac{1 \cdot 5,5}{0,938} = 5,86 \text{ кА};$$

де E_*'' – надперехідна ЕРС, приймаємо рівною 1,1, згідно [7, 8].

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		42

Ударні струми:

$$i_{уд1} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_1'' = \sqrt{2} \cdot 1,024 \cdot 6,41 = 9,24 \text{ кА};$$

$$i_{уд5} = \sqrt{2}k_{уд5} \cdot I_5'' = \sqrt{2} \cdot 1,025 \cdot 6,33 = 9,13 \text{ кА};$$

$$i_{уд6} = \sqrt{2}k_{уд6} \cdot I_6'' = \sqrt{2} \cdot 1,024 \cdot 6,27 = 9,03 \text{ кА};$$

$$i_{уд7} = \sqrt{2}k_{уд7} \cdot I_7'' = \sqrt{2} \cdot 1,018 \cdot 5,86 = 8,43 \text{ кА}.$$

Таблиця 6.1 – Результати розрахунку струмів КЗ у розподільній мережі 10 кВ холодокомбінату

Точка КЗ	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	l , км	$r_{кл}$, В.О.	$x_{кл}$, В.О.	$r_{рез}$, В.О.	$x_{рез}$, В.О.	$z_{рез}$, В.О.	T_a , с	k_y	I'' , кА	$i_{уд}$, кА
К ₁	0,163	0,0415	3,50	0,517	0,132	0,517	0,685	0,858	0,0025	1,019	6,41	9,24
К ₂	0,62	0,37	0,02	0,011	0,007	0,529	0,692	0,871	0,0025	1,019	6,32	9,10
К ₃	0,443	0,26	0,05	0,020	0,012	0,538	0,697	0,880	0,0025	1,019	6,25	9,00
К ₄	0,62	0,37	0,05	0,028	0,017	0,566	0,713	0,911	0,0025	1,018	6,04	8,70
К ₅	0,258	0,153	0,04	0,009	0,006	0,527	0,690	0,869	0,0025	1,019	6,33	9,13
К ₆	0,443	0,26	0,02	0,008	0,005	0,535	0,695	0,877	0,0025	1,019	6,27	9,03
К ₇	0,62	0,37	0,10	0,056	0,034	0,591	0,729	0,938	0,00247	1,018	5,86	8,43

6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Передача електроенергії в розподільній мережі холодокомбінату проводиться за допомогою кабельних ліній 10 кВ. Кабелі цих ліній вибираються за допустимим струмом у нормальному та після аварійному режимах роботи. Попередньо вибраний переріз кабелів повинен задовольняти умову термічної стійкості.

Розглянемо детально вибір магістральної КЛ-3 до якої підключені підстанції ТП-3 – ТП-1 від ЦРУ 10 кВ холодокомбінату.

Розрахункові струми КЛ-3:

- нормальний режим:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4042,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 113,8 \text{ А};$$

- аварійний режим:

$$I_{п.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4042,9}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 227,6 \text{ А};$$

де S_p – розрахункове навантаження КЛ-3, визначено за методом впорядкованих діаграм (див. р. 1), розрахунок проведено в вигляді табл. Д.1.

З каталогу вибираємо кабель з $I_{\text{доп}} = 218$ А і перетином струмопровідних жил (3×95) марки ААШв.

Перевіряємо вибраний кабель за:

- допустимим струмовим навантаженням:

$$I_p \leq I'_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{доп}};$$

$$113,8 \leq 0,84 \cdot 218 = 183,1 \text{ А};$$

- за умовою роботи в аварійному режимі:

$$I_{\text{ав}} \leq k_{\text{п}} \cdot k_{\text{ав}} \cdot I_{\text{доп}};$$

$$227,7 < 0,84 \cdot 1,35 \cdot 218 = 228,9 \text{ А};$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує кількість кабелів, які прокладені в одній траншеї.

Для 4-х кабелів приймаємо 0,84 згідно [1];

$k_{\text{ав}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження кабелів з паперовою просоченою ізоляцією продовж 6 год, приймаємо 1,35 згідно [1], за умови кабель був завантажений менше $0,6I_{\text{ном}}$:

$$k_3 = I_p / I'_{\text{доп}} = 113,8 / 183,1 = 0,57 < 0,6.$$

Перетин кабелю КЛ-3, що відповідає умові термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{22,96} \cdot 1000 = 47,9 \text{ мм}^2;$$

$$B_{\kappa} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{відк}} + T_a) = 6,33^2 \cdot (0,557 + 0,0025) = 23 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Перевірка:

$$F_{\text{min}} = 46,1 < F_{\text{кл}} = 120 \text{ мм}^2.$$

Отже, приймаємо до прокладання два кабелі ААШв-(3х120).

У розділі 3 попередньо були вибрані КЛ-1 та КЛ-2 проводимо їх перевірку за термічною стійкістю:

$$F_{\text{min}} = 161,4 < F_{\text{кл}} = 2 \times 95 = 190 \text{ мм}^2.$$

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{260,5} \cdot 1000 = 161,4 \text{ мм}^2;$$

$$B_{\kappa} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{відк}} + T_a) = 9,94^2 \cdot (2,557 + 0,08) = 260,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Отже, приймаємо для КЛ-1, 2 до прокладання кабелі 2×ААБл-(3х95).

Вибір інших КЛ аналогічний представленому і тому виконаний у вигляді табл. Д.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		44

6.3 Вибір електрообладнання

Вибір високовольтного обладнання виконується за номінальними умовами з подальшою перевіркою його електродинамічної та термічної стійкості під час короткого замикання. Процес вибору представлений у вигляді таблиць, де в лівій частині зазначаються розрахункові величини, а в правій — каталожні дані відповідного електроапарата. Обладнання вважається перевіреним, якщо його параметри перевищують розрахункові показники.

6.3.1 Вибір вимикачів

Попередньо приймаємо до розгляду в якості лінійного вимикача 10 кВ ПС енергосистеми вимикач типу ВР1-10-20/630УЗ (виробник Рівненський завод високовольтної апаратури). Вибір вимикача представлений у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 Вибір лінійного вимикача ПС енергосистеми

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 182 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{р.макс} = 364 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{пт} \approx I'' = 9,94 \text{ кА}$	$I_{вим.ном} = 32 \text{ кА}$
$i_{ат} = 3,7 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot \beta_n I_{дин} / 100 = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 20 / 100 = 11,3 \text{ кА}$
$I'' = 9,94 \text{ кА}$	$I_{дин} = 52 \text{ кА}$
$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot (1 + e^{-0,01/0,08}) \cdot 9,94 = 26,5 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{дин} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 50,9 \text{ кА}$
$B_k = 209,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{н.т}^2 \cdot t_{н.т} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де I_p – розрахунковий струм КЛ-1 (КЛ-2):

$$I_{р.кл-1} = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{6617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 182 \text{ А};$$

$I_{макс}$ – максимальний струм КЛ-1 (КЛ-2) у післяаварійному режимі роботи:

$$I_{макс} = k_{ап} \cdot I_p = 2 \cdot 182 = 364 \text{ А};$$

$i_{ат}$ – аперіодична складова струму короткого замикання для моменту часу τ :

$$i_{а.\tau} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 9,94 \cdot e^{-0,052/0,08} = 7,4 \text{ кА};$$

де τ – найменший час від початку короткого замикання до моменту розходження дугогасних контактів вимикача:

$$\tau = t_{з.мін} + t_{в.ч} = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с};$$

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

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання [5];

$t_{з.мин}$ – мінімальний час дії релейного захисту;

$t_{в.ч}$ – власний час вимикання вимикача приймає згідно каталогу 42 мс;

t_b – повний час вимикання вимикача:

$$t_b = t_{в.ч} + t_{рз.макс} = 0,042 + 2,0 = 2,042 \text{ с};$$

$t_{рз.макс}$ – максимальний час спрацювання релейного захисту з урахування часу селективності 2,0 с;

β – нормоване значення вмісту аперіодичної складової у струмі, що вимикається, визначаємо відповідно з [4];

B_k – термічний імпульс:

$$B_k = I''^2 \cdot (t_b + T_a) = 9,94^2 \cdot (2,042 + 0,08) = 209,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Отже, попередньо вибраний до розгляду вимикач типу ВР1-10-20/630УЗ задовольняє всім умовам перевірки, тому приймаємо його до встановлення.

Вибір вимикачів не виконується, оскільки струми навантаження цих вимикачів менші за струми ввідного вимикача. Крім того, вимикач серії ВР1 є початковим у каталозі. Таким чином, ввідні, секційний і лінійні вимикачі ЦРУ 10 кВ холодокомбінату теж вибираємо марки ВР1-10-20/630УЗ.

6.3.2 Вибір вимикачів навантаження

Вибір вимикачів навантаження проводиться за тими ж умовами, що і високовольтні вимикачі, виключенням є те, що за розрахунковий струм відключення приймається струм форсованого режиму, а не струм короткого замикання [4].

Попередньо до розгляду приймаємо вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10зУЗ. Його вибір представлено у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Вибір вимикача навантаження ТП-3

Розрахункові дані			Каталожні дані		
$U_{уст} = 10,5 \text{ кВ}$			$U_{макс} = 12 \text{ кВ}$		
$I_p = 39,3 \text{ А}$			$I_{відкл.ном} = 400 \text{ А}$		
$I_{макс} = 78,6 \text{ А}$			$I_{відкл.макс} = 800 \text{ А}$		
$i_{уд} = 9,13 \text{ кА}$			$i_{дин.ном} = 25 \text{ кА}$		
$B_k = 0,42 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$			$I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$		

де I_p – розрахунковий струм трансформатора Т-1, ТП-3:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{715}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 39,3 \text{ А.}$$

$I_{\text{макс}}$ – максимальний струм, що протікає через вимикач навантаження в післяаварійному режимі роботи трансформатора Т-1, ТП-3:

$$I_{\text{макс}} = nI_p = 2 \cdot 39,3 = 78,6 \text{ А,}$$

де n – кількість трансформаторів ТП №3, шт;

B_k – термічний імпульс:

$$B_k = I''^2 \cdot (t_b + T_a) = 6,33^2 \cdot (0,008 + 0,0025) = 0,42 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

t_b – середній час спрацювання запобіжника марки ПКТ, приймаємо згідно каталогу рівним 0,008 с [4];

$I_{\text{т.ном}}$ – номінальний струм термічної стійкості вимикача навантаження, А.

Таким чином, попередньо обраний до розгляду вимикач навантаження ВНРП-10/400-10ЗУ3 відповідає всім умовам перевірки, тому його приймаємо для встановлення. На інших цехових ПС встановленні трансформатори з номінальною потужністю 1000 кВ·А, тому на них теж передбачається встановлення вимикачів ВНРП-10/400-10ЗУ3.

6.3.3 Вибір високовольтних запобіжників

Високовольтні запобіжники проходять перевірки за номінальними значеннями напруги та струму, а також граничним струмом відключення.

Попередньо приймаємо до розгляду запобіжник марки ПКТ103-10, що має номінальний струм патрона $I_{\text{п.ном}} = 100 \text{ А}$ та струмом плавкої вставки $I_{\text{п.в}} = 80 \text{ А}$.

Перевірка правильності вибору запобіжника виконана у вигляді табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Вибір високовольтного запобіжника

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{max}} = 12 \text{ кВ}$
$I_p = 39,3 \text{ А}$	$I_{\text{пв.н}} = 80 \text{ А}$
$I_{\text{макс}} = 78,3 \text{ А}$	$I_{\text{пв.н}} = 80 \text{ А}$
$I'' = 6,33 \text{ кА}$	$I_{\text{вим.н}} = 12,5 \text{ кА}$

Отже, запобіжник ПКТ-103-10-100-12,5У3 проходить всі перевірки, тому приймаємо його до встановлення на всіх ПС комбінату.

6.3.4 Вибір трансформаторів власних потреб

Власні потреби ЦРУ є одним з найбільш відповідальних споживачів електричної енергії, оскільки його безперебійна робота забезпечує нормальне функціонування всієї розподільної установки, а отже, і надійність електропостачання холодокомбінату в цілому.

Потужність трансформаторів власних потреб (ТВП) вибирається відповідно до розрахункового навантаження з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності роботи споживачів.

Значення навантажень окремих споживачів власних потреб прийняті згідно з [4, 5]. Розрахунок навантаження власних потреб ЦРУ холодокомбінату представлено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Навантаження власних потреб ЦРУ

Вид споживача	Установлена потужність, кВт		cosφ	Навантаження	
	одиниці	сумарна		P_y , кВт	Q_y , квар
Підігрів шаф КРУ 10 кВ	1 × 14	14	1,0	14	0,0
Підігрів шаф РЗ	1 × 14	14	1,0	14	0,0
Системи освітлення, опалення, вентиляції ЗРУ	-	7	1,0	7	0,0
Оперативні кола	-	2	1,0	2,0	0,0
Всього				37	0

Розрахункове навантаження споживачів власних потреб:

$$S_p = k_n \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{37^2 + 0^2} = 30 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де k_n – коефіцієнт попиту, що враховує коефіцієнти одночасності та завантаження обладнання, приймаємо 0,8 з [4].

Таким чином, приймаємо до установки в РУ 10 кВ ЦРУ комбінату два силові трансформатори ТМ-40/10:

$$S_{т.ном} = 40 > S_p = 30 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

6.3.5 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму вибираються за напругою установки, струмом первинного кола, вторинним навантаженням у класі точності 0,5 із послідуною перевіркою на динамічну стійкість.

Для лінійної шафи РУ 10 кВ ПС енергосистеми попередньо приймаємо до розгляду трансформатор струму ТЛК-10-2-400/5. Перевірка правильності вибору проводимо у вигляді табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Вибір трансформатору струму

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 183,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
$I_{рмах} = 366,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
Клас точності 0,5	0,5
$i_y = 26,5 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
$B_k = 209,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_2 = 0,12 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,4 \text{ Ом}$

де I_p – розрахунковий струм у кабельних лініях КЛ-1 (КЛ-2):

$$I_p = \frac{S_p + \Delta p_{кл} \cdot l \cdot k_3^2}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3308,7 + 25 \cdot 3,5 \cdot 0,56^2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 183,4 \text{ А};$$

Z_2 – повний опір у колі вторинної обмотки (вторинне навантаження) ТС. Оскільки, індуктивний опір вторинних струмових кіл незначний тому $Z_2 = r_2$.

Визначаємо попереднє значення опору з'єднувальних проводів [4, 5]:

$$r'_{пр} = Z_{2ном} - r_{прил} - r_k = 0,4 - 0,006 - 0,05 = 0,344 \text{ Ом};$$

$r_{прил}$ – опір приладів, що підключені до ТС:

$$r_{прил} = S_{прил} / I_{2.ном}^2 = 0,15 / 5^2 = 0,006 \text{ Ом};$$

де r_k – опір контактних з'єднань, у зв'язку з тим, що кількість приладів приєднаних до ТС менше 4-х, приймаємо рівним 0,05 Ом [4];

$I_{2.ном}$ – вторинний номінальний струм ТС марки ТЛК становить 5 А;

$S_{прил}$ – повна потужність, що споживають вимірювальні прилади, В·А.

Розрахунок повної потужності, що споживають прилади підключені до ТС проведено у вигляді табл. 6.7.

Використовуючи значення $r'_{пр}$ визначимо переріз з'єднувальних проводів:

$$S = \frac{\rho_{Cu} \cdot l_{роз}}{r_{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 10,4}{0,344} = 0,53 \text{ мм}^2;$$

де ρ_{Cu} – питомий опір мідних проводів, Ом/м·мм²;

Таблиця 6.7 – Вторинне навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Амперметр	ЕА0302/1У	0,1	-	0,1
Лічильник універсальний	NIK-2303-ART	0,05	-	0,05
Всього		0,15	-	0,15

$l_{\text{пр}}$ – довжина з'єднувальних проводів [4]:

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{3} \cdot l_{\text{роз}} = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,4 \text{ м};$$

де $l_{\text{роз}}$ – розрахункова довжина з'єднувальних проводів [8].

За умовою міцності згідно [1] приймаємо проводи з перерізом 2,5 мм².

Тоді, дійсний опір мідних з'єднувальних проводів складе:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{s} = \frac{0,0175 \cdot 10,4}{2,5} = 0,073 \text{ Ом};$$

Дійсне вторинне навантаження трансформатора струму:

$$Z_2 = r_{\text{пр}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,073 + 0,006 + 0,05 = 0,12 \text{ Ом}.$$

Отже, попередньо вибраний трансформатор струму марки ТЛК-10-2-400/5 задовольняє всім умовам, тому приймаємо його до установки.

Вибір ТС для інших приєднань ЦРУ 10 кВ холодокомбінату аналогічний розглянутому, тому виконаний у вигляді табл. Д.3-Д.5.

6.3.6 Вибір трансформаторів напруги

Перелік необхідних приладів для встановлення на одній системі шин прийнято згідно [4]. На ЦР встановлюються шафи серії КУ-10Ц, тому приймаємо до розгляду трансформатор напруги (ТН) типу НТМИ-10. Розрахунок вторинного навантаження ТН представлений у табл. Д.6, а його вибір – у табл. Д.7.

Отже, попередньо вибраний трансформатор напруги НТМИ-10-66УЗ проходить всі перевірки, тому приймаємо його до встановлення.

						Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

«Економія електроенергії в електроприводі»

Енергозбереження – це важливе державне питання, яке стало актуальним після здобуття Україною незалежності. Інтеграція у світову економіку вимагає створення продукції, яка може конкурувати на міжнародних ринках. Однак існуюча промислова база була розрахована на низьку вартість енергетичних ресурсів, які субсидувалися державою. Використання енерговитратних технологій і значна кількість застарілого, технічно зношеного обладнання призвели до критичних рівнів витрат і нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, що спричинило енергетичну кризу в Україні.

Провідні країни світу створили справжню індустрію енергозбереження, що дозволяє значно збільшити обсяги виробництва без суттєвого зростання енерговитрат. Варто зазначити, що під час вирішення проблем, пов'язаних з енергетичною кризою 1973 року в розвинутих країнах, вирішальну роль відіграли не збільшення видобутку паливно-енергетичних ресурсів, а конкретні заходи енергозбереження..

Збереження електроенергії є важливою складовою загальної стратегії захисту навколишнього середовища. Електродвигуни різного призначення, які споживають більше половини виробленої енергії, становлять значну частину серед споживачів електроенергії. Саме в цій сфері існують найбільші резерви для енергозбереження.

Переважає більшість електродвигунів працюють у нерегульованому режимі, що призводить до їх низької ефективності. Внаслідок недоліків у проектуванні та експлуатації електроприводів коефіцієнт завантаження багатьох машин ледве сягає 50%, що вимагає зменшення встановленої потужності двигунів. Робота привода в недовантаженому режимі спричиняє значні втрати, не враховуючи зниження коефіцієнта потужності. Загальна встановлена потужність асинхронних двигунів (АД) у країні складає приблизно 40-50 млн кВт [18].

На сучасному етапі розвитку промисловості в Україні питання розробки та впровадження методів управління енергоефективністю промислового електропривода набувають особливого значення. З одного боку, гостро постала проблема економії електроенергії, а з іншого боку, з'явилася реальна можливість ефективного використання електроенергії, особливо в контексті її головного споживача – електропривода.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		51

7.1 Структура сучасного електропривода

Сучасний автоматизований електропривод – це складна функціонально-взаємозалежна система, що об'єднує електродвигун і електричний перетворювач, що утворюють силовий канал. До цієї системи також входять пристрої керування перетвореною енергією та інформаційно-вимірювальні пристрої, які складають керуючий канал [15, 18].

Характерними рисами сучасного регульованого електропривода є наявність наступних основних елементів (рис. 7.1):

- асинхронного двигуна, що оптимізований за масогабаритними, вартісними та енергетичними показниками;
- перетворювача частоти;
- сенсорів для вимірювання енергетичних, механічних і технологічних параметрів;
- мікроконтролерної системи керування.

Завдання об'єднання різних за природою функціонально-закінчених елементів електропривода в єдину систему покладається на багаторівневі сполучні пристрої.

Перший рівень описує механіко-енергетичною взаємодією АД і робочого механізму та виконує роль механічного передавача енергії від електродвигуна до виконавчого механізму. Його функції зводяться до узгодження руху двигуна і виконавчого органу механізму при максимальному коефіцієнті корисної дії (ККД) передачі та забезпеченні стабільної роботи у всіх режимах відповідно до заданих параметрів згідно рівняння:

$$\frac{M_j}{\Delta\omega} = \beta - \beta_c < 0, \quad (7.1)$$

де M_j – динамічний момент привода;

$\Delta\omega$ – приріст частоти обертання;

β, β_c – жорсткості механічних характеристик, відповідно, двигуна і механізму.

Другий і третій рівні – електроенергетичні. Для досягнення максимального ККД і найменшого коефіцієнта спотворення живлячої напруги необхідно живити двигун квазісинусоїдальними струмом і напругою.

Четвертий рівень включає інтерфейси локального керування та регулювання параметрів енергетичного каналу привода. Вони реалізуються у вигляді портів, таймерів, цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) і підсилювачів для формування сигналів керування силовими транзисторами.

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

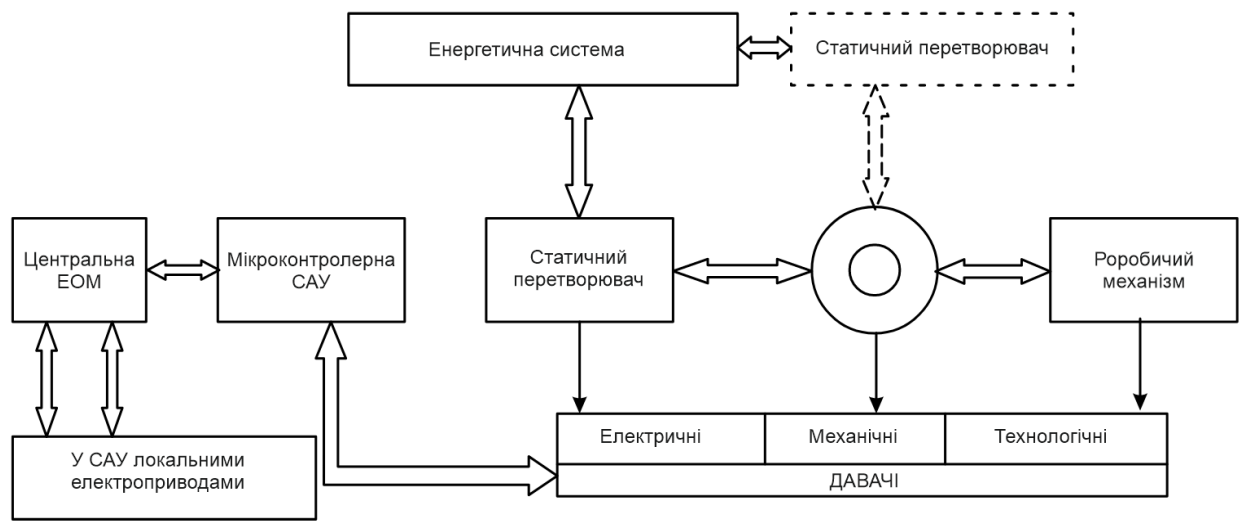


Рисунок 7.1 – Структура сучасного електропривода

П'ятий рівень включає пристрої інформаційно-виміральної системи привода. Вони здійснюють перетворення сигналів з первинних вимірних перетворювачів, гальванічну розв'язку, підсилення, інтегрування та аналого-цифрове перетворення сигналів для мікроконтролерної системи керування.

7.2 Напрями реалізації енергозбереження в промисловому електроприводі

Перший напрямок – покращення процедури вибору АД для конкретної технологічної установки. Оскільки недостатньо потужні двигуни швидко виходять з ладу, а надто потужні – перетворюють електроенергію неефективно.

Другий напрямок – підвищення економічності масового нерегульованого електроприводу. Він полягає в переході на енергозберігаючі двигуни (ЕД) і спеціально призначені для роботи з регульованим електроприводом.

У ЕД завдяки збільшенню маси активних матеріалів (трансформаторної сталі та міді) підвищуються номінальні значення ККД і $\cos\phi$. Однак доцільність використання ЕД повинна визначатися з урахуванням додаткових витрат, оскільки досягнення підвищення номінальних значень ККД і $\cos\phi$ до 5% вимагає збільшення маси сталі на 30-35%, міді на 20-25%, і призводить до збільшення загальної маси двигуна на 25-30% порівняно зі звичайними двигунами.

Орієнтовні залежності ККД і $\cos\phi$ від номінальної потужності для звичайних АД і ЕД подані на рис. 7.2.

Третій напрямок заключається в усуненні проміжних передач. Узагальнена схема електропривода включає: перетворювач чи механічний регулятор (коробка швидкостей, муфта ковзання), муфту, редуктор і робочий орган, який є частиною технологічної установки.

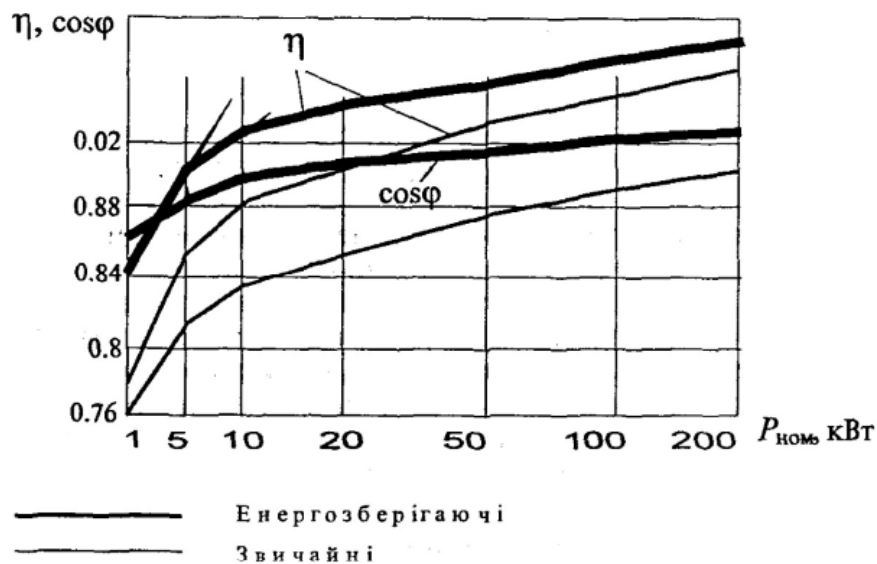


Рисунок 7.2 – Значення ККД та $\cos\varphi$ для ЕД і звичайних двигунів

Орієнтовні значення ККД структурних елементів електропривода складають:

- перетворювач – $\eta_{\text{п}} = 0,5 - 0,95$;
- двигун – $\eta_{\text{д}} = 0,75-5-0,95$;
- механічний регулятор – $\eta_{\text{рег}} \approx 0,9 + 0,95$;
- муфта – $\eta_{\text{м}} \approx 0,99$;
- редуктор – $\eta_{\text{р}} = 0,95$;
- робочий механізм – $\eta_{\text{рм}} \approx 0,95$.

Коефіцієнт корисної дії всієї системи електропривода визначається як добуток ККД окремих її складових

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{рег}} \cdot \eta_{\text{м.і}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{рм}}, \quad (7.2)$$

Підстановка у формулу (7.2) середніх значень коефіцієнта корисної дії для привода з асинхронним двигуном потужністю від 10 до 100 кВт дає значення ККД у діапазоні $\eta = 0,65-0,75$. При цьому в середньому від 7% до 10% потужності втрачається в механічних передачах.

Четвертий напрямок заключається в економії електричної енергії технологічними установками і механізмами шляхом підвищення ефективності виконання технологічного процесу та включає в себе наступні основні заходи:

- узгодження режимів роботи обладнання при зміні навантаження;
- підвищення ККД технологічної установки в цілому;
- регулювання продуктивності технологічної установки;
- упорядкування графіка навантажень;
- застосування сучасних видів електропривода;
- впровадження організаційних заходів.

П'ятий напрямок полягає у виборі раціональних режимів роботи та експлуатації електропривода. Це включає:

- вибір оптимального методу регулювання швидкості електропривода з урахуванням технологічних умов роботи;
- підвищення навантаження на робочі машини;
- уникнення неробочого режиму ходу;
- зменшення струму та втрат електроенергії АД при зміні навантаження;
- оптимізація динамічних режимів роботи.

Шостий напрямок заключається у виборі оптимального типу ЕП для конкретної технологічної установки та заміні нерегульованого електропривода регульованим. Це передбачає виконання таких кроків:

- детальний аналіз технологічного процесу, умов експлуатації ЕП і, як наслідок, розробка технічних вимог до електропривода;
- техніко-економічне порівняння та вибір оптимального типу ЕП;
- розрахунок системи електропривода, включаючи встановлену потужність і розробку системи керування;
- розробка проектної (конструкторської) документації.

Сьомий напрямок заключається в покращенні якості електричної енергії за допомогою засобів силової електроніки регульованого ЕП.

Регульований електропривод під час роботи впливає на електричну мережу, що проявляється у зниженні $\cos\phi$ на вході перетворювача, коливаннях напруги в мережі та спотворенні синусоїдальної форми кривої напруги.

7.3 Регулювання продуктивності вентиляторних установок

Режими роботи промислового вентилятора змінюються та залежать від багатьох чинників. Параметри витрати повітря змінюються на достатню величину, тому необхідно забезпечити максимально можливо зону економічних режимів роботи вентилятора.

При виборі оптимального методу та діапазону регулювання швидкості ЕП необхідно брати до уваги наступні фактори:

- сезонні коливання тиску та температури навколишнього середовища, які призводять до необхідності регулювання продуктивності в межах 10-15%;
- зміна режиму роботи впродовж доби (обідня перерва, робоча зміна) потребує зміни продуктивності на 15-20%;
- у святкові та ремонтні дні необхідна продуктивність може складати лише 30-50% робочого часу.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		55

Аеродинамічне регулювання здійснюється різними методами:

- дроселюванням;
- поворотом лопаток направляючого апарата;
- поворотом лопаток робочого колеса або закрилок.

Перший метод застосовується рідко внаслідок низької ефективності. Найбільш поширеним є метод регулювання направляючим апаратом, але він має обмежений діапазон економічного регулювання. Цей метод є найефективнішим, коли необхідно підтримувати постійну продуктивність, оскільки крива економічної роботи в цьому випадку стає менш крутою.

Більш ефективним є третій метод, але через складність та ненадійність конструкції його використання обмежене.

Найбільш перспективним є регулювання подачі шляхом зміни швидкості обертання робочого колеса, оскільки зі зміною частоти обертання вентилятора при постійній характеристиці зовнішньої мережі подача змінюється пропорційно першій степені, напір – пропорційно другій степені, а споживана потужність – пропорційно третій степені частоти обертання:

$$Q_1 = Q \cdot \left(\frac{n_1}{n} \right); \quad (7.3)$$

$$H_1 = H \cdot \left(\frac{n_1}{n} \right)^2; \quad (7.4)$$

$$P_1 = P \cdot \left(\frac{n_1}{n} \right)^3; \quad (7.5)$$

звідки

$$H_1 = H \left(\frac{Q_1}{Q} \right)^2. \quad (7.6)$$

На рис. 7.3 показані криві, які відображають економічність різних методів регулювання вентиляторних установок.

Аналіз кривих демонструє, що найбільш ефективним способом регулювання продуктивності вентиляторів є зміна швидкості частоти обертання, а найменш ефективним – дросельне регулювання. Розрахунки показують, що застосування регульованого приводу дозволяє скоротити витрату споживаної електричної енергії до 40%. Більшість цього економічного ефекту досягається за рахунок зменшення споживання електроенергії в періоди низького навантаження, коли продуктивність вентилятора може бути скорочена до 50% від максимального значення.

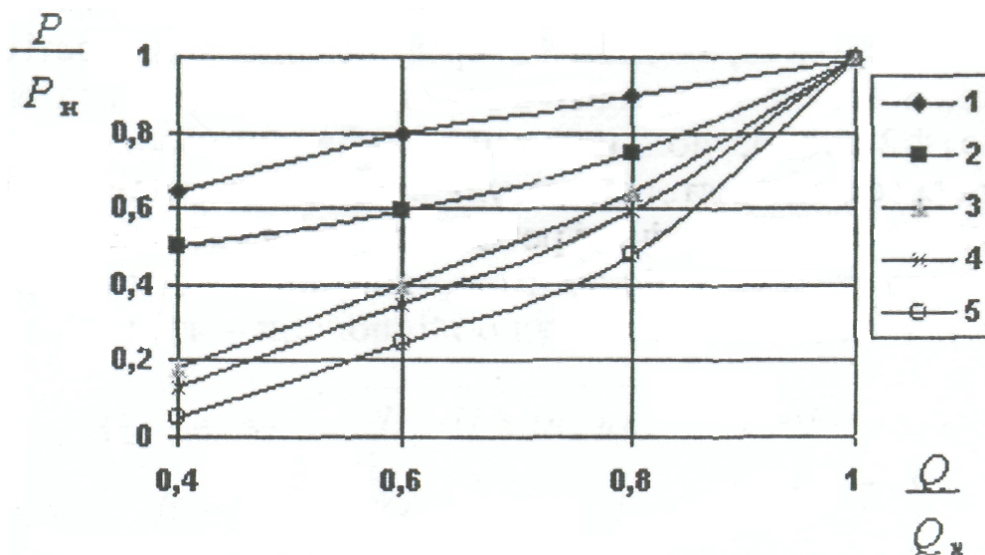


Рисунок 7.3 – Криві економічності регулювання ВУ різними способами:

- 1) дросельне регулювання; 2) направляющим апаратом;
- 3) муфтами ковзання; 4) реостатне з АД; 5) каскадними схемами з АД.

Основними перевагами методу регулювання частоти обертання вентилятора є наступні:

- висока економічність роботи;
- постійний коефіцієнт корисної дії;
- спрощення будови вентилятора за рахунок відсутності направляючих та поворотних пристроїв;
- збільшення зони економічної роботи та зниження споживання електричної енергії.

7.4 Керування продуктивністю насосних установок

Насосні агрегати потужністю від 2 до 50 кВт належать до масових промислових установок з подачею від 12 до 100 м³/год і напором від 20 до 80 мм водяного стовпа. У них досі переважає нерегульований електропривод з АД з КЗ ротором, а керування продуктивністю здійснюється досить неефективним методом – дроселюванням.

Традиційні методи регулювання подачі насосів технологічних установок спрямовані на вирішення технологічних завдань і практично не враховують енергетичних аспектів транспортування технічних рідин. За такого регулювання від 5-15%, а в деяких випадках до 25-30% споживаної електричної енергії витрачається нераціонально внаслідок:

- втрати енергії в дроселюючому пристрої;

- створення надлишкових напорів у мережі трубопроводів;
- втрат і непродуктивних витрат рідин;
- підвищення геометричного підйому при відкачці води з резервуарів.

На рис. 7.4 показані можливості зменшення потужності, яку споживає АД насоса, за допомогою регулювання швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням подачі за допомогою дросельної засувки.

При номінальній витраті та напорі насос працює в точці *A*, яка відповідає характеристиці магістралі 3 і *Q-H* характеристиці насоса (крива 1) за номінальної швидкості АД. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі (на рис. 7.4 показана витрата, що становить $0,6Q_{\text{ном}}$) внаслідок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці *B* характеристики 1, що призводить до зростання напору в мережі більше номінального. Потужність, що споживає АД насоса, визначається площею прямокутника *ODBF*.

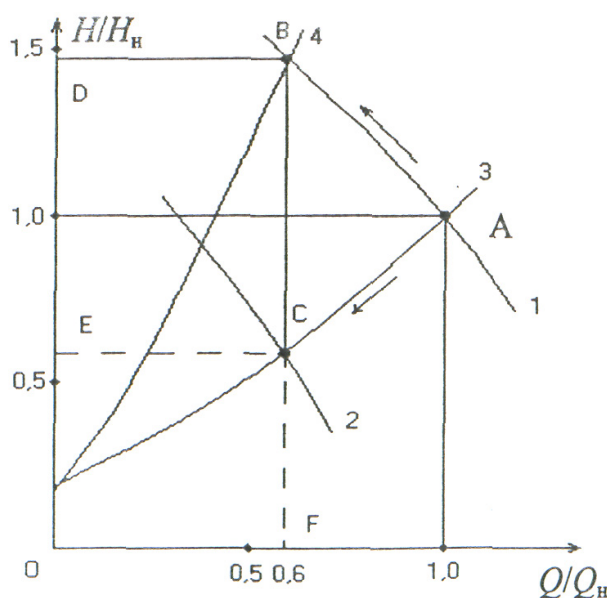


Рисунок 7.4 – Зниження потужності, споживаної АД насоса, при регулюванні швидкості робочого колеса та дросельною засувкою

При використанні регульованого електроприводу за рахунок зниження швидкості, насос працює при зниженні витрати в точці *C*, що відповідає іншій *Q-H* характеристиці (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна площі прямокутника *OESF*, що ілюструє можливості істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів.

На рис. 7.5 представлено криві споживання активної потужності насосу у залежності від різних способів регулювання подачі. Як видно з рис. 7.5, при подачі в обсязі 50% від розрахункового максимуму, необхідна потужність при дроселюванні (крива 1) складає $0,73P_{\text{ном}}$, при використанні запірно-регулюючої арматури (крива 2) – лише $0,5P_{\text{ном}}$, а при регулюванні частоти обертання АД (крива 3) – лише $0,14P_{\text{ном}}$.

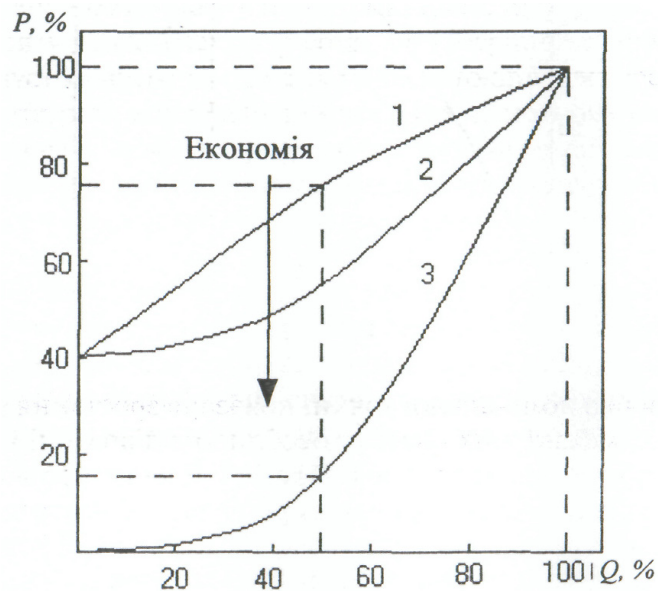


Рисунок 7.5 – Необхідна потужність АД за різних способів регулювання подачі

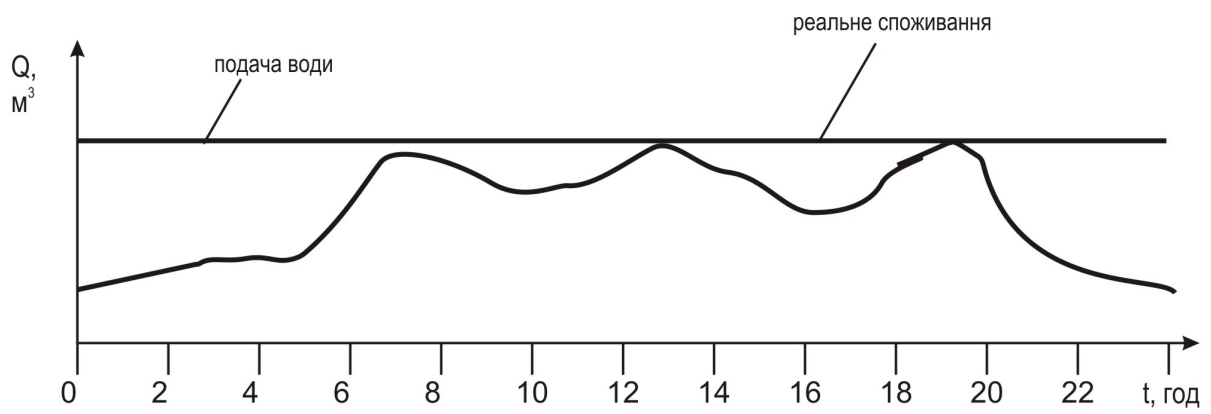
7.5 Приклад застосування частотно-регульованого електропривода

Визначимо приблизний строк окупності частотно-регульованого привода та економічний ефект на прикладі конкретного виробничого насосу, що розміщений цеху морозива №1, графіки роботи установки приведені на рис. 7.6.

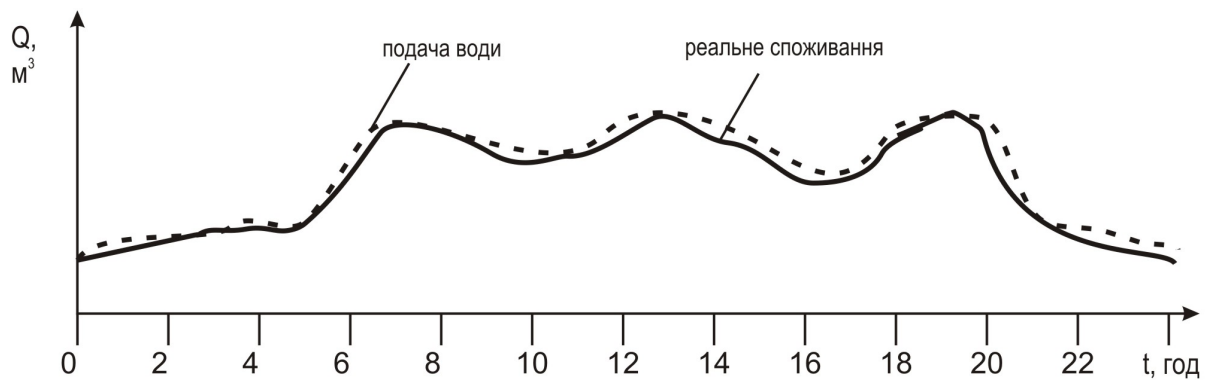
Параметри двигуна 4AM160S2: $P_{\text{ном}} = 15$ кВт; $f_{\text{ном}} = 50$ Гц, $\eta = 88\%$. Час роботи насосного агрегату $T_p = 5292$ год (1 рік по 3 зміни тривалістю 7 год). Намічаємо до розгляду два варіанти: регулювання подачі вентилем і за допомогою перетворювача частоти.

Нерегульований варіант. Подача весь час максимальна – 100%, тоді споживана потужність складе

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta} = \frac{15}{0,88} = 17 \text{ кВт.}$$



а)



б)

Рисунок 7.6 – Графіки роботи насосного агрегату:

а) без регулювання; б) з регулюванням

Річна вартість витраченої електроенергії:

$$C_{el} = c_0 \cdot P_n \cdot T_p = 5,217 \cdot 17 \cdot 5292 = 469,34 \text{ тис. грн.}$$

Варіант з ЧРП. При застосуванні частотно-регульованого електропривода в насосному агрегаті активну потужність АД визначаємо з графіка (рис. 7.6, б), а отримані значення заносимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Погодинні значення активної потужності АД насосу

t , год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P_i , %	27,2	36,0	27,4	40,0	42,5	44,4	75,6	92,9	88,4	83,7	79,1	80,0

продовження табл. 7.1

t , год	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
P_i , %	92,9	100	92,9	82,9	71,2	69,1	91,2	95,8	92,5	52,0	41,1	37,4

Добове споживання електроенергії двигуном насоса

$$P_{\text{н.а}} = P_1 \sum_{i=0}^{23} \frac{p_{*,i}}{100} = 278,15 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна вартість витраченої електроенергії:

$$C_{e2} = c_0 \cdot P_{\text{н}} \cdot N_{\text{д}} = 5,217 \cdot 278,15 \cdot 220 = 319,24 \text{ тис. грн.}$$

де $N_{\text{д}}$ – кількість робочих діб у році, шт.

Сумарні витрати на впровадження та експлуатацію ПЧ:

$$B_{\Sigma} = K + A + E = 32268,5 + 4609,8 + 1536,6 = 38414,9 \text{ грн.}$$

K – капітальні витрати на впровадження ПЧ:

$$K = B + \Pi = 30732 + 0,05 \cdot 30732 = 32268,5$$

B – вартість ПЧ FRECON FR500A-4T-015G;

Π – вартість пусконаладочних робіт і матеріалів;

A – річні амортизаційні витрати:

$$A = H_a \cdot B = 0,15 \cdot 30732 = 4609,8 \text{ грн.};$$

E – річні експлуатаційні витрати:

$$E = H_e \cdot B = 0,05 \cdot 11000 = 1536,6 \text{ грн.}$$

Річна економія електроенергії після впровадження ПЧ:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 17 \cdot 5292 - 278,15 \cdot 220 = 28771 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

де E_1, E_2 – витрата електроенергії АД насоса, відповідно, за 1-м та 2-м варіантами.

Річна економія на оплаті вартості електроенергії після впровадження ПЧ:

$$\Delta C_e = C_{e1} - C_{e2} = 469,34 - 319,24 = 150,1 \text{ тис. грн.}$$

Термін окупності регульованого електроприводу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\Sigma}}{\Delta E_p \cdot c_0} = \frac{38414,9}{28771 \cdot 5,217} = 0,26 \text{ року.}$$

Отже, для розглянутих умов термін окупності ЧРП для насосного агрегату складає лише 4 місяці.

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

7.6 Частотно-регульований електропривод з асинхронними двигунами

Швидкість АД практично пропорційна частоті напруги мережі живлення. Тому, зміну швидкості обертання двигуна можна досягти шляхом зменшення частоти споживаної напруги. З іншої сторони, момент асинхронного двигуна пропорційний магнітному потоку в його повітряному зазорі. Цей магнітний потік, у свою чергу, прямо пропорційний напрузі живлення та обернено пропорційний частоті напруги живлення. Отже, момент двигуна можливо змінити шляхом підлаштовування напруги живлення під будь-яку необхідну частоту.

Відповідно, для забезпечення постійного моменту асинхронного двигуна при змінних швидкостях, необхідно мати джерело енергії з регульованими напругою і частотою, яке буде підтримувати постійним співвідношення напруги до частоти:

$$U/f = \text{const.} \quad (7.7)$$

де U – напруга;

f – частота струму.

Найпоширенішим способом отримання цього типу енергії є перетворення змінного струму промислової частоти 50 Гц у постійний струм за допомогою керованого/некерованого випрямляча, а потім зворотнє перетворення постійного струму в змінний за допомогою інвертора. Таким чином, у цій схемі вихідна напруга регулюється випрямлячем, а вихідна частота – інвертором.

Основними елементами частотно-регульованого приводу є випрямляч, інвертор, асинхронний двигун і програмований мікроконтролер. Крім того, використовуються індуктивності та (або) ємності для стабілізації вихідної напруги випрямляча й зменшення її рівня вищих гармонік.

Незважаючи на різноманіття існуючих ПЧ, всі вони мають однакову класичну структуру (рис. 7.7), яка включає: трифазний мостовий некерований випрямляч (B), LC -фільтр (Φ) ланки постійного струму та трифазний мостовий автономний інвертор напруги (AIH).

У силовому каналі знаходяться: $КА$ – комутаційний апарат системи управління; $БД$ – блок сенсорів. У системі керування присутні: $ДЖ$ – джерело живлення; $МК$ – мікроконтролер; $ВЗ$ – вузол захисту; ΦI – формувач керуючих імпульсів.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		62

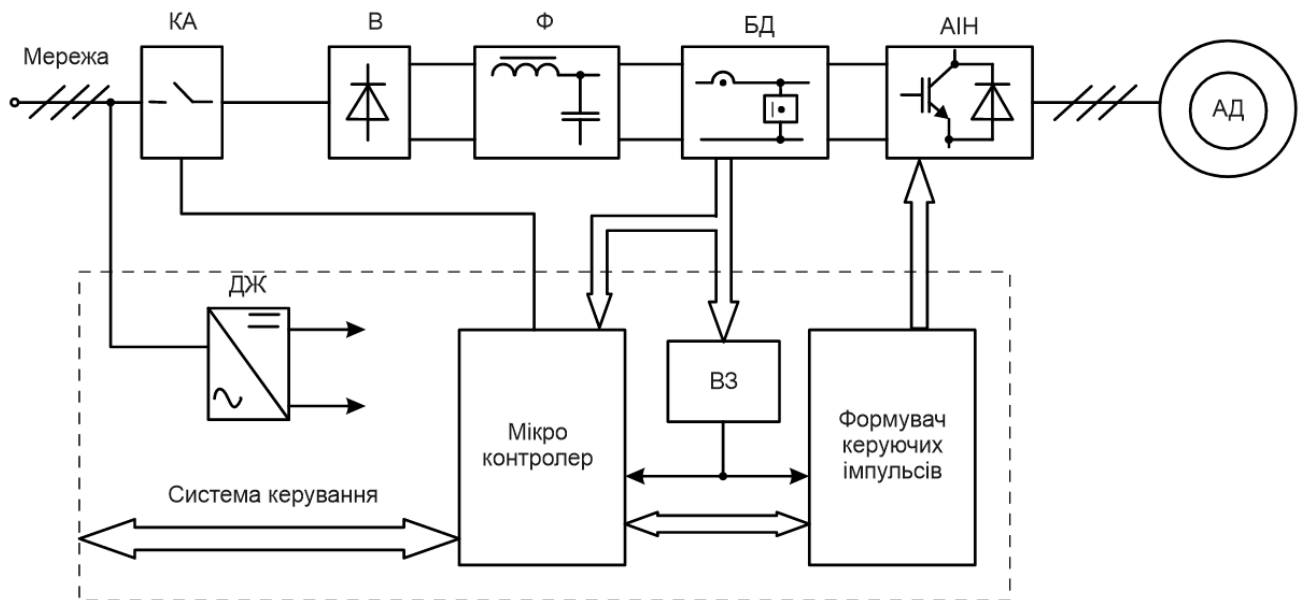


Рисунок 7.7 – Структурна схема ПЧ з IGBT-транзисторами

Принцип дії ЧРП полягає в наступному. Змінна напруга мережі $U_{\text{вх}}$ з постійною амплітудою і частотою ($U_{\text{вх}} = \text{const}$, $f_{\text{вх}} = \text{const}$) подається на випрямляч. На виході з нього для згладжування пульсацій випрямленої напруги ($U_{\text{випр}}$) використовується фільтр. Випрямляч і ємнісний фільтр утворюють так звану ланку постійного струму. З виходу фільтра постійна напруга U_d надходить на вхід автономного інвертора напруги.

У інверторі здійснюється перетворення постійної напруги U_d у трифазну імпульсну напругу U_i змінюваної амплітуди та частоти. За сигналами системи керування кожна обмотка АД підключається через відповідні силові транзистори інвертора до позитивного і негативного полюсів ланки постійного струму. Тривалість підключення кожної обмотки впродовж періоду проходження імпульсів модулюється за синусоїдальним законом. Найбільша ширина імпульсів забезпечується в середині напівперіоду, а на початку і кінці напівперіоду зменшується. Отже, система керування забезпечує широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) напруги, що подається на обмотки двигуна. Амплітуда і частота напруги визначаються параметрами синусоїдальної функції, що модулює.

Висока несуча частота ШІМ (2...15 кГц) дозволяє використовувати обмотки двигуна як фільтр, завдяки їх високій індуктивності. Тому через них протікають фактично синусоїдальні струми.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання холодокомбінату.

Силові електричні навантаження цехів були розраховані за методом впорядкованих діаграм. Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ ЦРУ комбінату склало 6,5 МВт і 5,5 Мвар.

Для побудови графіків електричних навантажень використовувалися типові графіки підприємств харчової промисловості. При розрахунку були враховані зимовий та літній періоди, а також робочі та вихідні дні календарного року.

З метою вибору схеми приєднання комбінату до енергосистеми було проведено техніко-економічне порівняння двох варіантів:

1) електропостачання здійснюється від ПС енергосистеми по КЛ довжиною 3,5 км на напрузі 10 кВ. При цьому на території комбінату будується ЦРУ 10 кВ;

2) електропостачання здійснюється від ПС енергосистеми по КЛ довжиною 3,5 км із напругою 35 кВ. На території комбінату будується ГПП, на якій встановлюються два трансформатори ТМН-6300/35/10 кВ. З метою резервування передбачається ремонтна перемичка між живлячими лініями із роз'єднувачів.

За результатами розрахунків був прийнятий варіант №1.

Аналіз режимів реактивної потужності, показав, що доцільна установка у мережі 10 кВ конденсаторних установок марки УКРМ-10,5-450, а в мережі 0,4 кВ марки ККУ-0,4 потужністю від 80 до 400 квар.

Розрахунок струмів КЗ у мережі 10 кВ виконано у відносних базисних одиницях для максимального режиму роботи СЕП. На основі отриманих результатів розрахунку проведено вибір високовольного електрообладнання наступних типів: вакуумних вимикачів ВР1-10-20/630УЗ, трансформаторів струму марки ТЛК-10; вимикачів навантаження ВНРп-10/400-10зУЗ, запобіжників ПКТ-103-10-100-12,5УЗ; кабельних лінії 10 кВ марок ААБл та ААШв.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглянуто структуру сучасного електропривода, проаналізовано шляхи електрозбереження в промисловому електроприводі. Проаналізовано керування продуктивністю вентиляторних і насосних установок. Обґрунтовано доцільність застосування частотно-регульованого електроприводу з метою економії електроенергії у насосному агрегаті.

Загалом, кваліфікаційна робота відповідає технічним і економічним вимогам.

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
2. Василега П. О. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. Суми: Сумський державний університет, 2019. 521 с.
3. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
4. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський та ін. М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. 274 с.
5. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування / В. Г. Рудницький. Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. 153 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів / Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Г. Г. Півняка. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання: / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ «В справі», 2016. 260 с.
9. Закладний О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. К.: Кондор, 2005. 408 с.
10. Енергозбереження в промисловості. Частина 1 / А. В. Праховник, О. М. Суходоля, С. П. Денисюк, В. В. Прокопенко. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 517 с.
11. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад.: П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. 80 с.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		65

ДОДАТКИ

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

Додаток А. Розрахунок електричних навантажень

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

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. спо-живачів	Встановлена потужність, кВт		m	k _ε	cosφ	tgφ	Середнє наванта-ження за зміну, кВт		n _ε	K _м	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Цех морозива №1	57	1,1 - 22,0	539,0	20	0,62	0,75	0,89	332,1	296,0	49	1,07	355,0	296,0	462,2
2	Головний виробничий корпус	110	1,1 - 45,0	1090,3	41	0,57	0,71	0,98	620,5	609,3					
	Насоси	32	3,0 - 7,5	146,0		0,70	0,80	0,75	102,2	76,7					
	Верстати	3	1,5 - 5,5	10,0		0,12	0,50	1,73	1,2	2,1					
	Мийна машина	8	2,2 - 2,2	17,6		0,35	0,50	1,73	6,2	10,7					
	Вентилятор	22	2,2 - 7,5	100,2		0,65	0,80	0,75	65,1	48,8					
	Установка ОЛВ	8	9,1 - 9,1	72,8		0,40	0,65	1,17	29,1	34,0					
	Компресор	6	45,0 - 45,0	270,0		0,70	0,80	0,75	189,0	141,8					
	Фризер	18	20,5 - 20,5	369,0		0,50	0,60	1,33	184,5	246,0					
	Тортова машина	3	1,1 - 1,1	3,3		0,35	0,50	1,73	1,2	2,0					
	Глазуроварка	4	6,0 - 6,0	24,0		0,50	0,85	0,62	12,0	7,4					
	Ескимогенератор	2	14,2 - 18,5	46,9		0,45	0,55	1,52	21,1	32,0					
	Ліфт	2	7,5 - 15,0	22,5		0,20	0,50	1,73	4,5	7,8					
	Ел. плита	2	4,0 - 4,0	8,0		0,55	1,00	0	4,4	0,0					
	Всього	110	1,1 - 45,0	1090,3	41	0,57	0,71	0,98	620,5	609,3	48,0	1,08	670,9	609,3	906,3
3	Склад	9	1,1 - 10,0	56,8	9	0,58	0,70	1,03	33,0	34,0	9,0	1,28	42,1	37,4	56,3
4	Компресорна №1	60	3,0 - 160,0	1795,5	53	0,70	0,79	0,76	1249,2	954,2	22,0	1,09	1365,4	954,2	1665,8
5	Компресорна №2	27	5,5 - 160,0	1420,5	29	0,70	0,79	0,78	987,3	768,2	18,0	1,11	1093,9	768,2	1336,7
6	Діло електрокар	32	1,7 - 15,0	274,7	9	0,38	0,52	1,63	104,3	170,4	32,0	1,20	124,9	170,4	211,3
7	Компресорна №3	23	2,2 - 160,0	1637,5	73	0,70	0,80	0,75	1144,3	858,2	20	1,10	1256,9	858,2	1521,9
8	Фріонова морозильна камера	26	1,5 - 22,0	203,0	15	0,69	0,80	0,75	140,8	105,6	18	1,11	156,1	105,6	188,4
9	Конденсатне відділення	6	7,5 - 22,0	103,5	3	0,70	0,80	0,75	72,5	54,3	6	1,23	89,1	59,8	107,3
10	Цех морозива №3	63	1,1 - 45,0	435,9	3	0,58	0,70	1,02	251,2	255,3	19	1,16	291,9	255,3	387,8
11	Котельня	11	5,5 - 45,0	117,0	8	0,66	0,75	0,88	77,4	67,8	5	1,31	101,2	74,6	125,7
12	Градірня	10	4,0 - 10,0	88,0	3	0,72	0,80	0,75	63,0	47,3	10	1,15	72,4	52,0	89,2
13	Морозильна камера №1	10	1,5 - 5,5	40,4	4	0,65	0,80	0,75	26,3	19,7	10	1,20	31,5	21,7	38,2
14	Механічна майстерня	42	0,6 - 12,0	222,1	20	0,28	0,56	1,48	62,1	92,0	37	1,24	76,9	92,0	119,9
15	Вафельний цех №1	18	4,0 - 25,5	247,0	6	0,52	0,87	0,56	127,5	71,0	18	1,21	153,7	71,0	169,3
16	Цех морозива №2	53	1,1 - 45,0	526,6	41	0,63	0,75	0,89	331,1	294,1	23	1,12	369,8	294,1	472,5
17	Вафельний цех №2	24	3,0 - 25,5	282,5	9	0,52	0,73	0,94	147,8	138,9	22	1,17	173,2	138,9	222,0
18	Морозильна камера №2	10	1,5 - 5,5	44,4	4	0,70	0,80	0,75	31,1	23,3	10	1,16	36,1	25,6	44,3
19	Адмінбудинок	86	0,1 - 15,0	129,9	150	0,60	0,79	0,78	77,8	60,8	17	1,16	90,5	60,8	109,0
	Всього по холодокомбінату														
	на шинах 0,4 кВ	677	0,1 - 160	9254,6	1600	0,635	0,77	0,84	5879,0	4920,2	116	1,03	6074,5	4920,2	7817,2

Таблиця А.2 – Розрахунок освітлювальних навантажень

№ п/п	Назва підрозділу	F , m^2	P_0 , Вт/м	$\cos\varphi$	P_B , кВт	k_n	k_1	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Цех морозива №1	750	21,0	0,9	15,8	0,85	1,20	16,1	7,8	17,9
2	Головний виробничий корпус	5400	21,0	0,9	113,4	0,95	1,20	129,3	62,6	143,6
3	Склад	672	8,0	0,5	5,4	0,6	1,12	3,6	6,3	7,2
4	Компресорна №1	456	15,0	0,5	6,8	0,85	1,12	6,5	11,3	13,0
5	Компресорна №2	210	15,0	0,5	3,2	0,85	1,12	3,0	5,2	6,0
6	Депо електрокар	171	13,0	0,5	2,2	0,85	1,12	2,1	3,7	4,2
7	Компресорна №3	456	15,0	0,5	6,8	0,85	1,12	6,5	11,3	13,0
8	Фріонова морозильна камера	570	10,0	1,0	5,7	0,6	1,00	3,4	0,0	3,4
9	Конденсатне відділення	336	12,0	1,0	4,0	0,6	1,00	2,4	0,0	2,4
10	Цех морозива №3	1372	21,0	0,9	28,8	0,95	1,20	32,8	15,9	36,5
11	Котельна	300	10,0	0,5	3,0	0,85	1,12	2,9	4,9	5,7
12	Градірня	143	1,0	0,5	0,1	0,6	1,12	0,1	0,2	0,2
13	Морозильна камера №1	520	10,0	1,0	5,2	0,6	1,00	3,1	0,0	3,1
14	Механічна майстерня	924	15,0	0,5	13,9	0,85	1,12	13,2	22,9	26,4
15	Вафельний цех №1	555	22,0	0,9	12,2	0,85	1,20	12,5	6,0	13,8
16	Цех морозива №2	1136	21,0	0,9	23,9	0,95	1,20	27,2	13,2	30,2
17	Вафельний цех №2	672	22,0	0,9	14,8	0,85	1,20	15,1	7,3	16,8
18	Морозильна камера №2	620	10,0	1,0	6,2	0,6	1,00	3,7	0,0	3,7
19	Адмінбудинок	4680	22,0	0,9	103,0	0,8	1,20	98,8	47,9	109,8
	Освітлення території	12677	0,3	0,5	3,8	1,0	1,12	4,3	7,4	8,5
	Всього				378,1			386,6	233,7	451,7

Таблиця А.3 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кільк. ел. спо- живачів	Встановлена потужність, кВт		m	k _в	cos φ	tg φ	Середнє наванта- ження за зміну, кВт		n _ε	k _м	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					P _{ср} кВт	Q _{ср} квар			P ^p кВт	Q ^p квар	S ^p кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-1 (2х1000 кВА)														
1	Цех морозива №1														
	силове	57	1,1 - 22	539,0	20	0,62	0,75	0,89	332,1	296,0	49	1,07	355,0	296,0	462,2
	освітлювальне								15,8	7,6			16,1	7,8	
	Всього								347,9	303,6			371,0	303,8	479,5
2	Головний виробничий корпус														
	силове	110	1,1 - 45	1090,3	41	0,57	0,71	0,98	620,5	609,3	48	1,08	670,9	609,3	906,3
	освітлювальне								113,4	54,9			129,3	62,6	
	Всього								733,9	664,2			800,2	671,9	1044,9
8	Фріонова морозильна камера														
	силове	26	1,5 - 22	203,0	15	0,69	0,80	0,75	140,8	105,6	18	1,11	156,1	105,6	188,4
	освітлювальне								5,7	0,0			3,4	0,0	
	Всього								146,5	105,6			159,5	105,6	191,2
11	Котельня														
	силове	11	5,5 - 45	117,0	8	0,66	0,75	0,88	77,4	67,8	5	1,31	101,2	74,6	125,7
	освітлювальне								3,0	5,2			2,9	4,9	
	Всього								80,4	73,0			104,0	79,6	131,0
	Освітлення території								3,8	6,6			4,3	7,4	
	Всього по ТП -1 (2х1000 кВА)														
	силове	204	1,1 - 45	1949,3	41	0,60	0,74	0,92	1170,7	1078,7	87	1,05	1224,9	1078,7	1632,2
	освітлювальне								141,7	74,3			155,9	82,7	
	батареї конденсаторів												-960,0		
	всього												1380,8	201,4	1395,4
	втрати у трансформаторах												16,8	81,5	
	Всього на шинях 10 кВ ТП-1												1397,6	283,0	1426,0

продовження табл. А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-2 (2х1000 кВА)														
3	Склад														
	силове	9	1,1 - 10	56,8	9	0,58	0,70	1,03	33,0	34,0	9	1,28	42,1	37,4	56,3
	освітлювальне								5,4	9,3			3,6	6,3	
	Всього								38,3	43,3			45,7	43,6	63,2
4	Компресорна №1														
	силове	60	3 - 160	1795,5	53	0,70	0,79	0,76	1249,2	954,2	22	1,09	1365,4	954,2	1665,8
	освітлювальне								6,8	11,8			6,5	11,3	
	Всього								1256,0	966,0			1371,9	965,5	1677,6
	Всього по ТП -2 (2х1000 кВА)														
	силове	69	1,1 - 160	1852,3	145	0,69	0,79	0,77	1282,2	988,2	23	1,09	1399,3	988,2	1713,1
	освітлювальне								12,2	21,2			10,1	17,5	
	батареї конденсаторів													-960,0	
	всього												1409,4	45,7	1410,2
	втрати у трансформаторах												17,0	82,7	
	Всього на шинях 10 кВ ТП-2												1426,5	128,4	1432,2
	ТП-3 (2х1000 кВА)														
5	Компресорна №2														
	силове	27	5,5 - 160	1420,5	29	0,70	0,79	0,78	987,3	768,2	18	1,11	1093,9	768,2	1336,7
	освітлювальне								3,2	5,5			3,0	5,2	
	Всього								990,5	773,6			1096,9	773,4	1342,1
9	Конденсатне відділення														
	силове	6	7,5 - 22	103,5	3	0,70	0,80	0,75	72,5	54,3	6	1,23	89,1	59,8	107,3
	освітлювальне								4,0	0,0			2,4	0,0	
	Всього								76,5	54,3			91,5	59,8	109,3
12	Градирня														
	силове	10	4,0 - 10,0	88,0	3	0,72	0,80	0,75	63,0	47,3	10	1,15	72,4	52,0	89,2
	освітлювальне								0,1	0,2			0,1	0,2	
	Всього								63,1	47,5			72,5	52,1	89,3

продовження табл. А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14	Механічна майстерня														
	силове	42	0,6 - 12,0	222,1	20	0,28	0,56	1,48	62,1	92,0	37	1,24	76,9	92,0	119,9
	освітлювальне								13,9	24,0			13,2	22,9	
	Всього								75,9	116,0			90,1	114,8	145,9
	Всього по ТП - 3 (2х1000 кВА)														
	силове	88	0,6 - 160	1834,1	267	0,65	0,78	0,81	1184,8	961,7	23	1,11	1314,7	961,7	1628,9
	освітлювальне								21,2	29,7			18,7	28,2	
	батарей конденсаторів													-600,0	
	Всього												1333,4	389,9	1389,3
	втрати у трансформаторах												16,7	81,1	
	Всього на шинях 10 кВ ТП-3												1350,1	471,0	1429,9
	ТП-4 (2х1000 кВА)														
6	Діпо електрокар														
	силове	32	1,7 - 15,0	274,7	9	0,38	0,52	1,63	104,3	170,4	32	1,20	124,9	170,4	211,3
	освітлювальне								2,2	3,9			2,1	3,7	
	Всього								106,5	174,3			127,0	174,1	215,5
7	Компресорна №3														
	силове	23	2,2 - 160	1637,5	73	0,70	0,80	0,75	1144,3	858,2	20	1,10	1256,9	858,2	1521,9
	освітлювальне								6,8	11,8			6,5	11,3	
	Всього								1151,1	870,0			1263,4	869,5	1533,6
	Всього по ТП - 4 (2х1000 кВА)														
	силове	55	1,7 - 160	1912,2	94	0,65	0,77	0,82	1248,6	1028,6	24	1,10	1377,8	1028,6	1719,4
	освітлювальне								9,1	15,7			8,6	14,9	
	батарей конденсаторів													-800,0	
	всього														
	втрати у трансформаторах												1386,4	243,5	1407,6
	Всього на шинях 10 кВ ТП-4												17,0	82,5	
													1403,4	326,0	1440,8

продовження табл. А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-5 (2х1000 кВА)														
10	Цех морозива №3														
	силове	63	1,1 - 45	435,9	3	0,58	0,70	1,02	251,2	255,3	19	1,16	291,9	255,3	387,8
	освітлювальне								28,8	14,0			32,8	15,9	
	Всього								280,0	269,2			324,7	271,2	423,1
13	Морозильна камера №1														
	силове	10	1,5 - 5,5	40,4	4	0,65	0,80	0,75	26,3	19,7	10	1,20	31,5	21,7	38,2
	освітлювальне								5,2	0,0			3,1	0,0	
	Всього								31,5	19,7			34,6	21,7	21,7
16	Цех морозива №2														
	силове	53	1,1 - 45	526,6	41	0,63	0,75	0,89	331,1	294,1	23	1,12	369,8	294,1	472,5
	освітлювальне								23,9	11,6			27,2	13,2	
	Всього								354,9	305,7			397,0	307,3	502,0
18	Морозильна камера №2														
	силове	10	1,5 - 5,5	44,4	4	0,70	0,80	0,75	31,1	23,3	10	1,16	36,1	25,6	44,3
	освітлювальне								6,2	0,0			3,7	0,0	
	Всього								37,3	23,3			39,8	25,6	47,3
15	Вафельний цех №1														
	силове	18	4 - 25,5	247,0	6	0,52	0,87	0,56	127,5	71,0	18	1,21	153,7	71,0	169,3
	освітлювальне								12,2	5,9			12,5	6,0	
	Всього								139,7	76,9			166,1	77,1	183,1
17	Вафельний цех №2														
	силове	24	3 - 25,5	282,5	9	0,52	0,73	0,94	147,8	138,9	22	1,17	173,2	138,9	222,0
	освітлювальне								14,8	7,2			15,1	7,3	
	Всього								162,6	146,0			188,3	146,2	238,4
19	Адмінбудинок														
	силове	86	0,1 - 15	129,9	150	0,60	0,79	0,78	77,8	60,8	17	1,16	90,5	60,8	109,0
	освітлювальне								103,0	49,9			98,8	47,9	
	Всього								180,8	110,6			189,3	108,6	218,3

продовження табл. А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по ТП -5 (2х1000 кВА)														
	силове	264	0,1 - 45	1706,7	450	0,58	0,75	0,87	992,8	863,0	76	1,05	1046,9	863,0	1356,8
	освітлювальне								194,0	88,4			193,3	90,3	
	батарей конденсаторів												-350,0		
	всього												1240,2	603,3	1379,2
	втрати у трансформаторах												16,5	80,3	
	Всього на шинях 10 кВ ТП-5												1256,7	683,6	1430,6
	Всього по холодокомбінату														
	силове	680	0,1 - 160	9254,6	1600	0,635	0,77	0,84	5877,6	4911,7	116	1,03	6073,2	4911,7	7810,8
	освітлювальне								378,1	229,3			386,6	233,7	
	батарей конденсаторів 0,4 кВ													-3670	
	Всього								6255,7	5141,0			6459,8	1475,4	6626,1
	втрати у трансформаторах												84,0	408,1	
	батарей конденсаторів 10 кВ													-900,0	
	Всього по холодокомбінату														
	на шинях 10 кВ												6543,8	983,5	6617,3

Таблиця А.4 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної повної потужностей робочої зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i}, \%$	$P_{з.р.i}, \text{кВт}$	$Q_{*i}, \%$	$Q_{з.р.i}, \text{квар}$	$S_{з.р.i}, \text{кВА}$
1	0 – 1	60,0	2748,4	55,0	378,6	2774,4
2	1 – 2	60,0	2748,4	55,0	378,6	2774,4
3	2 – 3	60,0	2748,4	55,0	378,6	2774,4
4	3 – 4	60,0	2748,4	58,0	399,3	2777,3
5	4 – 5	60,0	2748,4	58,0	399,3	2777,3
6	5 – 6	60,0	2748,4	55,0	378,6	2774,4
7	6 – 7	60,0	2748,4	70,0	481,9	2790,3
8	7 – 8	70,0	3206,5	80,0	550,8	3253,4
9	8 – 9	90,0	4122,6	80,0	550,8	4159,2
10	9 – 10	90,0	4122,6	100,0	688,5	4179,7
11	10 – 11	100,0	4580,7	100,0	688,5	4632,1
12	11 – 12	100,0	4580,7	90,0	619,6	4622,4
13	12 – 13	90,0	4122,6	90,0	619,6	4168,9
14	13 – 14	90,0	4122,6	80,0	550,8	4159,2
15	14 – 15	90,0	4122,6	90,0	619,6	4168,9
16	15 – 16	95,0	4351,6	90,0	619,6	4395,5
17	16 – 17	80,0	3664,5	85,0	585,2	3711,0
18	17 – 18	75,0	3435,5	60,0	413,1	3460,2
19	18 – 19	80,0	3664,5	60,0	413,1	3687,7
20	19 – 20	70,0	3206,5	60,0	413,1	3233,0
21	20 – 21	55,0	2519,4	65,0	447,5	2558,8
22	21 – 22	55,0	2519,4	65,0	447,5	2558,8
23	22 – 23	50,0	2290,3	52,0	358,0	2318,1
24	23 – 24	50,0	2290,3	52,0	358,0	2318,1

Таблиця А.5 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної і повної потужностей вихідної зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i}, \%$	$P_{з.в.i}, \text{кВт}$	$Q_{*i}, \%$	$Q_{з.в.i}, \text{квар}$	$S_{з.в.i}, \text{кВА}$
1	0 – 1	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
2	1 – 2	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
3	2 – 3	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
4	3 – 4	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
5	4 – 5	33,0	1511,6	31,0	213,4	1526,6
6	5 – 6	33,0	1511,6	31,0	213,4	1526,6
7	6 – 7	55,0	2519,4	50,0	344,2	2542,8
8	7 – 8	55,0	2519,4	50,0	344,2	2542,8
9	8 – 9	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
10	9 – 10	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
11	10 – 11	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
12	11 – 12	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
13	12 – 13	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
14	13 – 14	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
15	14 – 15	55,0	2519,4	52,0	358,0	2544,7
16	15 – 16	55,0	2519,4	55,0	378,6	2547,7
17	16 – 17	50,0	2290,3	40,0	275,4	2306,8
18	17 – 18	50,0	2290,3	40,0	275,4	2306,8
19	18 – 19	52,0	2381,9	42,0	289,1	2399,4
20	19 – 20	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
21	20 – 21	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
22	21 – 22	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
23	22 – 23	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7
24	23 – 24	33,0	1511,6	30,0	206,5	1525,7

Таблиця А.6 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної повної потужностей робочої літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i}\%$	$P_{л.р.i}$, кВт	$Q_{*i}\%$	$Q_{л.р.i}$, квар	$S_{л.р.i}$, кВА
1	0 – 1	65,0	4253,5	62,0	609,8	4297,0
2	1 – 2	65,0	4253,5	62,0	609,8	4297,0
3	2 – 3	65,0	4253,5	64,0	629,4	4299,8
4	3 – 4	65,0	4253,5	62,0	609,8	4297,0
5	4 – 5	60,0	3926,3	65,0	639,3	3978,0
6	5 – 6	60,0	3926,3	65,0	639,3	3978,0
7	6 – 7	65,0	4253,5	68,0	668,8	4305,7
8	7 – 8	80,0	5235,0	80,0	786,8	5293,8
9	8 – 9	90,0	5889,4	90,0	885,2	5955,6
10	9 – 10	100,0	6543,8	100,0	983,5	6617,3
11	10 – 11	100,0	6543,8	100,0	983,5	6617,3
12	11 – 12	100,0	6543,8	98,0	963,8	6614,4
13	12 – 13	90,0	5889,4	92,0	904,8	5958,5
14	13 – 14	90,0	5889,4	90,0	885,2	5955,6
15	14 – 15	95,0	6216,6	94,0	924,5	6285,0
16	15 – 16	95,0	6216,6	94,0	924,5	6285,0
17	16 – 17	95,0	6216,6	96,0	944,2	6287,9
18	17 – 18	75,0	4907,9	75,0	737,6	4963,0
19	18 – 19	70,0	4580,7	70,0	688,5	4632,1
20	19 – 20	70,0	4580,7	70,0	688,5	4632,1
21	20 – 21	75,0	4907,9	72,0	708,1	4958,7
22	21 – 22	75,0	4907,9	72,0	708,1	4958,7
23	22 – 23	75,0	4907,9	70,0	688,5	4955,9
24	23 – 24	75,0	4907,9	70,0	688,5	4955,9

Таблиця А.7 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної і повної потужностей вихідної літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i}\%$	$P_{л.в.i}$, кВт	$Q_{*i}\%$	$Q_{л.в.i}$, квар	$S_{л.в.i}$, кВА
1	0 – 1	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
2	1 – 2	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
3	2 – 3	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
4	3 – 4	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
5	4 – 5	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
6	5 – 6	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
7	6 – 7	50,0	3271,9	50,0	491,8	3308,6
8	7 – 8	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
9	8 – 9	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
10	9 – 10	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
11	10 – 11	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
12	11 – 12	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
13	12 – 13	60,0	3926,3	60,0	590,1	3970,4
14	13 – 14	55,0	3599,1	53,0	521,3	3636,6
15	14 – 15	50,0	3271,9	53,0	521,3	3313,2
16	15 – 16	55,0	3599,1	55,0	540,9	3639,5
17	16 – 17	53,0	3468,2	52,0	511,4	3505,7
18	17 – 18	55,0	3599,1	54,0	531,1	3638,1
19	18 – 19	55,0	3599,1	54,0	531,1	3638,1
20	19 – 20	55,0	3599,1	54,0	531,1	3638,1
21	20 – 21	50,0	3271,9	49,0	481,9	3307,2
22	21 – 22	50,0	3271,9	48,0	472,1	3305,8
23	22 – 23	50,0	3271,9	49,0	481,9	3307,2
24	23 – 24	50,0	3271,9	49,0	481,9	3307,2

Таблиця А.8 – Розрахунок річних графіків за активної, реактивної та повної потужностей

№ п/п	Тривалість ступеня, год	Потужність P , кВт	Тривалість ступеня, год	Потужність Q , квар	Тривалість ступеня, год	Потужність S , кВт·А
1	2	3	4	5	6	7
1	129	6543,8	180	688,5	129	6617,3
2	129	6543,8	180	688,5	129	6617,3
3	129	6543,8	180	619,6	129	6614,4
4	129	6216,6	180	619,6	129	6287,9
5	129	6216,6	180	619,6	129	6285,0
6	129	6216,6	180	619,6	129	6285,0
7	129	5889,4	24	590,1	129	5958,5
8	129	5889,4	24	590,1	129	5955,6
9	129	5889,4	24	590,1	129	5955,6
10	129	5235,0	24	590,1	129	5293,8
11	129	4907,9	24	590,1	129	4963,0
12	129	4907,9	24	590,1	129	4958,7
13	129	4907,9	129	590,1	129	4958,7
14	129	4907,9	129	590,1	129	4955,9
15	129	4907,9	129	590,1	129	4955,9
16	129	4580,7	129	590,1	129	4632,1
17	129	4580,7	129	590,1	129	4632,1
18	180	4580,7	129	590,1	180	4632,1
19	180	4580,7	180	585,2	180	4622,4
20	180	4351,6	180	550,8	180	4395,5
21	129	4253,5	180	550,8	129	4305,7
22	129	4253,5	180	550,8	129	4299,8
23	129	4253,5	129	540,9	129	4297,0
24	129	4253,5	24	540,9	129	4297,0
25	129	4253,5	129	531,1	129	4297,0
26	180	4122,6	129	531,1	180	4179,7
27	180	4122,6	129	531,1	180	4168,9
28	180	4122,6	24	531,1	180	4168,9
29	180	4122,6	24	531,1	180	4159,2
30	180	4122,6	24	531,1	180	4159,2
31	24	3926,3	129	521,3	129	3978,0
32	24	3926,3	129	521,3	129	3978,0
33	24	3926,3	24	521,3	24	3970,4
34	24	3926,3	24	521,3	24	3970,4
35	24	3926,3	129	511,4	24	3970,4
36	24	3926,3	24	511,4	24	3970,4
37	129	3926,3	24	491,8	24	3970,4
38	129	3926,3	24	491,8	24	3970,4
39	180	3664,5	24	491,8	180	3711,0
40	180	3664,5	24	491,8	180	3687,7
41	24	3599,1	24	491,8	24	3639,5
42	24	3599,1	24	491,8	24	3638,1
43	24	3599,1	24	491,8	24	3638,1
44	24	3599,1	129	491,8	24	3638,1
45	24	3599,1	129	491,8	24	3636,6
46	24	3468,2	129	491,8	24	3505,7

продовження табл. А.8.

1	2	3	4	5	6	7
47	180	3435,5	129	491,8	180	3460,2
48	24	3271,9	129	491,8	24	3313,2
49	24	3271,9	129	491,8	24	3308,6
50	24	3271,9	129	491,8	24	3308,6
51	24	3271,9	129	481,9	24	3308,6
52	24	3271,9	129	481,9	24	3308,6
53	24	3271,9	129	481,9	24	3308,6
54	24	3271,9	24	481,9	24	3308,6
55	24	3271,9	24	481,9	24	3308,6
56	24	3271,9	24	481,9	24	3307,2
57	24	3271,9	180	481,9	24	3307,2
58	24	3271,9	129	472,1	24	3307,2
59	24	3271,9	24	472,1	24	3305,8
60	180	3206,5	180	447,5	180	3253,4
61	180	3206,5	180	447,5	180	3233,0
62	180	2748,4	180	413,1	180	2790,3
63	180	2748,4	180	413,1	180	2777,3
64	180	2748,4	180	413,1	180	2777,3
65	180	2748,4	180	399,3	180	2774,4
66	180	2748,4	180	399,3	180	2774,4
67	180	2748,4	32	378,6	180	2774,4
68	180	2748,4	180	378,6	180	2774,4
69	32	2519,4	180	378,6	180	2558,8
70	32	2519,4	180	378,6	180	2558,8
71	32	2519,4	180	378,6	32	2547,7
72	32	2519,4	32	358,0	32	2544,7
73	32	2519,4	32	358,0	32	2544,7
74	32	2519,4	32	358,0	32	2544,7
75	32	2519,4	32	358,0	32	2544,7
76	32	2519,4	32	358,0	32	2544,7
77	180	2519,4	32	358,0	32	2544,7
78	180	2519,4	32	358,0	32	2544,7
79	32	2519,4	180	358,0	32	2542,8
80	32	2519,4	180	358,0	32	2542,8
81	32	2381,9	32	344,2	32	2399,4
82	180	2290,3	32	344,2	180	2318,1
83	32	2290,3	32	289,1	180	2318,1
84	180	2290,3	32	275,4	32	2306,8
85	32	2290,3	32	275,4	32	2306,8
86	32	1511,6	32	213,4	32	1526,6
87	32	1511,6	32	213,4	32	1526,6
88	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
89	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
90	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
91	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
92	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
93	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
94	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
95	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
96	32	1511,6	32	206,5	32	1525,7
Всього	8760		8760		8760	

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					77

Додаток Б. Картограма електричних навантажень

Таблиця Б.1 – Розрахунок картограми навантажень холодокомбінату

№ п/п	Назва підрозділу	Навантаження, кВт			Радіус кола, мм	Координати центру кола, м		Градусна міра кута, α	Добутки, кВт·м	
		P_p	P_{oc}	$P_{сум}$		x	y		$P \cdot x$	$P \cdot y$
1	Цех морозива №1	355,0	16,1	371,0	10,9	20	133,2	15,6	7420,8	49422,3
2	Головний виробничий корпус	670,9	129,3	800,2	16,0	68	130,4	58,2	54413,8	104346,5
3	Склад	42,1	3,6	45,7	3,8	106,8	132	28,5	4880,7	6032,3
4	Компресорна №1	1365,4	6,5	1371,9	20,9	130	132	1,7	178346,1	181089,9
5	Компресорна №2	1093,9	3,0	1096,9	18,7	153,6	140	1,0	168481,4	153563,8
6	Депо електрокар	124,9	2,1	127,0	6,4	174	132,4	6,0	22099,5	16816,0
7	Компресорна №3	1256,9	6,5	1263,4	20,1	187,6	127,2	1,9	237007,1	160699,9
8	Фріонова морозильна камера	156,1	3,4	159,5	7,1	20,8	110,4	7,7	3317,0	17605,6
9	Конденсатне відділення	89,1	2,4	91,5	5,4	152,8	122	9,5	13985,6	11166,5
10	Цех морозива №3	291,9	32,8	324,7	10,2	204,8	105,6	36,4	66506,4	34292,4
11	Котельна	101,2	2,9	104,0	5,8	17,2	88,4	9,9	1789,5	9197,0
12	Градирня	72,4	0,1	72,5	4,8	128,8	94,4	0,5	9341,8	6846,8
13	Морозильна камера №1	31,5	3,1	34,6	3,3	173,6	92	32,5	6004,5	3182,1
14	Механічна майстерня	76,9	13,2	90,1	5,4	68	66,8	52,7	6124,7	6016,6
15	Вафельний цех №1	153,7	12,5	166,1	7,3	128	61,2	27,0	21264,6	10167,1
16	Цех морозива №2	369,8	27,2	397,0	11,2	205,6	63,6	24,7	81614,0	25246,4
17	Вафельний цех №2	173,2	15,1	188,3	7,7	121,6	46,4	28,8	22900,7	8738,4
18	Морозильна камера №2	36,1	3,7	39,8	3,6	171,2	54	33,6	6814,1	2149,3
19	Адмінбудинок	90,5	98,8	189,3	7,8	194	17,6	187,9	36731,5	3332,3
	Всього			6933,6					949043,9	809911,3

Додаток В. Техніко-економічні розрахунки

Таблиця В.1 – Загальна сума капіталовкладень за варіантами

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кіль- кість	Вартість одиниці, тис. грн.	Вартість всього, тис. грн.
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	шт.	2	195,6	391,2
	Кабельна лінія ААБл-(3х95)	км	14,0	1122,4	15713,6
	Всього				16104,8
II	Вимикач вакуумний 35 кВ	шт.	2	287,0	574,0
	Роз'єднувач РНДЗ 35 кВ	шт.	4	18,0	72,0
	ВРП - 35 кВ	шт.	1	1295,0	1295,0
	Трансформатор ТМН-6300/35/10	шт.	2	3840,0	7680,0
	Кабельна лінія АОСБ-(3х120)	км	7,0	1392,0	9744,0
	Всього				19365,0

Таблиця В.2 – Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Найменування елемента схеми	Норми, %		Витрати, тис. грн.			
		H_a	H_e	K	A	E	C
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	15,0	5,0	391,2	58,7	19,6	78,2
	Кабельна лінія ААБл-(3х95)	5,0	5,0	15713,6	785,7	785,7	1571,4
	Всього						1649,6
II	Вимикач 35 кВ	15,0	5,0	574,0	86,1	28,7	114,8
	Роз'єднувач 35 кВ	15,0	5,0	72,0	10,8	3,6	14,4
	ВРП 35 кВ	15,0	5,0	1295,0	194,3	64,8	259,0
	Трансформатор ТМН-6300/35/10	15,0	5,0	7680,0	1152,0	384,0	1536,0
	Кабельна лінія АОСБ-(3х120)	5,0	5,0	9744,0	487,2	487,2	974,4
	Всього						2898,6

Таблиця В.3 – Результати техніко-економічного обґрунтування варіантів схеми електропостачання холодокомбінату

Показники	Од. вим.	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис. грн.	16104,8	19365,0
Поточні витрати	тис. грн.	1649,6	2898,6
Вартість втрат електроенергії	тис. грн.	2112,1	1172,4
Збитки від недоданої електроенергії	тис. грн.	13,66	65,0
Приведені витрати	тис. грн.	5707,9	6459,8

Додаток Г. Вибір цехових трансформаторів

Таблиця Г.1 – Вибір трансформаторів цехових ПС

№ ТП	Назва споживача	Категорія ЕП за безперебійністю електро-постачання	$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$k_{з,д}$	$k_{з,ав}$	$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	Кількість та тип трансформаторів, $\text{кВ}\cdot\text{А}$	$k_{п}$	$S_{т,ном}\cdot k_{п} > S_{ав}, \text{кВ}\cdot\text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Цех морозива №1	II							
	Головний виробничий корпус	II							
	Фріонова морозильна камера	II							
	Котельна	II							
	Всього по ТП №1		1395,4	0,70	1,40	697,7	2xTMГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1395,4
2	Склад	III							
	Компресорна №1	II							
	Всього по ТП №2		1410,2	0,71	1,41	705,1	2xTMГ-1000/10/0,4	1,4	1400 ≈ 1410,2
3	Компресорна №2	II							
	Конденсатне відділення	III							
	Градирия	II							
	Механічна майстерня	II							
	Всього по ТП №3	II	1389,3	0,69	1,39	694,6	2xTMГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1389,3
		II							
4	Депо електрокар	II							
	Компресорна №3	II							
	Всього по ТП №4		1407,6	0,70	1,41	703,8	2xTMГ-1000/10/0,4	1,4	1400 ≈ 1407,6

продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Цех морозива №3	II							
	Морозильна камера №1	II							
	Цех морозива №2	II							
	Морозильна камера №2	II							
	Вафельний цех №1	II							
	Вафельний цех №2	II							
	Адмінбудинок	III							
	Всього по ТП №5		1379,2	0,69	1,38	689,6	2хТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1379,2

Додаток Д. Вибір обладнання

Таблиця Д.1 – Вибір кабельних ліній 10 кВ розподільної мережі холодокомбінату

№ КЛ	№ ЕП	Тип КЛ	l , км	I_p , А	$I_{доп}$, А	$k_{с.з}$	$I'_{доп}$, А	k_3	$k_{д.ав.п}$	$k_{ап}$	$I_{ав} < I_{доп.ав}$, А
КЛ-1, 2	СП-1	ААБл-(3х240)	3,50	364,3	192	0,92	176,6	0,56	1,25	2	364,3 < 441,6
КЛ-3, 4	ТП-3	ААШв-(3х120)	0,04	113,8	218	0,84	183,1	0,62	1,25	2	227,7 < 228,9
КЛ-5, 6	ТП-2	ААШв-(3х70)	0,02	78,0	162	0,84	136,1	0,57	1,25	2	156,0 < 170,1
КЛ-7, 8	ТП-1	ААШв-(3х50)	0,10	39,3	134	0,92	123,3	0,32	1,25	2	78,5 < 154,1
КЛ-9, 10	ТП-5	ААШв-(3х70)	0,05	77,7	162	0,92	149,0	0,52	1,25	2	155,5 < 186,3
КЛ-11, 12	ТП-4	ААШв-(3х50)	0,05	39,7	134	0,92	123,3	0,32	1,25	2	79,3 < 154,1
КЛ-13, 14	КУ-1	ААШв-(3х50)	0,02	24,8	134	1,00	134,0	0,18	1,25	1	24,8 < 167,5

Таблиця Д.2 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ для вибору магістральних ліній

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кільк. ел. спо- живачів	Встановлена потужність, кВт		m	k _в	cos φ	tg φ	Середнє наванта- ження за зміну, кВт		n _с	k _м	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
	Кабельні лінії 3,4														
	ТП 3 (2x1000)														
	силова	88	0,6 - 160	1834,1	>3	0,65	0,78	0,81	1184,8	961,7	23	1,11	1314,7	961,7	1628,9
	освітлювальна								21,2	29,7			18,7	28,2	
	батарей конденсаторів													-600,0	
	ТП 2 (2x1000)														
	силова	69	1 - 160	1852	>3	0,69	0,79	0,77	1282,2	988,2	23	1,09	1399,3	988,2	1713,1
	освітлювальна								12,2	21,2	0,0		10,1	17,5	
	батарей конденсаторів													-960,0	
	ТП 1 (2x1000)														
	силова	204	1,1 - 45	1949,3	>3	0,60	0,74	0,92	1170,7	1078,7	87	1,05	1224,9	1078,7	1632,2
	освітлювальна								141,7	74,3	0		155,9	82,7	
	батарей конденсаторів													-960,0	
	Всього														
	силова	361	0,6 160	5635,7	>3	0,65	0,77	0,83	3637,7	3028,6	70	1,05	3810,2	3028,6	4867,2
	освітлювальна								175,1	125,2			184,7	128,5	
	батарей конденсаторів													-2520,0	
	Всього по ТП 1, 2, 3 (6x1000)								3812,7	3153,8			3994,9	637,1	4045,4
	втрати в трансформаторах												48,0	234,0	
	Всього по КЛЗ, 4												4042,9	871,1	4135,6
	Кабельні лінії 5, 6														
	ТП 2 (2x1000)														
	силова	69	1 - 160	1852	>3	0,69	0,79	0,77	1282,2	988,2	23	1,09	1399,3	988,2	1713,1
	освітлювальна								12,2	21,2			10,1	17,5	
	батарей конденсаторів													-960,0	

Арк.

83

продовження табл. Д.2

1	2	3	4	5	6	7,00	8,00	9,00	10,0	11,0	12	13	14,0	15,0	16,0
	ТП 1 (2x1000)														
	силова	204	1,1 - 45	1949,3	>3	0,60	0,74	0,92	1170,7	1078,7	87	1,05	1224,9	1078,7	1632,2
	освітлювальна								141,7	74,3			155,9	82,7	
	батарей конденсаторів													-960,0	
	Всього														
	силова	273	1,1 160	3801,6	>3	0,65	0,76	0,84	2452,8	2066,9	48	1,06	2608,0	2066,9	3327,7
	освітлювальна								153,9	95,5			166,0	100,3	
	батарей конденсаторів													-1920,0	
	Всього по ТП 2,1 (4x1000)								2606,7	2162,4			2774,0	247,1	2785,0
	втрати в трансформаторах												30,5	155,1	
	Всього по КЛ5, 6												2804,5	402,2	2833,2
	Кабельні лінії 9, 10														
	ТП 5 (2x1000)														
	силова	264	0,1 - 45	1706,7	>3	0,58	0,75	0,87	992,8	863,0	76	1,05	1046,9	863,0	1356,8
	освітлювальна								194,0	88,4			193,3	90,3	
	батарей конденсаторів													-350,0	
	ТП 4 (2x1000)														
	силова	55	2 - 160	1912	>3	0,65	0,77	0,82	1248,6	1028,6	24	1,10	1377,8	1028,6	1719,4
	освітлювальна								9,1	15,7			8,6	14,9	
	батарей конденсаторів													-800,0	
	Всього														
	силова	319	0,1 160	3618,9	>3	0,62	0,76	0,84	2241,3	1891,6	45	1,07	2404,2	1891,6	3059,1
	освітлювальна								203,1	104,1			201,9	105,2	
	батарей конденсаторів													-1150,0	
	Всього по ТП 5, 4 (4x1000)								2444,4	1995,8			2606,1	846,9	2740,2
	втрати в трансформаторах												32,7	159,2	
	Всього по КЛ9, 10												2638,8	1006,1	2824,1

Таблиця Д.3 – Місця установки та потужність навантажень ТС

Прилади	Місце установки приладів					
	Ввід ЦРУ			Лінії (КЛ 3, 4, 9, 10, 13,14)		
	Навантаження В·А			Навантаження В·А		
	А	В	С	А	В	С
Лічильник АЛЬФА А18-05-RAL-P4-G-3	0,2	-	0,2	-	-	-
Лічильник універсальний NIK-2303-ART.0200.0.11	-	-	-	0,05	-	0,05
Амперметр А-96-6	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1
Всього	0,3	-	0,3	0,15		0,15

Таблиця Д.4 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Призначення ТС	$r_{\text{прил}},$ Ом	$r'_{\text{пр}},$ Ом	$s, \text{мм}^2$	$l, \text{м}$	$r_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$Z_2, \text{Ом}$
Ввідна шафа ЦРУ 10 кВ	0,012	0,348	2,5	10,4	0,118	0,18
Лінійний (КЛ 3, 4, 9, 10)	0,006	0.344	2,5	10,4	0.118	0,174
Конденсаторна установка (КЛ13, 14)	0,006	0.344	2,5	10,4	0.118	0,174

Таблиця Д.5 – Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Од. вим.	Шафа у якій розміщено ТС			
		Ввід ЦРУ	Лінійна (КЛ 3, 4)	Лінійна (КЛ 9, 10)	Конденсаторні установки (КЛ13, 14)
$U_{\text{уст}} < U_{\text{ном}}$	кВ	10 = 10	10 = 10	10 = 10	10 = 10
$I_{\text{р}} < I_{\text{ном}}$	А	182,15 < 400	113,8 < 300	77,7 < 200	25 < 50
$I_{\text{ав}} < I_{\text{ном}}$	А	364,3 < 400	227,7 < 300	155,5 < 200	25 < 50
Клас точності	-	0,5	0,5	0,5	0,5
$i_{\text{уд}} < i_{\text{дин}}$	кА	9,24 < 52	9,24 < 52	9,24 < 52	9,24 < 25
$B_{\text{к,р}} < B_{\text{к,н}}$	кА ² ·с	67,3 < 400	$23 < 10^2 \cdot 3 = 300$	$23 < 16^2 \cdot 3 = 768$	$23 < 4^2 \cdot 3 = 48$
$Z_2 < Z_{\text{ном}}$	Ом	0.18 < 0.4	0,174 < 0,4	0,174 < 0,4	0,174 < 0,4
Тип ТС прийнятого до установки		ТЛК-10-2-400/5	ТЛК-10-2-300/5	ТЛК-10-2-200/5	ТЛК-10-2-50/5

Таблиця Д.6 – Вторинне навантаження ТН однієї секції шин ЦРУ 10 кВ

Прилад	Тип	Споживана потужність, ВА	Кількість приладів	Загальна споживана потужність, В·А
Лічильник універсальний	АЛЬФА A18-05-RAL-P4-G-3	3,6	1	3,6
Лічильник універсальний	NIK-2303-ART.0200.0.11	10	3	30
Вольтметр	B-96-6	2	1	2
Всього				35,6

Таблиця Д.7 – Вибір трансформатора напруги

Умова вибору	Од. вим.	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} \leq U_{ном}$	кВ	$U_{уст} = 10, \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10, \text{ кВ}$
Схема з'єднань:	-	$Y_0/Y_0/ \Delta-0$	$Y_0/Y_0/ \Delta-0$
Клас точності:	-	0,5	0,5
$S_p \leq S_{ном}$	В·А	$S_p = 35,6$	$S_{ном} = 120$