

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
“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Розробка системи електропостачання та електрозбереження
ливарного виробництва заводу сільськогосподарських машин»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-19,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Ростислав ЛАПЧУК
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент

« ____ » _____ 2023 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

«___» _____ 2023 р.

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

Ланчука Ростислава Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Розробка системи електропостачання та електрозбереження ливарного виробництва заводу сільськогосподарських машин Development of the power supply and power saving system for the foundry production of the agricultural machinery 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 31.05.2023 р.

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

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
1	<i>Вступ</i>	<i>17.04.23</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>18.04.23</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>24.04.23</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем ел. пост.</i>	<i>26.04.28</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>1.05.23</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>5.05.23</i>	
7	<i>Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання</i>	<i>7.05.23</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>12.05.23</i>	
9	<i>Висновки</i>	<i>18.05.23</i>	
10	<i>Складання переліку бібліографічних посилань</i>	<i>19.05.23</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки роботи</i>	<i>22.05.23</i>	
12	<i>Оформлення слайдів (графічна частина роботи)</i>	<i>29.05.23</i>	

Дата видачі завдання

“ ____ ” _____ 2023 року

Підпис керівника

_____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ

Задання прийнято до виконання

“ ____ ” _____ 2023 року

Підпис студента

_____ Ростислав ЛАПЧУК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 80 с.; 10 рис.; 29 табл.; 11 джерел

Лапчук Р. М. Розробка системи електропостачання та електрозбереження ливарного виробництва заводу сільськогосподарських машин. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена розв'язанню задач комплексного проектування системи електропостачання ливарного виробництва згідно сучасних вимог економічності та надійності. Для цього були виконані техніко-економічні розрахунки: електричних навантажень, вибору схеми внутрішнього електропостачання виробництва, режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань. На основі отриманих даних проведено вибір кабельних ліній мережі 10 кВ, високовольного обладнання та запропоновано компонування трансформаторних підстанцій.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано заходи з електрозбереження в електротермічних установках виробництва. Проведено оцінку ймовірної економії електричної енергії при реалізації запропонованих технічних рішень для дугової печі ємністю 1,5 т та термічних печей опору. Застосування запропонованих технічних рішень дозволить підвищити ефективність роботи промислових електропечей.

Ключові слова: електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, електричне обладнання, електрозбереження, дугова сталеплавильна піч, електротермічна піч опору

ABSTRACT

Qualification work: 80 p.; 10 Fig.; 29 tables; 11 sources

Lapchuk R. M. Development of the power supply and power saving system for the foundry production of the agricultural machinery plant. – Manuscript.

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

The qualification work is dedicated to solving the problems of complex design of the power supply system of foundry production in accordance with modern requirements of economy and reliability. For this, technical and economic calculations were performed: electrical loads, selection of the scheme of internal power supply of production, modes of reactive power, short-circuit currents. On the basis of the received data, the selection of cable lines of the 10 kV network, high-voltage equipment, and the layout of transformer substations were proposed.

In a special section of the qualification work, energy saving measures in electrothermal production facilities are analyzed. An assessment of the probable saving of electrical energy during the implementation of the proposed technical solutions for an arc furnace with a capacity of 1.5 tons and thermal resistance furnaces was carried out. Application of the proposed technical solutions will increase the efficiency of industrial electric furnaces.

Key words: electrical loads, reactive power compensation, cable line, workshop transformer substation, short-circuit currents, electrical equipment, arc steel melting furnace, electrothermal resistance furnace

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	7
1. Розрахунок електричних навантажень.....	8
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В.....	8
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	11
1.3. Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В.....	12
1.4. Побудова графіків електричних навантажень виробництва.....	18
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки.....	22
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання виробництва.....	25
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	25
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання.....	25
4. Компенсація реактивної потужності.....	35
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	35
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.....	38
5 Трансформаторні підстанції.....	42
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансфор- маторних підстанцій.....	43
5.2. Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	45

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Лапчук Р.				Розробка системи електропостачання та електрозбереження ливарного виробництва заводу сільськогосподарських машин Development of the power supply and power saving system for the foundry production of the agricultural machinery plant	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Козловський О					Д	5	80
Н.контр.	Козловський О					ЦНТУ, гр. ЕЕ-19		
Затв.	Плешков П.Г.							

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання, електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	46
6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	46
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	51
6.3. Вибір електрообладнання.....	53
7. Спеціальний розділ. Енергозбереження в електротермічних установках...	61
7.1. Шляхи економії електроенергії в ЕТУ.....	61
7.2. Специфічні методи зниження втрат електроенергії в ЕТУ.....	62
7.3. Енергозбереження в дугових сталеплавильних електропечах.....	69
7.4 Енергозбереження в печах опору.....	73
ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
Додаток А. Розрахунок графіків електричних навантажень виробництва.....	81

ВСТУП

Електротермічні технології та установки мають велике значення для машинобудівної галузі, оскільки електронагрів являється енерго- та ресурсозберігаючою технологією в порівнянні з полум'яним нагрівом.

Зазвичай ливарне виробництво є підрозділом машинобудівного заводу і розміщується у декількох одноповерхових корпусах. Головним навантаженням відділень виробництва є електротермічні установки (ЕТУ), підйомні механізми, формовочні машини, змішувачі, установки подачі повітря. Особливістю ЕТУ є підвищені вимоги до надійності електропостачання. У загальному підсумку до 50% встановленої потужності виробництва складають індукційні сталеплавильні комплекси, дугові сталеплавильні печі (ДСП), дуговий чавуноливарний міксер (ДЧМ). Режим роботи ливарного виробництва – тризмінний. За надійністю електропостачання у відповідності з [1] електроприймачі відносяться до II-ї категорії – 95%, до III-ї категорії – 5%.

Ливарне виробництво працює в паралельному режимі роботи. У ливарному відділенні запускають конвеєри, на яких виготовляють верхні та нижні напівформи, які збирають на рольгангах, після чого їх зіштовхують на платформи конвеєра, що доставляє їх до ковшів з металом. Ківш наповнюють металом із вагранок або ЕТУ та доставляють по монорельсу до заливочної площадки. Залиті форми проходять через охолоджувач і потрапляють на вибивну решітку. Вибита із опок формовочна суміш потрапляє у сумішопідготовче відділення. Пусті опоки після вибивки подаються по рольгангу до формовочних машин для повторного використання. Відливки провалюються у люк вибивної решітки і пластинчастим транспортером подаються до очисних машин – дрібOMETних барабанів. Далі відливки поступають у обрубне відділення де проводиться обрубка, обрізка наплавів та шліфівка. Вироби відправляють на склад або у разі необхідності у термічне відділення, проводиться їх відпал. Чавун плавлять в електропечах або вагранках. Електропечі використовують як самостійні плавильні агрегати, а також при дуплекс процесі: вагранка + електропіч; електродугова піч + індукційна піч. Дуговий чавуноливарний міксер використовується для підігріву чавуну перед розливанням. Наявність дугового міксера знімає залежність плавильної ділянки від ливарної.

Дана кваліфікаційна робота присвячена розв'язанню задач комплексного проектування системи електропостачання ливарного виробництва заводу сільськогосподарського машинобудування.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		7

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень у електромережах цехових споживачів проводимо за методом впорядкованих діаграм [2, 3, 6]. Розглянемо детально розрахунок електричних навантажень ділянки стержнів.

Розрахункове активне навантаження групи електроприймачів, що встановлені на ділянці стержнів:

$$P_p = P_{\text{сзм}} \cdot K_M = 69,1 \cdot 1,21 = 83,7 \text{ кВт},$$

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

$$P_{\text{сзм}} = \sum_i^n P_{\text{сзм}_i} = 6,3 + 22,1 + 8,0 + 8,3 + 0,7 + 1,7 + 6,8 + 15,4 = 69,1 \text{ кВт};$$

K_M – коефіцієнт максимуму розрахункової потужності:

$$K_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot K_B^2 - 12,7 \cdot K_B + 8,235}{(K_B + 0,05) \cdot n_{\text{еф}}^{(1,04-0,4 \cdot K_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,49^2 - 12,7 \cdot 0,49 + 8,235}{(0,49 + 0,05) \cdot 19^{(1,04-0,4 \cdot 0,49)}}} = 1,21,$$

K_B – груповий коефіцієнт використання

$$K_B = \frac{P_{\text{сзм}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}} = \frac{69,1}{139,8} = 0,49,$$

$P_{\text{ном}}$ – встановлена активна потужність електроприймача ділянки стержнів;

$n_{\text{еф}}$ – ефективне число електроприймачів у вузлі навантаження

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}}{P_{\text{н.мак}}} = \frac{2 \cdot 139,8}{15} = 18,6 \approx 19 \text{ шт},$$

за умови, що відношення між встановленою потужністю найбільшого $P_{\text{ном.мак}}$ і

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

найменшого споживача $P_{\text{ном.мін}}$ дорівнює

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{15}{3} = 5 > 3,$$

а груповий коефіцієнт використання $K_{\text{в}} > 0,2$.

Розрахункове реактивне навантаження електроприймачів ділянки стержнів

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{сзм}} = 66,5 \text{ квар},$$

оскільки $n_{\text{эф}} = 19 > 10$ шт.

Розрахунковий максимум навантаження:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{83,7^2 + 66,5^2} = 106,9 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

У деяких розрахункових вузлах ливарного виробництва присутні підйомні механізми з повторно-короткочасним режимом роботи, тому їх номінальна активна потужність приводиться до тривалості вмикання за виразом:

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

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

TB – тривалість вмикання, %.

Розрахунок силових електричних навантажень у мережах 0,4-1000 В інших ділянок та цехів аналогічний приведеному, тому представлений у вигляді табл. 1.1.

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

Таблиця 1.1 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	K _e	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		n _e	K _m	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	Ділянка стержнів														
	Робочий стіл стерженщика	7	3,0 - 3,0	21,0		0,30	0,60	1,33	6,3	8,4					
	Машина формовочна	5	5,5 - 7,5	31,5		0,70	0,80	0,75	22,1	16,5					
	Полігональне сито	2	10,0 - 10,0	20,0		0,40	0,60	1,33	8,0	10,7					
	Конвейер стрічковий	1	15,0 - 15,0	15,0		0,55	0,70	1,02	8,3	8,4					
	Тельфер	1	3,3 - 3,3	3,3		0,20	0,50	1,73	0,7	1,1					
	Нождак односторонній	4	3,0 - 3,0	12,0		0,14	0,50	1,73	1,7	2,9					
	Автомат виготовлення стержнів	5	3,0 - 3,0	15,0		0,45	0,70	1,02	6,8	6,9					
	Вентильатори	2	11,0 - 11,0	22,0		0,70	0,80	0,75	15,4	11,6					
	Всього	27	3,0 - 15,0	139,8	5	0,49	0,72	0,96	69,1	66,5	19	1,21	83,7	66,5	106,9
2	Сумішопідготовче відділення	60	2,2 - 30	593,4	14	0,57	0,70	1,02	336,1	343,3	40	1,09	367,9	343,3	503,2
3	Склад	5	2 - 28,1	62,2	14	0,2	0,50	1,73	12,1	21,0	4	2,71	33,0	23,1	40,3
4	Термічне відділення	19	5,5 - 400	1465	73	0,72	0,94	0,36	1057,0	378,1	7	1,19	1254,9	415,9	1322,0
5	Лабораторія	13,0	1,3 - 10,0	57,3	8,0	0,4	0,75	0,89	23,6	20,9	11	1,41	33,4	20,9	39,4
6	Вибивне відділення	36	1,3 - 40,5	343,4	31	0,67	0,71	0,98	230,7	226,8	17	1,12	259,3	226,8	344,4
7	Ливарне відділення	97	1,5 - 17	482,7	11	0,55	0,65	1,17	266,6	310,7	57	1,07	286,6	310,7	422,7
8	Ділянка вагранок	23	3 - 100	420,6	33	0,57	0,78	0,80	240,1	193,0	8	1,31	315,0	212,3	379,8
9	Плавильна ділянка	39	3 - 30	363,2	10	0,59	0,72	0,96	214,3	206,3	24	1,13	242,1	206,3	318,1
10	Ділянка плавки алюмінію	5	2,2 - 50	66,2	23	0,58	0,92	0,43	38,2	16,5	3	1,60	61,1	18,2	63,7
11	Складські приміщення	6	2 - 25	56,2	13	0,19	0,50	1,73	10,6	18,4	4	2,75	29,3	20,3	35,6
12	Модельне відділення	34	0,9 - 250	1251	278	0,66	0,85	0,61	822,8	500,8	10	1,19	980,9	550,8	1125,0
13	Обрубне відділення	172	2,2 - 15	1255	3	0,17	0,58	1,39	215,8	300,0	167	1,09	235,7	300,0	381,5
	Всього по ливарному														
	виробництву на стороні 0,4 кВ	536	0,9 - 400	6556,2	444	0,54	0,81	0,74	3537,2	2602,3	33	1,12	3959,8	2602,3	4738,3

1.2 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок освітлювального навантаження виконується за спрощеним методом – методом питомої потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі промислового приміщення [3]. Виконаємо розрахунок освітлювального навантаження для ділянки стержнів. Попередньо, до установки приймаємо лампи типу ДРЛ номінальною потужністю $P_{\text{ном}} = 400$ Вт.

Розрахункова потужність освітлювальних електроприймачів складе:

$$P_p = K_1 \cdot K_n \cdot P_b = 1,12 \cdot 0,85 \cdot 6,3 = 6,0 \text{ кВт},$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує втрати активної потужності в струмообмежуючих дроселях ламп типу ДРЛ, приймаємо $K_1 = 1,12$.

K_n – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, для приміщення ділянки стержнів приймаємо 0,85;

P_b – установлена потужність освітлювальних приймачів

$$P_b = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 18,0 \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 6,3 \text{ кВт},$$

p_0 – питома потужність освітлювального навантаження, кВт/м²;

F – площа ділянки стержнів, м².

Реактивна потужність освітлювального навантаження ділянки стержнів:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi = 6,0 \cdot 1,73 = 10,4 \text{ квар},$$

де $\text{tg}\varphi$ – коефіцієнт потужності, для ламп типу ДРЛ приймаємо 1,73.

Для інших ділянок і цехів розрахунок аналогічний приведену тому поданий у вигляді табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Розрахунок освітлювальних навантажень

№ п/п	Назва підрозділу	F , м ²	p_0 , Вт/м	$\cos\varphi$	P_b , кВт	k_n	k_1	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Ділянка стержнів	350,0	18,0	0,5	6,3	0,85	1,12	6,0	10,4	12,0
2	Сумішепідготовче відділення	1260,0	16,0	0,5	20,2	0,85	1,12	19,2	33,2	38,4
3	Склад	1008,0	8,0	0,5	8,1	0,6	1,12	5,4	9,4	10,8
4	Термічне відділення	1693,0	15,0	0,5	25,4	0,85	1,12	24,2	41,9	48,4
5	Лабораторія	115,2	20,0	0,9	2,3	0,8	1,20	2,2	1,1	2,5
6	Вибивне відділення	528,0	15,0	0,5	7,9	0,85	1,12	7,5	13,1	15,1
7	Ливарне відділення	1160,0	17,0	0,5	19,7	0,85	1,12	18,8	32,5	37,5
8	Ділянка вагранок	338,0	15,0	0,5	5,1	0,85	1,12	4,8	8,4	9,7
9	Плавильна ділянка	1590,8	15,0	0,5	23,9	0,85	1,12	22,7	39,3	45,4
10	Ділянка плавки алюмінію	91,0	15,0	0,5	1,4	0,85	1,12	1,3	2,3	2,6
11	Складські приміщення	896,0	8,0	0,5	7,2	0,6	1,12	4,8	8,3	9,6
12	Модельне відділення	630,0	18,0	0,5	11,3	0,85	1,12	10,8	18,7	21,6
13	Обрубне відділення	4760,0	17,0	0,5	80,9	0,95	1,12	86,1	149,1	172,2
14	Освітлення території	16180,0	0,1	0,5	1,6	1,0	1,12	1,8	3,1	3,6
	Всього	14420,0			214,9			215,7	370,8	429,0

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

1.3 Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В

У мережі вище 1000 В за розрахункові вузли навантаження приймаємо шини (вводи) цехових трансформаторних підстанцій (ЦТП) та збірні шини 10 кВ розподільної установки (РУ). Перед розрахунком, попередньо, визначаємо кількість трансформаторів ЦТП і самих ЦТП, розташування їх на території ливарного виробництва. Якщо структурна одиниця має навантаження до 350 кВА і віддалена від ЦТП суднової ділянки (цеху) до 100 м, то в таких випадках до однієї цехової ТП підключаються декілька відділень (цехів). Оскільки більшість споживачів (95%) виробництва відносяться до II-ї категорії за безперебійністю електропостачання, то всі ЦТП виконуються двотрансформаторними.

Розглянемо детально розрахунок електричних навантажень ТП-1 за умови повної компенсації реактивної потужності в мережі до 1000 В виробництва.

Розрахункове силове навантаження на шинах 10 кВ ТП-1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2109,5^2 + 927,7^2} = 2304,5 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

де P_p – розрахункове активне навантаження ТП-1 на шинах 10 кВ:

$$P_p = P_{p.c} + P_{oc} + \Delta P_T = 2020,5 + 69,4 + 19,7 = 2109,5 \text{ кВт},$$

$P_{p.c}$ – силове активне навантаження ТП-1 на шинах 0,4 кВ

$$P_{p.c} = P_{сзм.с} \cdot K_M = 1739,3 \cdot 1,16 = 2020,5 \text{ кВт},$$

$P_{сзм.с}$ – середньозмінне силове активне навантаження споживачів ТП-1

$$P_{сзм} = \sum_i^n P_{сзм.с_i} = 69,1 + 336,1 + 12,1 + 1057,0 + 23,6 + 230,7 + 10,6 = 1739,3 \text{ кВт},$$

K_M – коефіцієнт максимуму розрахункової потужності:

$$K_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot K_B^2 - 12,7 \cdot K_B + 8,235}{(K_B + 0,05) \cdot n_{эф}^{(1,04-0,4K_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,64^2 - 12,7 \cdot 0,64 + 8,235}{(0,64 + 0,05) \cdot 19^{(1,04-0,4 \cdot 0,64)}}} = 1,16;$$

K_B – груповий коефіцієнт використання

$$K_B = \frac{P_{с.зм}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} = \frac{1739,3}{2717,5} = 0,64,$$

$P_{ном}$ – встановлена активна потужність електроприймача ділянки стержнів.

За умови, що відношення між встановленою потужністю найбільшого $P_{ном.мах}$ і найменшого споживача $P_{ном.мін}$

$$m = P_{ном.мах} / P_{ном.мін} = 400 / 1,3 = 308 > 3,$$

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

ефективне число електроприймачів підключених до ТП-1 дорівнює

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}}{P_{\text{н.мах}}} = \frac{2 \cdot 2717,5}{400} = 14 \text{ шт.},$$

$P_{\text{ос}}$ – розрахункове освітлювальне активне навантаження ТП-1 на шинах 0,4 кВ:

$$P_{\text{ос}} = \sum_i^n P_{\text{р.ос}_i} = 6,0 + 19,2 + 5,4 + 24,2 + 2,2 + 7,5 + 4,8 = 69,4 \text{ кВт};$$

ΔP – втрати у трансформаторах ТП-1:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot k_3^2) = 2(2,05 + 16 \cdot 0,698^2) = 19,7 \text{ кВт};$$

n – кількість трансформаторів, що встановлені на ТП-1;

$\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати холостого ходу в трансформаторі типу ТМГ-1600/10;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати холостого ходу в трансформаторі типу ТМГ-1600/10;

k_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів ТП-1;

$Q_{\text{р}}$ – розрахункове активне навантаження ТП-1 на шинах 10 кВ:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{р.с}} + Q_{\text{ос}} - Q_{\text{пкр}} + \Delta Q_{\text{т}} = 1075,1 + 117,4 - 400 + 19,7 = 2109,5 \text{ кВт},$$

$Q_{\text{р.с}}$ – розрахункове силове реактивне навантаження ТП-1 на шинах 0,4 кВ:

$$Q_{\text{р.с}} = Q_{\text{сзм.с}} = 1075,1 \text{ квар},$$

так як $n_{\text{эф}} = 14 > 10$ шт.;

$Q_{\text{ос}}$ – освітлювальне реактивне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП-1:

$$Q_{\text{р.ос}} = \sum_i^n Q_{\text{ос}_i} = 10,4 + 33,2 + 9,4 + 41,9 + 1,1 + 13,1 + 8,3 = 117,4 \text{ квар};$$

$Q_{\text{пкр}}$ – встановлена потужність пристроїв компенсації реактивної потужності 0,4 кВ ЦТП-1 (див. р. 4.2), квар. Ця потужність враховується зі знаком “-”;

ΔQ – втрати реактивної потужності в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta Q = n \cdot S_{\text{ном}} \left(\frac{i_{\text{хх}}}{100} \cdot + \frac{u_{\text{кз}}}{100} \cdot k_3^2 \right) = 2 \cdot 1600 \left(\frac{1,3}{100} \cdot + \frac{6,0}{100} \cdot 0,698^2 \right) = 135,3 \text{ квар}.$$

$S_{\text{ном}}$ – номінальна потужність трансформаторів ТП-1;

$i_{\text{хх}}$ – струм холостого ходу трансформатора ТМГ-1600/10;

$u_{\text{кз}}$ – напруга короткого замикання трансформатора ТМГ-1600/10;

Розрахунок силових електричних навантажень вище 1000 В аналогічний приведеному, його результати представлені в табл. 1.3.

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

Таблиця 1.3 – Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну, кВт		пс	Км	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					Рср, кВт	Qср, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-4 (2х1600 кВА)														
1	Ділянка стержнів														
	силове	27	3,0 - 15,0	139,8	5	0,49	0,72	0,96	69,1	66,5	19	1,21	83,7	66,5	106,9
	освітлювальне								6,3	10,9			6,0	10,4	
	Всього								75,4	77,4			89,7	76,9	118,1
2	Сумішопідготовче відділення														
	силове	60	2,2 - 30,0	593,4	14	0,57	0,70	1,02	336,1	343,3	40	1,09	367,9	343,3	503,2
	освітлювальне								20,2	34,9			19,2	33,2	
	Всього								356,2	378,2			387,0	376,5	540,0
3	Склад														
	силове	5	2,2 - 28,1	62,2	14	0,20	0,50	1,73	12,1	21,0	4	2,71	33,0	23,1	40,3
	освітлювальне								8,1	14,0			5,4	9,4	
									20,2	35,0			38,4	32,5	50,3
4	Термічне відділення														
	силове	19	5,5 - 400,0	1465,2	73	0,72	0,94	0,36	1057,0	378,1	7	1,19	1254,9	415,9	1322,0
	освітлювальне								25,4	44,0			24,2	41,9	
	Всього								1082,4	422,1			1279,1	457,8	1358,5
5	Лабораторія														
	силове	13	1,3 - 10,0	57,3	8	0,41	0,75	0,89	23,6	20,9	11	1,41	33,4	20,9	39,4
	освітлювальне								2,3	1,1			2,2	1,1	
	Всього								25,9	22,0			35,6	22,0	
6	Вибивне відділення														
	силове	36	1,3 - 40,5	343,4	31	0,67	0,71	0,98	230,7	226,8	17	1,12	259,3	226,8	344,4
	освітлювальне								7,9	13,7			7,5	13,1	
	Всього								238,6	240,5			266,8	239,8	

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	Складські приміщення														
	силове	6	2,0 - 25,0	56,2	13	0,19	0,50	1,73	10,6	18,4	4	2,75	29,3	20,3	35,6
	освітлювальне								7,2	12,4			4,8	8,3	
	Всього								17,8	30,8			34,1	28,6	
	Всього по ТП -4 (2х1600 кВА)														
	силове	166	1,3 - 400,0	2717,5	>3	0,64	0,85	0,62	1739,3	1075,1	14	1,16	2020,5	1075,1	2288,7
	освітлювальне								77,3	131,0			69,4	117,4	
	батареї конденсаторів 0,4 кВ													-400,0	
	всього												2089,8	792,4	2235,0
	втрати у трансформаторах												19,7	135,3	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-4												2109,5	927,7	2304,5
	ТП-5 (2х1600 кВА)														
7	Ливарне відділення														
	силове	97	1,5 - 17,0	482,7	11	0,55	0,65	1,17	266,6	310,7	57	1,07	286,6	310,7	422,7
	освітлювальне								19,7	34,2			18,8	32,5	
	Всього								286,4	344,8			305,3	343,2	459,4
8	Ділянка вагранок														
	силове	23	3,0 - 100,0	420,6	33	0,57	0,78	0,80	240,1	193,0	8	1,31	315,0	212,3	379,8
	освітлювальне								5,1	8,8			4,8	8,4	
	Всього								245,2	201,8			319,8	220,6	388,5
9	Плавильна ділянка														
	силове	39	3,0 - 30,0	363,2	10	0,59	0,72	0,96	214,3	206,3	24	1,13	242,1	206,3	318,1
	освітлювальне								23,9	41,3			22,7	39,3	
	Всього								238,2	247,6			264,8	245,6	
10	Ділянка плавки алюмінію														
	силове	5	2,2 - 50,0	66,2	23	0,58	0,92	0,43	38,2	16,5	3	1,60	61,1	18,2	63,7
	освітлювальне								1,4	2,4			1,3	2,3	
	Всього								39,6	18,9			62,4	20,4	

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	Модельне відділення														
	силове	34	0,9 - 250,0	1250,6	>3	0,66	0,85	0,61	822,8	500,8	10	1,19	980,9	550,8	1125,0
	освітлювальне								11,3	19,6			10,8	18,7	
	Всього								834,1	520,4			991,7	569,5	
13	Обрубне відділення														
	силове	172	2,2 - 15,0	1255,4	3	0,17	0,58	1,39	215,8	300,0	167	1,09	235,7	300,0	381,5
	освітлювальне								80,9	140,2			86,1	149,1	
	Всього								296,7	440,2			321,8	449,1	
	Освітлення території														
	Всього по ТП -5 (2х1600 кВА)								1,6	2,8			1,8	3,1	
	силове	370	0,9 - 250,0	3838,7	>3	0,47	0,76	0,85	1797,9	1527,2	31	1,16	2077,8	1527,2	2578,7
	освітлювальне								143,9	249,2			146,3	253,4	
	батареї конденсаторів 0,4 кВ													-1472	
	всього												2224,2	308,7	2245,5
	втрати у трансформаторах												19,9	136,1	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-2												2244,0	444,8	2287,7
	Всього по виробництву														
	силове	536	0,9 - 400	6556,2	>3	0,54	0,81	0,74	3537,2	2602,3	33	1,12	3959,8	2602,3	4738,3
	освітлювальне								221,2	380,3			215,7	370,8	
	батареї конденсаторів 0,4 кВ													-1872	
	втрати у транс. ТМГ-1600/10												39,6	271,4	
	Всього												4215,0	1372,5	4432,8

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Високовольтне навантаження														
9	Плавильна ділянка														
	ТПЧ-800-0,5	3	800 - 800	2400,0	3	0,70	0,92	0,43	1680,0	715,7			1680,0	715,7	1826,1
	втрати у транс. 3хТМП-1000/10												29,0	202,5	
	Всього по ТПЧ-800												1709,0	918,2	1940,0
	ДЧМ-10-2	1	2800 - 2800	2800	3	0,65	0,90	0,48	1820,0	881,5			1820,0	881,5	2022,2
	втрати у транс. ЭТМПК-4200/10												34,9	243,9	
	Всього по ДЧМ-10-2												1854,9	1125,4	2169,6
	ДСН-1,5	1	1250 - 1250	1250	3	0,50	0,80	0,75	625,0	468,8			625,0	468,8	781,3
	втрати у транс. ЭТМПК-2000/10												13,2	69,4	
	Всього ДСН-1,5												638,2	538,1	834,8
	батареї конденсаторів 10 кВ													-2700	
	Всього по ливарному виробництву														
	на шинах 10 кВ												8417,0	1254,2	8510,0

1.4 Побудова графіків електричних навантажень виробництва

Графіки електричних навантажень ливарного виробництва побудовано на основі типових графіків заданих у відносних одиницях, шляхом приведення заданої ординати ступеня до розрахованого значення максимального навантаження. При побудові графіків приймається кількість робочих діб: зимовий період – 147, літній період – 105; кількість вихідних діб: зимовий період – 65, літній період – 48.

Максимальні навантаження робочої літньої доби визначено за допомогою коефіцієнтів приведення:

$$P_{\max.\text{л}} = k_{\text{п.р}} \cdot P_{\max.\text{з}} = 0,85 \cdot 8417,0 = 7154,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\max.\text{л}} = k_{\text{п.к}} \cdot Q_{\max.\text{з}} = 0,85 \cdot 1254,1 = 1066,1 \text{ квар};$$

де $k_{\text{п.р}}$, $k_{\text{п.к}}$ – коефіцієнти приведення, відповідно для активного та реактивного навантаження.

Проведемо детально розрахунок 1-го інтервалу добового графіку активної, реактивної та повної потужностей робочої зимової доби

$$P_{\text{з.р.1}} = \frac{P_{*1}}{100} \cdot P_{\max} = \frac{80}{100} \cdot 8417,0 = 6733,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{з.р.1}} = \frac{Q_{*1}}{100} \cdot Q_{\max} = \frac{90}{100} \cdot 1254,2 = 1128,8 \text{ квар};$$

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

$P_{\max}$, $Q_{\max}$ – розрахункові максимуми, відповідно, активної кВт і реактивної потужностей, квар.

Розрахунки ступенів добових графіків, аналогічні представленому та приведені в табл. А.1.1 - А.1.4 додатка А. Добові графіки активної, реактивної та повної потужностей зображені на рис. 1.1.

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

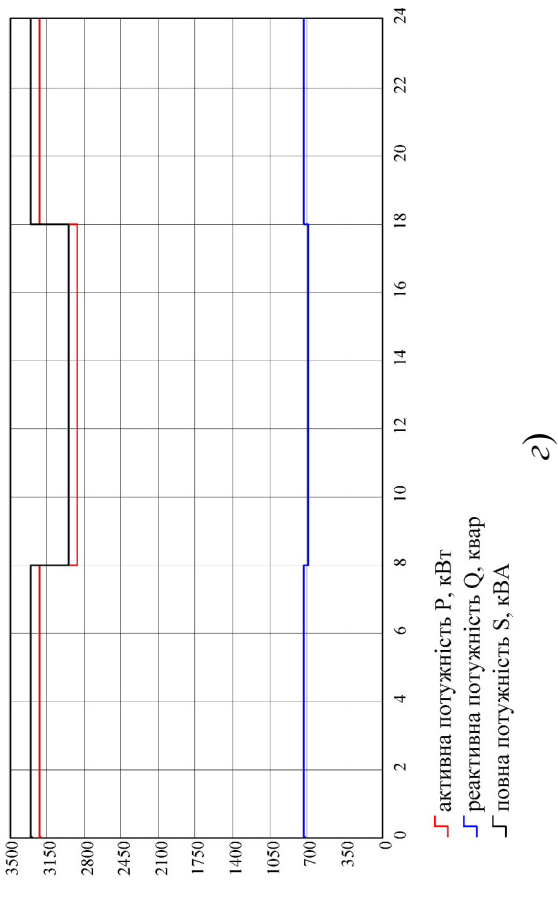
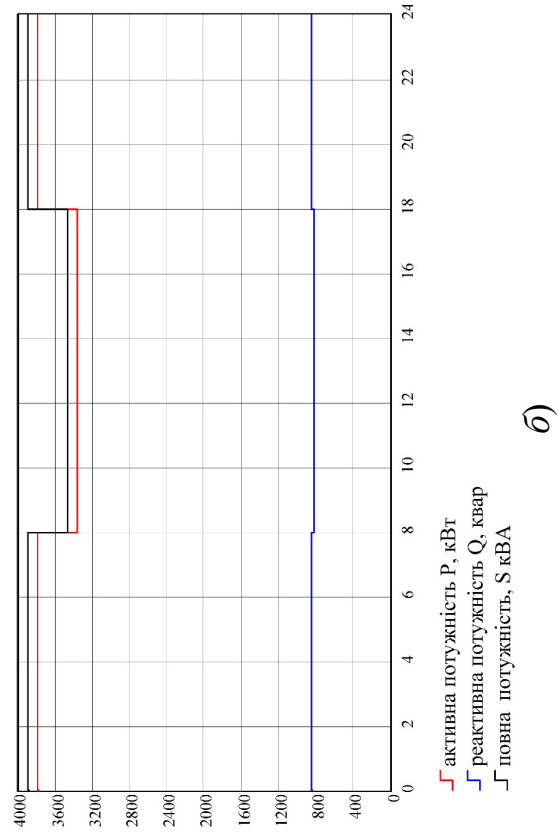
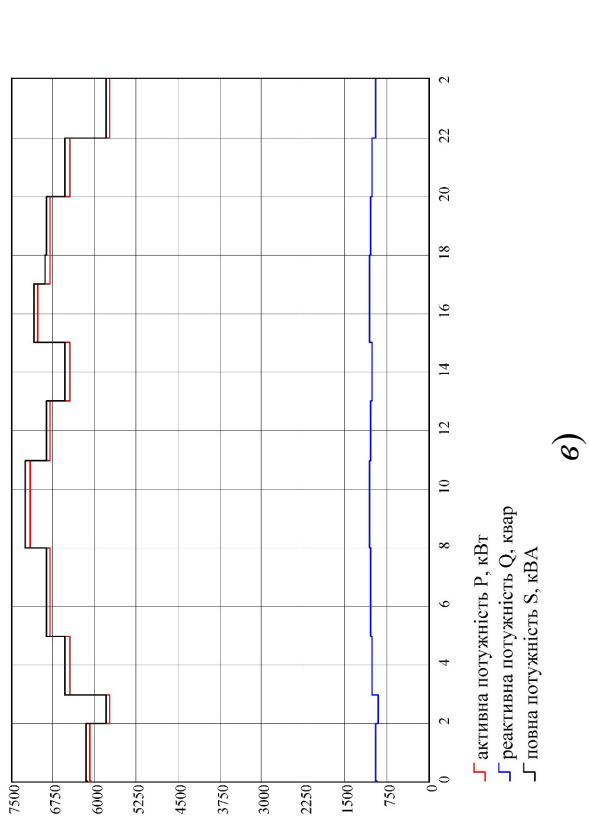
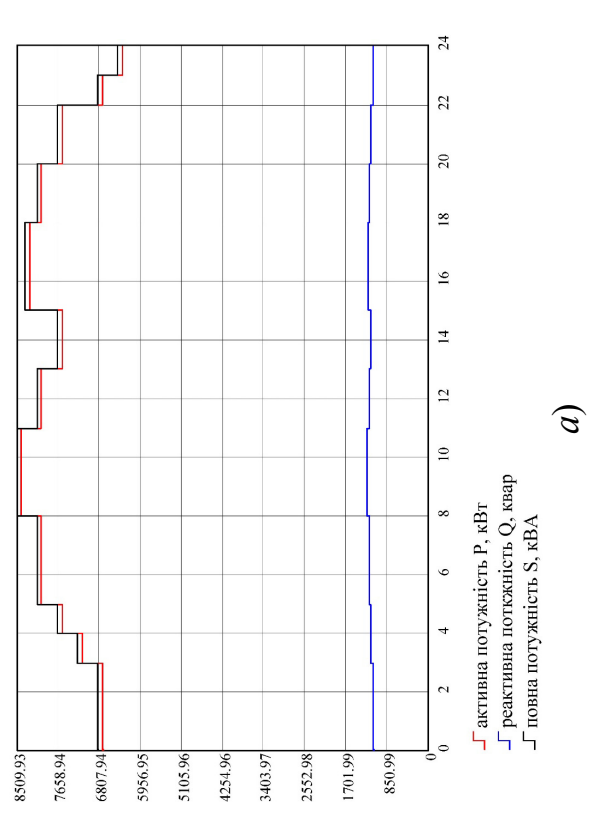


Рисунок 1.1 – Добові графіки активно, реактивної та повної потужностей за:

а) роботу зимову добу; б) вихідну зимову добу; в) роботу літню добу; г) вихідну літню добу

На основі добових графіків електричних навантажень, будуємо річні графіки активного, реактивного та повного навантажень за тривалістю. Відсортовані вихідні дані та результати розрахунку річного графіку за тривалістю представлені в табл. А.1.5 і на рис. 1.2.

За річним графіком визначаємо значення річного споживання активної та реактивної енергії, кількість годин використання максимуму навантаження $T_{\max}$, а також річний час повних втрат τ .

Річне споживання активної та реактивної енергії за умов проектування:

$$W_p = \sum_{i=1}^n \left[180 \cdot P_{з.р_i} + 32 \cdot P_{з.в_i} + 129 \cdot P_{л.р_i} + 24 \cdot P_{л.в_i} \right] = 52828,7 \text{ МВт} \cdot \text{год};$$

$$V_p = \sum_{i=1}^n \left[180 \cdot Q_{з.р_i} + 32 \cdot Q_{з.в_i} + 129 \cdot Q_{л.р_i} + 24 \cdot Q_{л.в_i} \right] = 8923,3 \text{ Мвар} \cdot \text{год};$$

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, год.

Кількість годин використання максимуму навантаження ливарного виробництва

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{52828,7^2 + 8923,3^2}}{8510} = 6295,8 \text{ год.}$$

Час максимальних втрат ливарного виробництва

$$\tau = \left[0,124 + \frac{T_m}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = \left[0,124 + \frac{6295,8}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = 4974,7 \text{ год.}$$

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

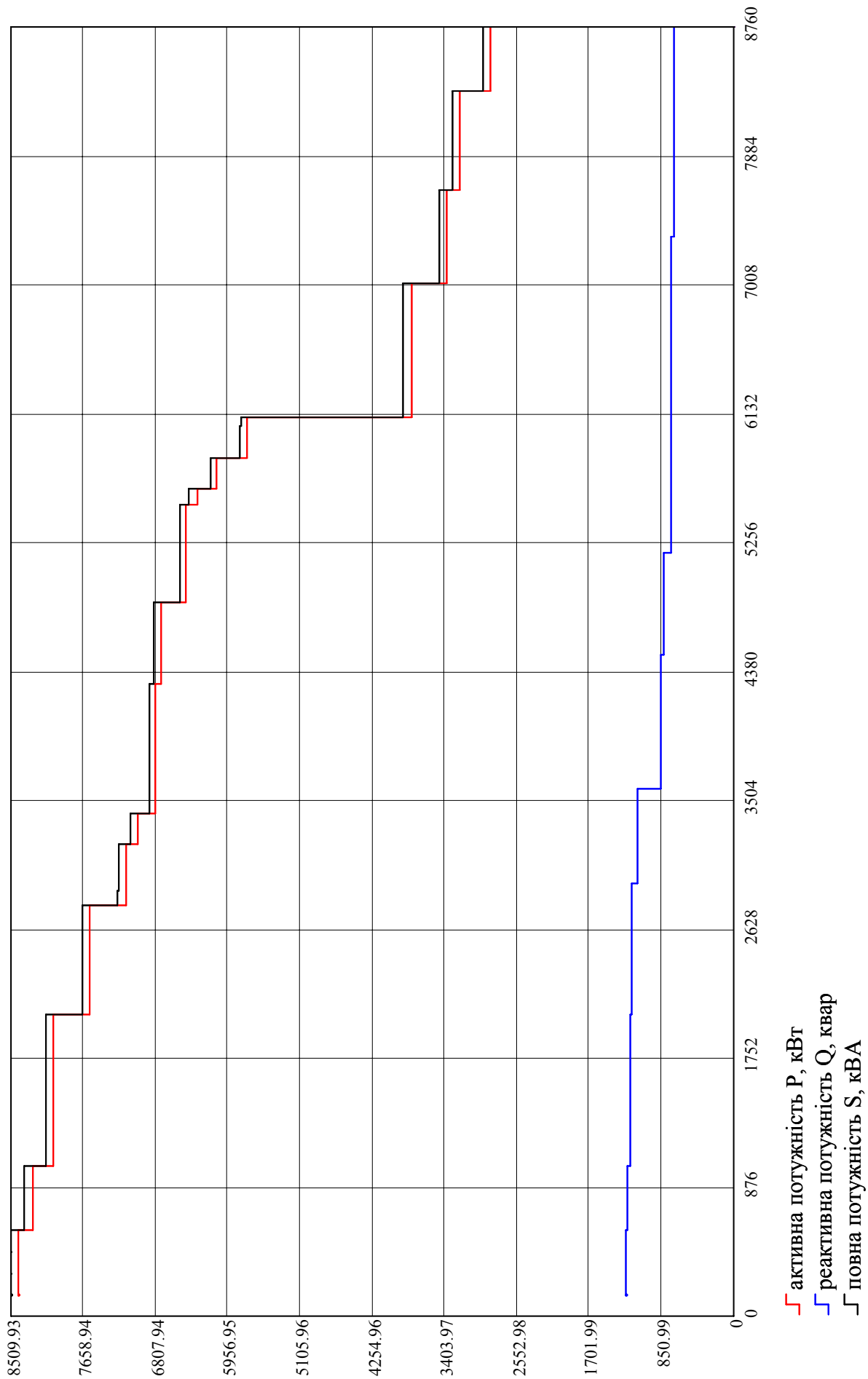


Рисунок 1.2 - Річні графіки активної, реактивної і повної потужностей за тривалістю

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

Місця розташування центральної розподільної установки 10 кВ (ЦРУ) та цехових трансформаторних підстанцій визначаємо шляхом нанесення на генеральний план ливарного виробництва картограми електричних навантажень. Для побудови картограми електричних навантажень для кожної ділянки, цеху, виробництва в цілому визначаємо радіус кола, площа якого у вибраному масштабі пропорційна сумарному електричному навантаженню $P_{\text{сум}}$ цього підрозділу. На колі також виділяємо сектор, площа якого пропорційна освітлювальному навантаженню $P_{\text{осв}}$ підрозділу.

Розглянемо детально розрахунок частини картограми навантажень для ділянки стержнів.

Радіуси кола пропорційний сумарному розрахунковому навантаженню:

$$R = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сум}}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{89,7}{3,14 \cdot 1}} = 5,3 \text{ мм},$$

де $P_{\text{р.сум}}$ – сумарне розрахункове навантаження ділянки стержнів, кВт;

m – масштаб, приймаємо рівним 1.

Центральний кут α сектора площа якого пропорційна освітлювальному навантаженню ділянки стержнів:

$$\alpha_i = 360 \frac{P_{\text{осв}}}{P_{\text{р}\Sigma}} = 360 \frac{6,0}{89,7} = 24,1^\circ.$$

де $P_{\text{осв}}$ – розрахункове освітлювальне навантаження ділянки стержнів, кВт;

$P_{\text{р}\Sigma}$ – сумарне розрахункове навантаження ділянки стержнів, кВт.

Розрахунок для інших відділень, цехів і ливарного виробництва в цілому аналогічний представленому, тому поданий у вигляді табл. 2.1.

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

Таблиця 2.1 – Розрахунок картограми навантажень

№ 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	Ділянка стержнів	83,7	6,0	89,7	5,3	20,8	103,6	24,1	1865,1	9289,8
2	Сумішопідготовче відділення	367,9	19,2	387,0	11,1	55,6	98,4	17,9	21519,9	38085,6
3	Склад	33,0	5,4	38,4	3,5	112	112,4	50,8	4297,6	4312,9
4	Термічне відділення	1254,9	24,2	1279,1	20,2	18,4	80	6,8	23534,8	102325,2
5	Лабораторія	33,4	2,2	35,6	3,4	76,4	76,8	22,4	2718,1	2732,4
6	Вибивне відділення	259,3	7,5	266,8	9,2	87,6	86,4	10,2	23372,1	23051,9
7	Ливарне відділення	286,6	18,8	305,3	9,9	116,4	89,6	22,1	35541,1	27358,1
8	Ділянка вагранок	315,0	4,8	319,8	10,1	143,6	95,2	5,4	45920,0	30442,8
9	Плавильна ділянка 0,4 кВ	242,1	22,7	264,8	9,2	167,6	85,6	30,9	44383,6	22668,5
	Плавильна ділянка 10 кВ	4125,0	0,0	4125,0	36,2	167,6	85,6	0,0	691350,0	353100,0
10	Ділянка плавки алюмінію	61,0657	1,3	62,4	4,5	145,6	78,8	7,5	9080,4	4914,4
11	Складські приміщення	29,2805	4,8	34,1	3,3	50,4	59,2	50,9	1718,5	2018,6
12	Модельне відділення	980,91	10,8	991,7	17,8	120,4	66,8	3,9	119401,4	66246,0
13	Обрубне відділення	235,734	86,1	321,8	10,1	82,8	31,2	96,3	26647,7	10041,2
	Всього								1051350,4	696587,4

На основі даних табл. 2.1. визначаємо координати центру електричних навантажень ливарного виробництва:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1865,1 + 21519,9 + 4297,6 + 23534,8 + 2718,1 + 23372,1 + 35541,1}{8521,5} + \frac{45920 + 44383,6 + 691350,0 + 9080,4 + 1718,5 + 119401,4 + 26647,7}{8521,5} = 123,4 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{9289,8 + 38085,6 + 4312,9 + 102325,2 + 2732,4 + 23051,9 + 27358,1}{8521,5} + \frac{30442,8 + 22668,5 + 353100 + 4914,4 + 2018,6 + 66246,0 + 10041,2}{8521,5} = 81,7 \text{ м};$$

де n – кількість відділень підрозділів виробництва;

$x_i P_i$, $y_i P_i$ – добутки, відповідної координати i -го підрозділу на генеральному плані виробництва на сумарну розрахункову потужність цього підрозділу, кВт·м;

Розрахунковий центр електричних навантажень ливарного виробництва знаходиться на території ділянки плавки алюмінію, тому зміщуємо його в точку з координатами $x_0 = 186,5$ м, $y_0 = 83,6$ м.

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

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЦТВА

3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

Ливарне виробництво можливо віднести до промислового об'єкту середньої потужності, оскільки сумарна встановлена потужність його споживачів складає 13 Вт. Для живлення таких споживачів найбільш доцільними є схеми електропостачання з одним прийомним пунктом електроенергії – головною знижувальною підстанцією (ГПП) або центральної розподільної установки (ЦРУ). Внаслідок наявності переважної більшості споживачів II-ї категорії за надійністю електропостачання в розподільній установці передбачається секціонування.

Попередньо рівень напруги схеми приєднання ливарного виробництва можливо оцінити за виразом:

$$U = 3\sqrt{S_p} + 0,5l = 3\sqrt{8,5} + 0,5 \cdot 0,3 = 8,9 \text{ кВ.}$$

де S_p – розрахункове навантаження ливарного виробництва, МВ·А;

l – відстань на яку передається потужність, км.

Попередньо отриману значення напруги округлюємо до найближчого стандартного – 10 кВ. На ливарному виробництві наявні високовольтні споживачі з номінальною напругою 10 кВ.

Отже, з урахуванням вище викладеного живлення ливарного виробництва доцільно здійснювати від двосекційної ЦРУ, яка підключається до ГЗП машинобудівного підприємства по двох КЛ номінальною напругою 10 кВ. Причому при аварії на одній лінії та, що залишилась у роботі повинна повністю забезпечити обладнання виробництва електроенергією.

3.2 Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

У проєктованій системі електропостачання ливарного виробництва для живлення електротермічних установок (дугових сталеплавильних печей,

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

індукційних сталеплавильних комплексів) здійснюється радіальною схемою. Це пов'язано насамперед з тим, що ці електроприймачі за надійністю електропостачання відносяться до споживачів II категорії [1]. З метою зменшення впливу електротермічних установок на якість електроенергії ДСП і ДЧМ, вони укомплектовані трансформаторними агрегатами, що обладнані струмо-обмежувачами реакторами. Трансформатори ЕТУ підключаються по КЛ до різних секцій 10 кВ центральної розподільної установки.

Електромережа 10 кВ живлення ЦТП може бути виконана за радіальною або магістральною схемами. Одноступінчасті радіальні схеми розподілу електроенергії використовуються на невеликих і середніх за потужністю промислових підприємствах для живлення зосереджених споживачів. Основна перевагою радіальних схем є глибоке секціонування системи електропостачання. Магістральні схеми розподілу електроенергії використовують тоді, коли на підприємстві є значна кількість сконцентрованих споживачів. Схеми з двома і більш наскрізними магістралями мають високу надійність і можуть бути застосованими для споживачів будь-якої категорії. Головна перевага магістральних схем полягає в скороченні ланок комутації, тобто вони мають нижчу вартість. Оскільки для живлення ЦТП може бути використана як радіальна так і схема з двома наскрізними магістралями, то проводимо техніко-економічне порівняння таких варіантів електропостачання ливарного виробництва:

1) електропостачання здійснюється від ГЗП машинобудівного підприємства по КЛ довжиною 0,3 км номінальною напругою 10 кВ. Біля плавильної ділянки планується спорудження ЦРУ та живлення ЦТП здійснюється за магістральною схемою. Цехові трансформатори приєднуються до КЛ через запобіжник і вимикач навантаження (рис. 3.1). ЕТУ отримують живлення за радіальною схемою;

2) електропостачання здійснюється від ГЗП машинобудівного підприємства по КЛ довжиною 0,3 км номінальною напругою 10 кВ. Біля плавильної ділянки планується спорудження ЦРУ та використовується радіальна схема з глухим приєднанням трансформаторів до КЛ (рис. 3.2). Електротермічні електроприймачі отримують живлення за радіальною схемою від споруджуваного ЦРУ.

Кінцеве проектне рішення обирається порівнянням зведених витрат за варіантами (при цьому не враховується вартість однакових елементів схем).

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

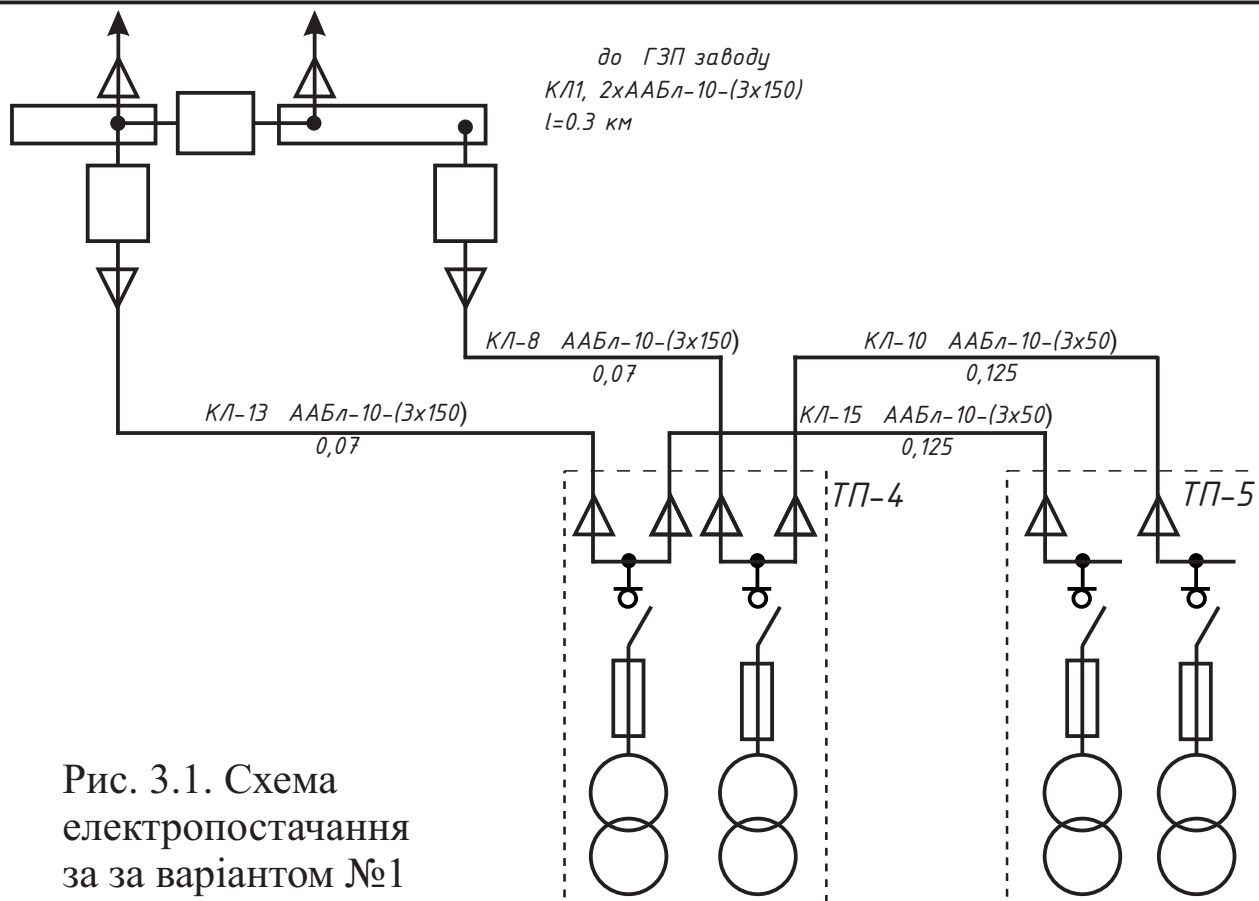


Рис. 3.1. Схема електропостачання за за варіантом №1

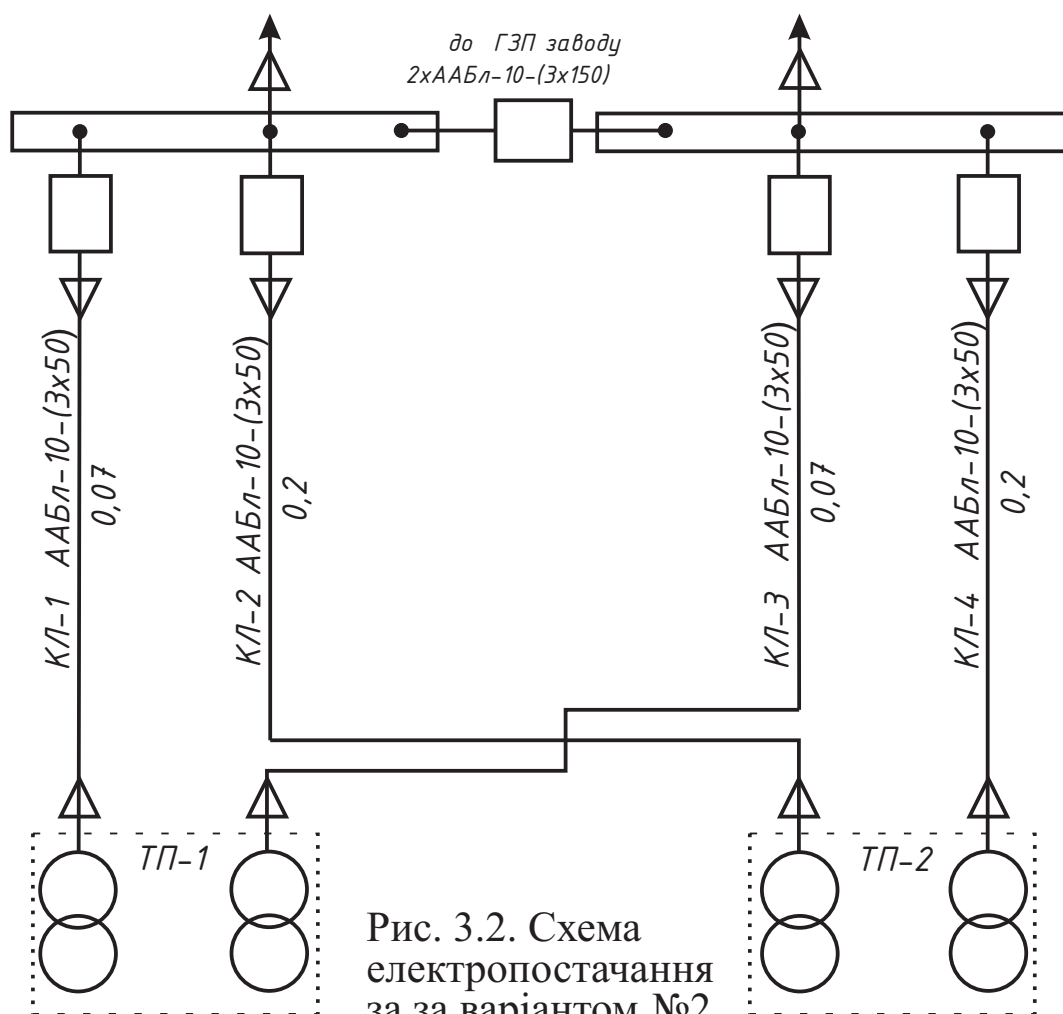


Рис. 3.2. Схема електропостачання за за варіантом №2

Вибір кабельних ліній

Розглянемо детально вибір магістральних КЛ варіанту №1.

Розрахункові струми у магістральній КЛ-8 (КЛ-13) ТП-4:

– нормальний режим:

$$I_p = \frac{S_{p,0,4}}{n\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4432,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 128,1 \text{ А};$$

де $S_{p,0,4}$ – розрахункова потужність ливарного виробництва на стороні 0,4 кВ;

n – кількість кабелів, по яких передається потужність до ТП-4;

– аварійний режим

$$I_{p,ав} = \frac{S_{p,0,4}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{4432,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 256,2 \text{ А}.$$

На основі $I_{p,ав}$ приймаємо до розгляду кабель з алюмінієвими жилами, броньований марки ААБл-10-(3х120), з тривалодопустимим струмовим навантаженням $I_d = 234 \text{ А}$ за умови прокладання його в повітрі [1].

Струм кабелю з урахуванням перевантаження на час ліквідації аварії впродовж 6 год:

$$I_{ав,д} = k_{д,а.п} \cdot I_d = 1,25 \cdot 234 = 292,5 \text{ А}.$$

де $k_{д,а.п}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження кабелю. Приймаємо 1,25 [1], за умови, що його завантаження в нормальному режимі було:

$$k_z = I_p / I_d = 128,1 / 234 = 0,55 < 0,6.$$

Проводимо перевірки попередньо вибраного кабелю ААБл-10-(3х120):

– нормальний режим:

$$I_d = 234 \text{ А} > I_p = 128,1 \text{ А};$$

– аварійний режим:

$$I_{ав,д} = 292,5 \text{ А} > I_{p,ав} = 256,2 \text{ А}.$$

Таким чином, попередньо прийнятий до розгляду кабель ААБл-10-(3х120) задовольняє всім умовам, тому приймаємо його до установки.

Вибір інших кабельних ліній обох варіантів, аналогічний приведеному і представлений у табл. 3.1.

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

Таблиця 3.1 – Вибір кабельних ліній за варіантами

№ вар.	№ КЛ	№ ЕП	Тип КЛ	l , км	I_p , А	I_d , А	I'_d , А	k_z	$k_{д.а.п}$	$I_{ав} < I_{ав.д}$, А
I	6, 8	ТП-4	ААБл-10-(3х120)	0,070	128,1	234	234,0	0,55	1,25	256,2 < 292,5
	7, 9	ТП-5	ААБл-10-(3х50)	0,125	66,1	132	132,0	0,50	1,25	132,2 < 165,0
II	1, 3	ТП-1	ААБл-10-(3х50)	0,07	66,6	132	132,0	0,50	1,25	133,2 < 165,0
	2, 4	Т-2	ААБл-10-(3х50)	0,2	66,1	132	132,0	0,50	1,25	132,2 < 165,0

Вибір схеми електропостачання

У енергетиці критерієм вибору найкращого з намічених варіантів схеми електропостачання є мінімум приведених витрат, які розраховуються тільки для елементів схеми, що відрізняються.

Для варіанту №1 електропостачання ЦТП мінімум приведених витрат складе:

$$П_{в1} = E_n \cdot K + C + B + Z = 0,12 \cdot 822,0 + 103,8 + 125,5 + 4,0 = 332,0 \text{ тис. грн.}$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, приймаємо 0,12;

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

K – сумарні капіталовкладення в схему тис. грн.;

B – вартість втрат електроенергії в кабельних лініях, грн./рік;

Z – збитки виробництва від аварійної перерви електропостачання, що залежать від рівня надійності схеми, грн/рік.

Із прийнятих до розгляду варіантів схеми електропостачання виробництва кращим буде той, що забезпечує найменші приведені витрати.

Загальна сума капіталовкладень за варіантами

Загальна сума капіталовкладень для кожного з намічених варіантів визначається за укрупненими показниками вартості елементів схеми. Для варіанту №1 капіталовкладення складуть:

$$K = \sum_{i=1}^n n k_i = 2 \cdot 187,5 + 4 \cdot 14,5 + 0,14 \cdot 1301,4 + 0,25 \cdot 827,1 = 822 \text{ тис. грн.}$$

де n – кількість елементів схеми;

k_i – вартість i -го елемента схема, тис. грн.;

Розрахунок загальної суми капіталовкладень для варіанта №2 аналогічний приведеному, а його результати представлені в табл. 3.2.

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

Таблиця 3.2 – Загальна сума капіталовкладень по варіантах

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн.	Вартість всього, тис. грн.
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	шт.	2	187,5	375,0
	Вимикач навантаження із запобіжником	шт.	4	14,5	58,0
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х150)	км	0,140	1301,4	182,2
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х50)	км	0,250	827,1	206,8
	Всього				822,0
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	шт.	4	187,5	750,0
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х50)	км	0,540	827,1	446,6
	Всього				1196,6

Розрахунок поточних витрат

Поточні витрати на утримання системи електропостачання проводимо укрупнено на основі амортизаційних відрахувань і експлуатаційних витрат.

Поточні витрати для шаф КРУ з вакуумними вимикачами 10 кВ для варіанту №1 складуть:

$$C = A + E = \frac{k \cdot H_a}{100} + \frac{k \cdot H_e}{100} = \frac{375 \cdot 10\%}{100} + \frac{375 \cdot 5\%}{100} = 56,3 \text{ тис. грн.},$$

де A – амортизаційні відрахування, тис. грн.;

E – експлуатаційні витрати, тис. грн.;

k – вартість елемента схеми електропостачання;

H_a – норма амортизаційних відрахувань, для електрообладнання з електроапаратами приймаємо 10%;

H_e – норма експлуатаційних відрахувань для кабелів приймаємо 5%.

Сумарні поточні витрати варіанту №1 складуть:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{i=1}^n E_i = (37,6 + 5,8 + 9,1 + 10,3) + (18,8 + 2,9 + 9,1 + 10,3) = 103,8 \text{ тис. грн.},$$

де n – кількість елементів схеми варіанту №1.

Для інших елементів схем електропостачання обох варіантів розрахунок поточних витрат аналогічний представленому, а його результати подані у вигляді табл. 3.3.

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

Таблиця 3.3 – 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	10,0	5,0	375,0	37,5	18,8	56,3
	Вимикач навантаження із	10,0	5,0	58,0	5,8	2,9	8,7
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х150)	5,0	5,0	182,2	9,1	9,1	18,2
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х50)	5,0	5,0	206,8	10,3	10,3	20,7
	Всього						103,8
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	10,0	5,0	750,0	75,0	37,5	112,5
	Кабельна лінія ААБл-10-(3х50)	10,0	5,0	446,6	44,7	22,3	67,0
	Всього						179,5

Вартість втрат електроенергії

Для прийнятих варіантів схем електропостачання ливарного виробництва вартість втрат електроенергії визначається у кабельних лініях за діючим тарифом на електроенергію.

Вартість втрат електроенергії для КЛ-13 і КЛ-8 варіанту №1 складе

$$B = c_0 \cdot \Delta E_{\text{н.кл}} = 5,01792 \cdot 11273,7 = 56570,8 \text{ грн.},$$

де c_0 – ціна на універсальні послуги для споживачів 2 класу напруги, що приєднані до електричних мереж ПрАТ "Кіровоградобленерго";

де $\Delta E_{\text{н.кл}}$ – навантажувальні втрати енергії у КЛ

$$\Delta E_{\text{н.кл}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau_{\text{м}} = 2,3 \cdot 4974,7 = 11273,7 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$\Delta P_{\text{н}}$ – навантажувальні втрати потужності у кабельних лініях

$$\Delta P_{\text{н.кл}} = \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2 = 54 \cdot 0,14 \cdot 0,55^2 = 2,3 \text{ кВт},$$

$\Delta p_{\text{пл}}$ – питомі втрати активної потужності у КЗ за умови їх повного завантаження, кВт/км;

l – сумарна довжина кабельних ліній КЛ-13 і КЛ-8, км.

У інших елементах схем електропостачання обох варіантів розрахунок вартості втрат електроенергії аналогічний представленому, а його результати подані у вигляді у табл. 3.4.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		31

Таблиця 3.4 – Розрахунок вартості втрат електроенергії

№ вар	Назва ЕП	Номер КЛ	Тип лінії	Δp , кВт/км	k_3	l_{Σ} , км	ΔP , кВт	ΔE , кВт·год	B , грн
I	Кабельна лінія	6, 8	ААБл-10-(3х150)	54	0,55	0,140	2,3	11273,7	56570,8
		7, 9	ААБл-10-(3х50)	44	0,50	0,250	2,8	13729,4	68892,9
Всього								25003,1	125463,7
II	Кабельна лінія	1, 3	ААБл-10-(3х50)	44	0,50	0,140	1,6	7801,9	39149,5
		2, 4	ААБл-10-(3х50)	44	0,50	0,400	4,4	21967,0	110228,6
Всього								29768,9	149378,1

Господарські збитки від порушення електропостачання

У зв'язку з тим, що варіанти схеми електропостачання відрізняються за надійністю проводимо розрахунок господарських збитків від порушення електропостачання.

Варіант №1. Господарські збитки від недоданої електроенергії внаслідок ймовірних аварій:

$$З = z_0 \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 131 \cdot 6049 \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} = 4042 \text{ грн.}$$

де z_0 – питомий показник збитку, на основі закордонного досвіду проектування ливарних цехів приймаємо 131 грн./кВт·год;

$P_{\text{ср}}$ – середньорічне активне навантаження ливарного виробництва

$$P_{\text{ср}} = P_p \cdot T_m / 8760 = 8417,0 \cdot 6295,8 / 8760 = 6049,0 \text{ кВт};$$

T_a – середньорічний час аварійного простою кабельних ліній

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 5,8 \cdot 10^{-7} \cdot 8760 = 5,1 \cdot 10^{-3}, \text{ год};$$

$K_a^{(2)}$ – коефіцієнт аварійного простою двох кабельних ліній

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (2,5 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 2,9 \cdot 10^{-7} = 5,8 \cdot 10^{-7};$$

$K_{\text{ап}}$ - коефіцієнт аварійного простою

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 2,9 \cdot 10^{-7};$$

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

λ_a – параметр потоку відмов однієї ланки схеми електропостачання

$$\lambda_a = \sum \lambda_{a.i} = 0,07 + 0,006 + 0,01 + 0,01 + 0,006 + 0,05 + 0,01 = 0,1;$$

K_{Π} – коефіцієнт планового простою однієї ланки схеми електропостачання

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\Pi.\max} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3};$$

K_a – коефіцієнт аварійного простою однієї ланки схеми електропостачання

$$K_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-5};$$

T_B – середній час відновлення однієї ланки схеми електропостачання

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{a.i} \cdot T_{B.i}}{\lambda_a} = \frac{(0,007 \cdot 1,1 + 0,006 \cdot 0,005 + 0,01 \cdot 0,25 + 0,01 \cdot 0,09) \cdot 10^{-3}}{0,1} \times \\ \times \frac{(+0,006 \cdot 0,4 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,01 \cdot 0,25) \cdot 10^{-3}}{0,1} = 2,5 \cdot 10^{-4}, \text{ год/рік.}$$

$\lambda_{a.i}$ – параметр потоку відмов i -го елемента схеми електропостачання;

T_B – середній час відновлення i -го елемента схеми електропостачання.

Варіант №2. Господарські збитки від недоданої електроенергії внаслідок ймовірних аварій

$$Z = z_0 \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_a = 131 \cdot 6295,8 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} = 0,957 \text{ тис. грн.,}$$

де T_a – середньорічний час аварійного простою

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 1,32 \cdot 10^{-7} \cdot 8760 = 1,16 \cdot 10^{-3}, \text{ год;}$$

$K_a^{(2)}$ – коефіцієнт аварійного простою двох кабельних магістральних ліній

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{\text{ап}} = (3 \cdot 10^{-6})^2 + 2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-8} = 1,32 \cdot 10^{-7};$$

$K_{\text{ап}}$ – коефіцієнт аварійного простою, коли одна ланка схеми електропостачання вимкнена і в той же час інша вимикається внаслідок ушкодження

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \lambda_a \cdot K_{\Pi} = 0,5 \cdot 0,023 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 6,6 \cdot 10^{-8};$$

λ_a – параметр потоку відмов однієї ланки схеми електропостачання

$$\lambda_a = \sum \lambda_{a.i} = 0,007 + 0,016 = 0,023;$$

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

$\lambda_{a.i}$ – параметр потоку відмов однієї ланки, 1/рік, приймаємо згідно;

K_{Π} – коефіцієнт планового простою однієї ланки схеми електропостачання

$$K_{\Pi} = 1,2 \cdot K_{\Pi, \max} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3};$$

K_a – коефіцієнт аварійного простою однієї ланки схеми електропостачання

$$K_a = \lambda_a \cdot T_b = 0,023 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-6};$$

T_b – середній час відновлення однієї ланки схеми електропостачання

$$T_b = \frac{\sum \lambda_{a.i} \cdot T_{b.i}}{\lambda_a} = \frac{(0,007 \cdot 0,4 + 0,016 \cdot 0,014)}{0,023} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ год/рік.}$$

На основі проведених розрахунків була сформована табл. 3.5 з результатами техніко-економічного обґрунтування.

Таблиця 3.5 – Результати техніко-економічного обґрунтування варіантів схеми електропостачання ливарного виробництва

Показники	Од. вим.	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис. грн.	822,0	1196,6
Поточні витрати	тис. грн.	103,8	179,5
Вартість втрат електричної енергії	тис. грн.	125,5	149,4
Збитки від недоданої електроенергії	тис. грн.	4,042	0,957
Приведені витрати	тис. грн.	332,0	473,4

На основі проведених розрахунків приймаємо схему внутрішнього електропостачання ливарного виробництва за варіантом №1, оскільки він є більш економічно доцільним:

$$П_{в1} = 332,0 > П_{в2} = 473,4 \text{ тис. грн.}$$

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Сумарне споживання активної потужності ливарним виробництвом:

$$P_p = P_b + P_n + \Delta P_{тр} = 4125 + 4314 + 114,3 = 8553,3 \text{ кВт}$$

де P_b – активна потужність навантаження в мережі вище 1000 В

$$P_b = \sum_{i=1}^n P_i = 1680 + 1820 + 625 = 4125,0 \text{ кВт};$$

P_n – активна потужність навантаження мережі до 1000 В:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_{тп.i} = 2089,8 + 2224,9 = 4314,0 \text{ кВт},$$

P_i – активна потужність i -го електроприймача, кВт;

$\Delta P_{тр}$ – втрати активної потужності у трансформаторах з ВН 10 кВ:

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{тр} = \sum_{i=1}^n P_{тр.i} = 17,7 + 19,6 + 29,0 + 34,9 + 13,2 = 114,3 \text{ кВт}$$

$\Delta P_{тр.i}$ – втрати активної потужності в i -му трансформаторі;

Сумарне споживання реактивної потужності по ливарному виробництву:

$$Q_p = Q_b + Q_n + \Delta Q_{тр} = 2065,9 + 2973,1 + 773,6 = 5812,6 \text{ квар}$$

де Q_b – реактивна потужність навантаження мережі вище 1000 В (ЕТУ):

$$Q_b = \sum_{i=1}^n Q_i = 715,7 + 881,5 + 468,8 = 2065,9 \text{ квар};$$

Q_n – реактивна потужність навантаження мережі до 1000 В:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_{тп.i} = 1192,4 + 1780,7 = 2973,1 \text{ квар},$$

$Q_{тп.i}$ – реактивна потужність i -го електроприймача, квар;

$\Delta Q_{тр}$ – втрати реактивної потужності в трансформаторах з ВН 10 кВ:

$$\Delta Q_{тр} = \sum \Delta Q_{тр.i} = 123,5 + 134,4 + 202 + 243,9 + 69,4 = 773,6 \text{ квар},$$

$\Delta P_{тр.i}$ – втрати активної потужності в i -му трансформаторі;

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

Економічно доцільна реактивна потужність, що може бути передана від енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_e = 8553,3 \cdot 0,15 = 1283 \text{ квар.}$$

де $\operatorname{tg} \varphi_e$ – економічно доцільний коефіцієнт потужності.

Мінімальна кількість цехових трансформаторів:

$$n_0 = P_n / (k_3 \cdot S_{\text{тр.ном}}) = 4314 / (0,695 \cdot 1600) = 3,9 \approx 4 \text{ шт.}$$

де $k_3 = 0,695$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів за даними табл. 1.3.

Розглянемо варіанти компенсації реактивної потужності за кількості трансформаторів, що можуть бути встановлені на ЦТП: $n = n_0$, $n = n_0 + 1$, $n = n_0 + 2$.

Варіант №1

Реактивна потужність ПКРП, що необхідно встановити в мережі 0,4 кВ на основі балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{\text{кн}} = Q_n - Q_1 = 2973,1 - 1083,6 = 1889,5 \text{ квар.}$$

де Q_1 – реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_n^2} = \sqrt{(4 \cdot 1600 \cdot 0,695)^2 - 4314,0^2} = 1083,6 \text{ квар.}$$

де $S_{\text{т.ном}}$ – номінальна потужність одного трансформатора, кВ·А;

P_n – сумарне споживання активної потужності в мережі напругою до 1000 В;

k_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Отже, приймаємо до установки $Q_{\text{кн}} = 1872$ квар (4x200, 2x536 квар) і уточнюємо значення Q_1

$$Q_1 = Q_n - Q_{\text{кн}} = 2973,1 - 1872,0 = 1101,1 \text{ квар.}$$

Потужність ПКРП, що потрібно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{кн}} - Q_e = 5812,6 - 1872 - 1283,0 = 2657,6 \text{ квар}$$

Отже, приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 2700$ квар (2x450, 2x900 квар).

Варіант №2

Потужність ПКРП які необхідно встановити в мережі 0,4 кВ, за числа трансформаторів ЦТП $n = 5$

$$Q_{\text{кн}} = Q_n - Q_1 = 2973,1 - 2801,8 = 171,3 \text{ квар}$$

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

де Q_1 – реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{Т.НОМ}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(5 \cdot 1600 \cdot 0,643)^2 - 4314,0^2} = 2801,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки $Q_{\text{кн}} = 100$ квар (1х100 квар) і уточнюємо значення

$$Q_1 = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 2973,1 - 100 = 2873,1 \text{ квар}$$

Потужність ПКРП, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 5812,6 - 100 - 1283,0 = 4429,0 \text{ квар}$$

Отже, приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 4500$ квар (2х450, 4х900 квар).

Варіант №3

Потужність КП які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ, за числа трансформаторів ЦТП $n = 6$

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 2973,1 - 2943,2 = 29,8 \text{ квар,}$$

де Q_1 – реактивна потужність, що може бути передана з мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{Т.НОМ}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(5 \cdot 1600 \cdot 0,544)^2 - 4314,0^2} = 2943,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення $Q_{\text{кн}} = 0$ квар і уточнюємо значення

$$Q_1 = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 2973,1 - 0 = 2973, \text{ квар.}$$

Потужність ПКРП, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 5812,6 - 0 - 1283 = 4499,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки $Q_{\text{кв}} = 2700$ квар (2х450, 4х900 квар).

Баланс реактивної потужності у мережі ливарного виробництва за кожним із розглянутих варіантів подано в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Баланс реактивної потужності у мережі ливарного виробництва

Показники	Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
Потужність ПКРП 0,4 кВ	1872,0	100,0	0,0
Потужність ПКРП 10 кВ	2700,0	4500,0	4500,0
Споживання реактивної потужності із енергосистеми	1283,0	1283,0	1283,0
Всього за умовою балансу	-42,4	-70,4	-29,6

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

Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності проводиться на підставі економічного порівняння намічених варіантів. Для схеми електропостачання ливарного виробництва в якості пристроїв компенсації реактивної потужності приймаємо комплектні установки компенсації реактивної (УКРП) потужності з номінальною напругою 0,4 і 10 кВ.

Критерієм економічності є мінімум приведених витрат на реалізацію запропонованого варіанту.

Варіант №1

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$B_1 = E \cdot (K_{\text{укрп.нн}} + K_{\text{укрп.нн}} + K_{\text{тп}}) + (\Delta P_{\text{укрп.нн}} + \Delta P_{\text{укрп.нн}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot c_0 \cdot \tau =$$

$$= 0,27 \cdot (788,6 + 1333,4 + 0) + (8,4 + 8,1 + 1,56) \cdot 5,01792 \cdot 4974,7 \cdot 10^{-3} = 1023,8 \text{ тис. грн.}$$

де E – сумарні щорічні відрахування:

$$E = p_n + H_a + H_e = 0,12 + 0,1 + 0,05 = 0,27;$$

$K_{\text{укрп.нн}}$ – вартість низьковольтних УКРП:

$$K_{\text{укрп.нн}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{укрп.нн.}i} \cdot K_{\text{укрп.нн.}i} = 4 \cdot 76698 + 2 \cdot 240882 = 788,6 \text{ тис. грн.}$$

n – загальна кількість УКРП низької напруги, шт.;

$n_{\text{укрп.нн.}i}$ – кількість низьковольтних УКРП з потужністю i -го номіналу, шт.;

$K_{\text{укрп.нн.}i}$ – вартість низьковольтної УКРП з потужністю i -го номіналу, грн.;

$K_{\text{укрп.вн}}$ – вартість високовольтних УКРП та додаткового обладнання для них:

$$K_{\text{укрп.вн}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{укрп.вн.}i} K_{\text{укрп.вн.}i} + \sum_{i=1}^n n_{\text{ш.}i} K_{\text{ш.}i} =$$

$$= 2 \cdot 460520 + 4 \cdot 205780 + 6 \cdot 187,5 = 1333,4 \text{ тис. грн.,}$$

де $n_{\text{пкрп.вн.}i}$ – кількість високовольтних УКРП з потужністю i -го номіналу

$K_{\text{пкрп.10.}i}$ – вартість високовольтної УКРП з потужністю i -го номіналу;

$n_{\text{ш.}i}$ – кількість лінійних шаф з вимикачами 10 кВ;

$K_{\text{ш.}i}$ – вартість лінійних шаф з вимикачами 10 кВ;

$\Delta P_{\text{тп}}$ – активні втрати потужності при передачі реактивної потужності з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ через трансформатори:

		$\Delta P_{\text{тп}} = Q^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{ном}}^2 = 1101,1^2 \cdot 1,56 \cdot 10^{-4} / 10^2 = 1,56 \text{ кВт,}$	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.
		Дата	38

де $R_{ек}$ – еквівалентний опір трансформаторів ЦТП:

$$R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U_H^2) / (n_{тр} \cdot S_{т.ном}^2) = (16,0 \cdot 10^2) / (4 \cdot 1600^2) = 1,56 \cdot 10^{-4}, \text{ кОм.}$$

Втрати активної потужності в УРКП 0,4 кВ:

$$\Delta P_{урп.нн} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{урп.нн} = 0,0045 \cdot 1872 = 8,4 \text{ кВт,}$$

де $\Delta P_{пит.в}$ – питомі втрати потужності в низьковольтних УКРП.

Втрати активної потужності в УКРП 10 кВ

$$\Delta P_{урп.вн} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{урп.вн} = 0,003 \cdot 2700 = 8,1 \text{ кВт.}$$

де $\Delta P_{пит.в}$ – питомі втрати потужності в високовольтних УКРП.

Варіант №2

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$B_2 = E \cdot (K_{кн} + K_{кв} + K_{ктп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) \cdot c_0 \cdot \tau = 0,27 \cdot (47,9 + 1333,7 + 1000,35) + (0,45 + 13,5 + 3,4) \cdot 5,01792 \cdot 4974,7 \cdot 10^{-3} = \text{тис. грн.}$$

де $K_{урп.нн}$ – вартість низьковольтних УКРП:

$$K_{урп.нн} = \sum_{i=1}^n n_{урп.нн.i} \cdot K_{урп.нн.i} = 1 \cdot 47884 = 47,9 \text{ тис. грн.}$$

$K_{урп.вн}$ – вартість високовольтних УКРП та додаткового обладнання для них:

$$K_{урп.вн} = \sum_{i=1}^n n_{урп.вн.i} K_{урп.вн.i} + \sum_{i=1}^n n_{ш.i} K_{ш.i} = 2 \cdot 460520 + 2 \cdot 205780 + 4 \cdot 187,5 = 1333,7 \text{ тис. грн.,}$$

Вартість додатково встановлених комплектних трансформаторних підстанцій і додаткового обладнання до них:

$$K_{ктп} = \sum_{i=1}^n n_{тп.i} K_{тп.i} + \sum_{i=1}^n n_{ш.i} K_{ш.i} = 1 \cdot 1003489 + 0 \cdot 187,5 = 1000,35 \text{ тис. грн.,}$$

де $n_{тп}$ – кількість однотрансформаторних підстанцій;

$K_{тп(1)}$ – вартість однотрансформаторної підстанції. Для додатково встановлюваного трансформатора лінійна шафа 10 кВ не передбачається;

$\Delta P_{тп}$ – активні втрати потужності при передачі реактивної потужності з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори:

$$\Delta P_{тп} = Q_1^2 \cdot R_{ек} / U_{ном}^2 = 2873,1^2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4} / 10^2 = 3,4 \text{ кВт,}$$

де $R_{ек}$ – еквівалентний опір трансформаторів ЦТП

		$R_{ек} = (\Delta P_{кз} \cdot U_{ном}^2) / (n_{тр} \cdot S_{т.ном}^2) = (16 \cdot 10^2) / (5 \cdot 1600^2) = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ кОм.}$			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	39

Втрати активної потужності в УКРП 10 кВ:

$$\Delta P_{\text{укрп.нн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{укрп.нн}} = 0,0045 \cdot 100 = 0,45, \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності в УРКП 0,4 кВ:

$$\Delta P_{\text{укрп.вн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{укрп.вн}} = 0,003 \cdot 4500 = 13,5 \text{ кВт.}$$

Варіант №3

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$B_3 = E \cdot (K_{\text{кн}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кпп}}) + (\Delta P_{\text{кн}} + \Delta P_{\text{кв}} + \Delta P_{\text{тп}}) \cdot c_0 \cdot \tau = \\ = 0,27 \cdot (0 + 1333,7 + 2000,7) + (0 + 13,5 + 2,0) \cdot 5,01792 \cdot 4974,7 \cdot 10^{-3} = \text{тис. грн.}$$

$K_{\text{укрп.вн}}$ – вартість високовольтних УКРП та додаткового обладнання для них:

$$K_{\text{укрп.вн}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{укрп.вн.}i} K_{\text{укрп.вн.}i} + \sum_{i=1}^n n_{\text{ш.}i} K_{\text{ш.}i} = \\ = 2 \cdot 460520 + 4 \cdot 205780 + 6 \cdot 187,5 = 1351,7 \text{ тис. грн.,}$$

Вартість додатково встановлених комплектних трансформаторних підстанцій і додаткового обладнання до них:

$$K_{\text{кпп}} = \sum_{i=1}^n n_{\text{тп.}i} K_{\text{тп.}i} + \sum_{i=1}^n n_{\text{ш.}i} K_{\text{ш.}i} = 2 \cdot 1003489 + 0 \cdot 187,5 = 2000,7 \text{ тис. грн.,}$$

$\Delta P_{\text{тп}}$ – активні втрати потужності при передачі реактивної потужності з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ через цехові трансформатори

$$\Delta P_{\text{тп}} = Q^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{ном}}^2 = 2973,1^2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} / 10^2 = 3,0 \text{ кВт,}$$

$R_{\text{ек}}$ – еквівалентний опір трансформаторів ЦТП

$$R_{\text{ек}} = (\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ном}}^2) / (n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ном}}^2) = (16 \cdot 10^2) / (6 \cdot 1600^2) = 1 \cdot 10^{-4} \text{ кОм.}$$

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{\text{укрп.вн}} = \Delta P_{\text{пит}} \cdot Q_{\text{укрп.вн}} = 0,003 \cdot 4500 = 13,5 \text{ кВт.}$$

Отже, приведені витрати 1-го варіанту компенсації реактивної потужності у мережах ливарного виробництва найменші:

$$B_1 = 1023,8 < B_2 = 1094,0 < B_3 = 1351,1 \text{ тис. грн.}$$

його і приймаємо до подальшого розгляду.

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

Установки компенсації реактивної потужності розміщуються на цехових трансформаторних підстанціях. Вибір потужності конкретної УКРП та місяця її установки виконується наступним чином. Визначається реактивна потужність, що необхідно компенсувати в мережі 0,4 кВ трансформаторних підстанцій ТП 1, 2:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(2 \cdot 1600 \cdot 0,7)^2 - 2089,8^2} = 806 \text{ квар};$$

далі визначається потужність УКРП, які необхідно встановити на цих ТП

$$Q_{\text{кп}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 1192,4 - 806 = 386 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки дві УКРП сумарною реактивною потужністю 400 квар марки АКУ-0,4-200-20.

Вибір УКРП для інших ТП аналогічний приведену і поданий у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вибір кількості, потужності та місце розташування УКРП

№ ТП	$N_{\text{тр}}$	$P_{\text{р}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}}, \text{квар}$	$Q_{\text{н}}, \text{квар}$	$Q_{\text{кп}}, \text{квар}$	$N_{\text{бк}}$	Тип ПКРП	$\Sigma Q_{\text{бк}}, \text{квар}$	k_3	$S, \text{кВА}$
Варіант I										
ТП4	2	2089,8	1192,4	806,4	386,1	2	АКУ-0,4-200-20	400,0	0,698	2235,0
ТП5	2	2224,2	1780,7	265,9	1514,8	2	АКУ-0,4-200-20	1472,0	0,702	2245,5
						2	АКУ-0,4-536-67			
Всього	4	4314,0	2973,1	1072,2	1900,8	6		1872,0		
Варіант II										
ТП4	3	2089,8	1192,4	2089,8	1192,4	1	АКУ-0,4-100-10	100	0,523	2358,1
ТП5	2	2224,2	1780,7	2224,2	1780,7	-	-	-	0,801	2849,2
Всього	5	4314,0	2973,1	4314,0	2973,1	1		100		
Варіант III										
ТП4	3	2089,8	1192,4	2089,8	1192,4	-	-	-	0,226	2406,1
ТП5	3	2224,2	1780,7	2224,2	1780,7	-	-	-	0,090	2849,2
Всього	6	4314,0	2973,1	4314,0	2973,1	-	-	-		

5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Вибір одиничної потужності трансформаторів ЦТП проводимо на основі питомої густини навантаження на 1 м² виробничого приміщення:

$$S_{\Pi} = S_p / F = 4432 / 14420 = 0,307 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$$

де S_p – розрахункове навантаження цехових трансформаторів, кВА;

F – площа виробничих приміщень, м².

Якщо $S_{\Pi} = 0,2-0,3 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$ то економічно доцільною використовувати трансформатори номінальної потужності 1600 кВА [3]. Тоді економічна кількість трансформаторів 10/0,4 кВ ливарного виробництва складе:

$$n_{\text{тр}} = S_p / (k_{\text{з.тр}} / S_{\text{е.ном}}) = 4432 / (0,7 \cdot 1600) = 3,95 \approx 4.$$

де $k_{\text{з.тр}}$ – коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів;

$S_{\text{е.ном}}$ – економічно доцільна номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Визначене число трансформаторів округлюємо до найближчого цілого, отже, число трансформаторів цехових ТП ливарного виробництва складе 4 шт, а їх номінальна потужність 1600 кВА.

До кожної ЦТП виробництва підключаються споживачі II-ї категорії за безперебійністю електропостачання, тому всі цехові підстанції виконуються двотрансформаторними.

Прийняті до встановлення трансформатори перевіряються за допустимими аварійними перевантаженням:

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

де k_{Π} – коефіцієнт аварійного перевантаження трансформаторів, для двотрансформаторних підстанцій $k_{\Pi} = 1,4$ згідно [1];

$S_{\text{ав.р}}$ – розрахункове навантаження ЦТП у аварійному режимі.

Результати вибору трансформаторів кожної цехової ПС та електротехнологічних установок подано у табл. 5.1.

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

Таблиця 5.1 – Вибір трансформаторів цехових ПС та ЕТУ

№ СП	Назва споживача	Категорія ЕП за безперерйінністю 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, $\text{кВ}\cdot\text{А}$	$k_{п}$	$S_{т.ном}\cdot k_{п} > S_{ав}, \text{кВ}\cdot\text{А}$
	ТП-4								
1	Ділянка стержнів	II	118,13						
2	Сумішопідготовче відділення	II	540,00						
3	Склад	III	50,30						
4	Термічне відділення	II	1358,52						
5	Лабораторія	II	41,83						
6	Вибивне відділення	II	358,74						
11	Складські приміщення	III	44,51						
	Всього по ТП-4		2235,02	0,70	1,40	1117,5	2хТМГ-1600/10/0,4	1,4	2240,0 > 2235,0
	ТП-5								
7	Ливарне відділення	II	459,4						
8	Ділянка вагранок	II	388,5						
9	Плавильна ділянка	II	361,2						
10	Ділянка плавки алюмінію	II	65,6						
12	Модельне відділення	II	1143,6						
13	Обрубне відділення	III	552,5						
	Освітлення території	III	3,6						
	Всього по ТП-5		2245,5	0,70	1,40	1122,7	2хТМГ-1600/10/0,4	1,4	2240,0 > 2245,5
9	Плавильна ділянка								
	ТП-1	II	781,3	0,63	1,0	781,3	ЕТМПК-2000/10	1,0	1250 = 1250
	ТП-2	II	608,7	0,61	1,1	608,7	ТМП-1000/10	1,1	1100 = 1100
	ТП-3	II	608,7	0,61	1,1	608,7	ТМП-1000/10	1,1	1100 = 1100
	ТП-6	II	1826,1	0,65	1,0	1826,1	ЕТМПК-4200/10	1,0	2800 = 2800
	ТП-7	II	608,7	0,61	1,1	608,7	ТМП-1000/10	1,1	1100 = 1100

Попередньо вибрані трансформатори марки ТМГ-1600/10/0,4 з допустимим перевантаженням під час роботи в аварійних режимах забезпечують споживачів всіх категорій необхідною потужністю, отже приймаємо їх до встановлення.

Живлення електротермічних установок проводиться від системи електропостачання заводу сільськогосподарських машин через індивідуальні електропічні трансформатори. Для дугової печі ДСН-1,5 і дугового міксера ДЧМ-10-2 використовуються комплектні електропічні агрегати марки ЕТПК-2000/10 та ЕТПК-4200/10. Ці трансформаторні агрегати мають увімкнені послідовно з обмоткою ВН трансформатора струмообмежуючі реактори. Обмотки струмообмежуючих реакторів виконані ступінчастими, тобто мають відпайки.

Перемикаючий пристрій трифазних трансформаторних агрегатів дозволяє змінювати не лише їх коефіцієнт трансформації, а також шляхом перемикання схеми з'єднання обмоток ВН із зірки на трикутник чи навпаки, можливо змінювати їх індуктивний опір попередньо увімкненого реактора шляхом зміни кількості його робочих витків.

Для живлення сталеплавильних комплексів ІСТ-1,5 (ТПЧ-800-0,5) використовуються спеціалізовані трансформатори для живлення перетворювальних агрегатів типу ТМП-1000/10/0,5.

Параметри всіх вибраних трансформаторів подані в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Характеристики трансформаторів СЕП ливарного виробництва

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$, кВА	Δp_{xx} , кВт	$\Delta p_{\text{кз}}$, кВт	i_{x} , %	$u_{\text{кз}}$, %
ТМГ-1600-10	1600	2,05	16,0	1,3	6,0
ТМП-1000/10	1000	3,8	15,8	3,6	8,5
ЕТПК-2000/10	1250	4,2	23,0	3,4	6,5
ЕТПК-4200/10	2800	13,5	41,5	4,8	7,5

5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій

Місце розташування ЦТП залежить від величини та характеру електричних навантажень і розміщення їх на генеральному плані ливарного виробництва. З метою скорочення протяжності мереж 0,4 кВ вони розміщуються максимально наближено до центрів електричних навантажень відділень, цехів. Таке рішення, дозволяє значно зменшити втрати потужності та енергії в них.

Трансформаторні підстанції ливарного виробництва, виконуються двотрансформаторними вбудованими у виробничі приміщення (ТП1, ТП2, ТП4) та прибудованими (ТП3, ТП5) до них.

Компоновка прибудованих і внутрішньоцехових підстанцій виробництва обирається індивідуально в кожному конкретному випадку. При цьому також враховуються архітектурно-будівельні та експлуатаційні вимоги, плани виробничих приміщень, розміщення технологічних ліній, умови навколишнього середовища та категорія приміщення за пожежонебезпекою.

У корпусі №1 цехові підстанції є вбудованими, розміщуються на території відділень, з максимальним наближенням до найпотужніших електроприймачів. Таке розміщення ЦТП дозволяє досягти високих техніко-економічних показників у схемі електропостачання.

Хоча ПУЕ дозволяє обладнання ЕТУ всіх рівнів напруги розміщувати безпосередньо у виробничих приміщеннях [1], електропічні трансформаторні агрегати та трансформатори перетворювачів частоти, встановлюються на пічних і перетворювальних підстанціях. Вони розташовуються на мінімально допустимій відстані від приєднаних до них електроприймачів.

У одній камері пічної підстанції встановлюються силове електрообладнання до 1000 В і вище, у тому числі також і все допоміжне обладнання систем охолодження пічних трансформаторів.

За межі камер виносяться всі оперативне керування приводами комутаційних апаратів.

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

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

6.1 Розрахунок струмів КЗ

З метою подальшого вибору високовольтних електроапаратів проводимо розрахунок струмів КЗ у системі електропостачання ливарного виробництва (рис. 6.1). Струм КЗ створюваний енергосистемою в максимальному режимі роботи на шинах 10 кВ ГЗП заводу сільськогосподарських машин становить $I_{\text{к.с.мах}} = 6,65$ кА. До кожної системи шин ГЗП підключені 2 синхронні двигуни (СД) номінальною потужністю 630 кВт.

Проведемо детальний розрахунок струмів КЗ для точок розрахункових точок К2 та К3. Приймаємо базисні величини: $U_6 = 10,5$ кВ; $S_6 = 1600$ МВ·А.

Базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 88,0 \text{ кА},$$

де S_6 – базисна потужність, МВ·А;

U_6 – базисна напруга, кВ.

Параметри схеми заміщення І сш системи електропостачання ливарного виробництва:

- активний та реактивний опори енергосистеми:

$$r_{\text{с*}} = 0 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{с*}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} I_{\text{к.с.мах}} \cdot U_{\text{ср}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6,65 \cdot 10,5} = 13,23 \text{ в.о.};$$

- активний та реактивний опори кабельних ліній:

КЛ-1:

$$r_{\text{кл1*}} = \frac{r_0}{2} \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,206}{2} \cdot 0,3 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,448 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл1*}} = \frac{x_0}{2} \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,079}{2} \cdot 0,3 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,172 \text{ в.о.};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		46

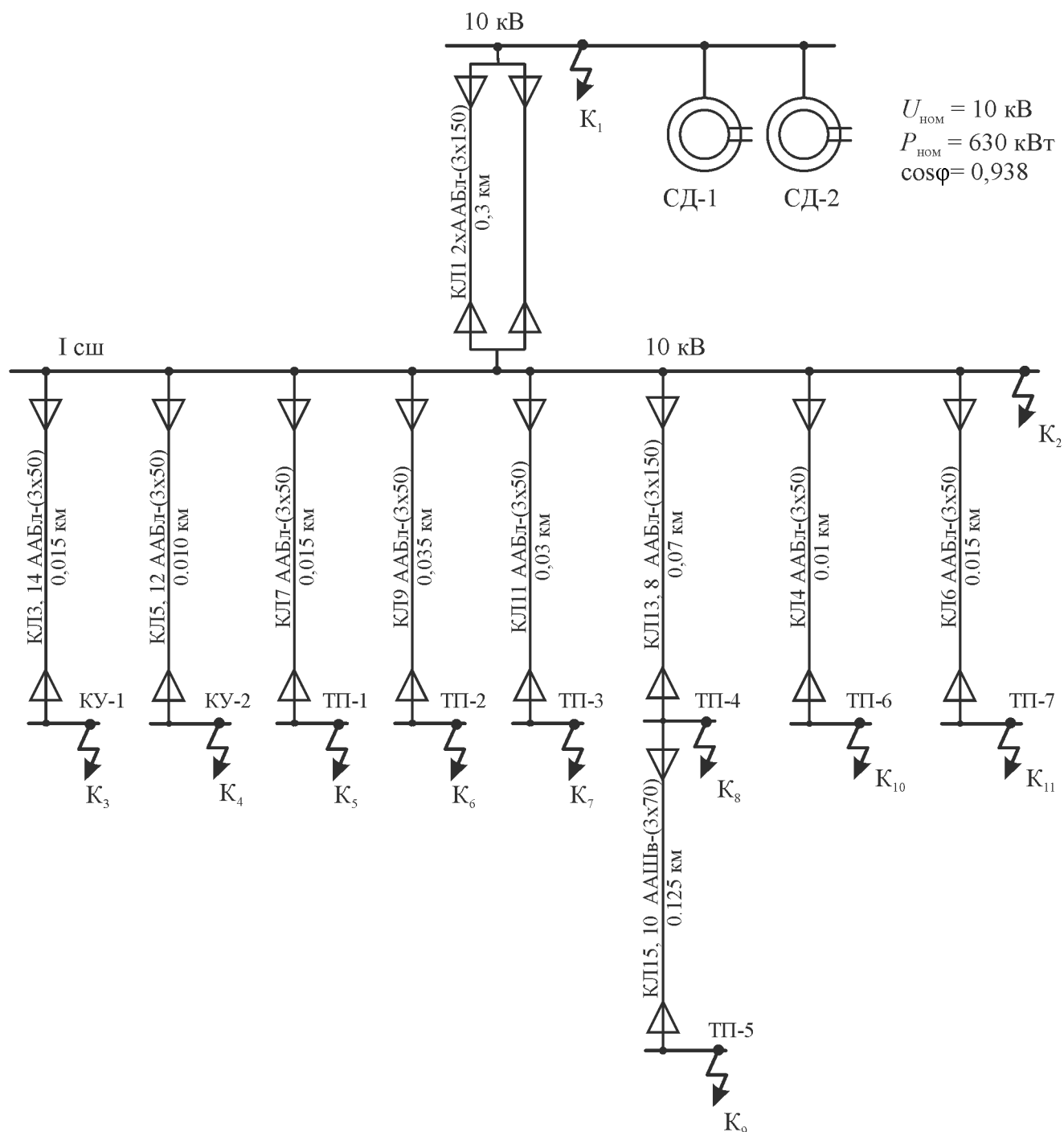


Рис. 6.1 – Розрахункова схема СЕП ливарного виробництва

КЛ-3:

$$r_{\text{КЛ3*}} = r_0 \cdot l_{\text{КЛ3}} \cdot \frac{S}{U_{\text{ср}}^2} = 0,62 \cdot 0,015 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,135 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{КЛ3*}} = x_0 \cdot l_{\text{КЛ3}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,09 \cdot 0,015 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,02 \text{ в.о.};$$

де x_0, r_0 – відповідно, питомі індуктивний та активний опори КЛ, Ом/км;
 l – довжина КЛ, км.

На основі розрахованих параметрів складаємо схему заміщення СЕП (рис. 6.2).

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



- точка K_2 :

$$r_{\text{pez}2*} = r_{\text{c}*} + r_{\text{кп1}*} = 0 + 0,448 = 0,448 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез2*}} = x_{\text{с*}} + x_{\text{кл1}} = 13,23 + 0,172 = 13,402 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{pc}32*} = \sqrt{r_{\text{pc}32*}^2 + x_{\text{pc}32*}^2} = \sqrt{0,448^2 + 13,402^2} = 13,409 \text{ B.O.};$$

- точка K_3 :

$$r_{\text{pe}33^*} = r_{\text{pe}32^*} + r_{\text{KL}3^*} = 0,448 + 0,135 = 0,583 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{pe33*}} = x_{\text{pe32*}} + x_{\text{KL3}} = 13,402 + 0,020 = 13,422 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез3*}} = \sqrt{r_{\text{рез3*}}^2 + x_{\text{рез3*}}^2} = \sqrt{0,583^2 + 13,422} = 13,434 \text{ в.о.};$$

Ударні коефіцієнти:

$$k_{y2} = 1 + e^{(-0,01/T_{a2})} = 1 + e^{(-0,01/0,095)} = 1,900;$$

$$k_{y3} = 1 + e^{(-0,01/T_{a3})} = 1 + e^{(-0,01/0,073)} = 1,872;$$

де T_a – час затухання аперіодичної складової струму КЗ:

$$T_{a2} = \frac{x_{\text{рез2}}}{\omega \cdot r_{\text{рез2}}} = \frac{13,402}{314,16 \cdot 0,448} = 0,095 \text{ с};$$

$$T_{a3} = \frac{x_{\text{рез3}}}{\omega \cdot r_{\text{рез3}}} = \frac{13,422}{314,16 \cdot 0,583} = 0,073 \text{ с};$$

Надперехідні струми створювані енергосистемою в розрахункових точках:

$$I_2'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\bar{0}}}{z_{\text{рез2*}}} = \frac{1 \cdot 88}{13,41} = 6,56 \text{ кА};$$

$$I_3'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\bar{0}}}{z_{\text{рез3*}}} = \frac{1 \cdot 88}{13,434} = 6,55 \text{ кА},$$

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

Ударні струми КЗ створювані енергосистемою:

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} k_{\text{уд2}} \cdot I_2'' = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 6,56 = 17,63 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд3}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд3}} \cdot I_3'' = \sqrt{2} \cdot 1,872 \cdot 6,55 = 17,34 \text{ кА};$$

Періодична складова струму КЗ, що створює СД:

$$I_{\text{сд}}'' = \frac{n \cdot E_*'' \cdot I_2}{x_d''} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 0,043}{0,225} = 0,42 \text{ кА};$$

де n – кількість синхронних двигунів у мережі, шт.;

$E_{\text{сд}*}''$ – надперехідна ЕРС СД:

$$\begin{aligned} E_{\text{сд}*}'' &= \sqrt{(U_{*(0)} \cdot \cos \varphi_1)^2 + (U_{*(0)} \cdot \sin \varphi_1 + I_{*(0)} \cdot x_{*d}'')^2} = \\ &= \sqrt{(1 \cdot 0,934)^2 + (1 \cdot 0,358 + 1 \cdot 0,225)^2} = 1,11, \end{aligned}$$

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

x_d – повздовжній надперехідний опір синхронного двигуна:

$$x_d = \frac{1}{I_{п*}} \sqrt{1 - \left(\frac{M_{п*}}{I_{п*}} \right)^2} = \frac{1}{4,4} \sqrt{1 - \left(\frac{0,6}{4,4} \right)^2} = 0,225;$$

I_2 – номінальний струм двигуна:

$$I_2 = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,7}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,94} = 43,2 \text{ А.}$$

Ударний коефіцієнт СД визначаємо за кривими приведеними в [7, 8],
 $k_{уд} = 1,9$. Ударний струм у місці КЗ від СД

$$i_{уд.сд} = \sqrt{2} k_{уд.сд} \cdot I''_{сд} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 0,42 = 1,13 \text{ кА.}$$

Сумарні струми КЗ у відповідних розрахункових точках:

$$I_{2\Sigma} = I_2'' + I_{сд}'' = 6,56 + 0,42 = 6,98 \text{ кА}; \quad I_{3\Sigma}'' = I_3'' + I_{сд}'' = 6,55 + 0,42 = 6,97 \text{ кА};$$

$$i_{2,уд\Sigma} = i_2 + i_{уд.сд} = 17,63 + 1,13 = 18,77 \text{ кА}; \quad i_{3,уд\Sigma} = i_3 + i_{уд.сд} = 17,34 + 1,13 = 18,47 \text{ кА.}$$

Розрахунок струмів КЗ для інших розрахункових точок аналогічний
 приведену і поданий у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок струмів КЗ у мережі 10 кВ ливарного виробництва

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	I''_{Σ} , кА	$i_{уд,\Sigma}$, кА
К ₁											6,65			
К ₂	0,103	0,0395	0,300	0,448	0,172	0,448	13,402	13,409	0,0951	1,900	6,56	17,63	6,99	18,77
К ₃	0,62	0,09	0,015	0,135	0,020	0,583	13,421	13,434	0,0732	1,872	6,55	17,34	6,97	18,48
К ₄	0,62	0,09	0,010	0,090	0,013	0,538	13,415	13,425	0,0793	1,882	6,55	17,44	6,98	18,57
К ₅	0,62	0,09	0,015	0,135	0,020	0,583	13,421	13,434	0,0732	1,872	6,55	17,34	6,97	18,48
К ₆	0,62	0,09	0,035	0,315	0,046	0,763	13,447	13,469	0,0561	1,837	6,53	16,97	6,96	18,10
К ₇	0,206	0,079	0,030	0,090	0,034	0,538	13,436	13,447	0,0795	1,882	6,54	17,41	6,97	18,55
К ₈	0,62	0,09	0,070	0,630	0,091	1,078	13,493	13,536	0,0398	1,778	6,50	16,34	6,92	17,48
К ₉	0,62	0,09	0,125	1,125	0,163	2,203	13,656	13,833	0,0197	1,602	6,36	14,41	6,78	15,55
К ₁₀	0,443	0,086	0,015	0,096	0,019	0,545	13,420	13,431	0,0784	1,880	6,55	17,42	6,97	18,55
К ₁₁	0,62	0,09	0,025	0,225	0,033	0,673	13,434	13,451	0,0635	1,854	6,54	17,15	6,96	18,29

6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Проведемо вибір КЛ-1 і КЛ-2 по яких отримує живлення ЦРП ливарного виробництва від ГЗП заводу сільськогосподарського машинобудування.

Розрахункові струми кабельних ліній:

– нормальний режим

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}n \cdot U_{ном}} = \frac{8509,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 234 \text{ А};$$

– аварійний режим:

$$I_{ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{8509,9}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 468 \text{ А},$$

де n – кількість ліній.

Приймаємо до розгляду кабель марки ААБл-10-(3х150) з $I_{доп} = 246 \text{ А}$. Кабельні лінії КЛ-1 і КЛ-2 формуємо з 2-х кабелів кожен, таким чином потужність до ЦРУ ливарного виробництва передається по 4-х кабелях.

Перевіряємо КЛ-1 (КЛ-2) за умовами:

- за допустимим струмовим навантаженням у нормальному режимі роботи:

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

$$234 \leq 0,84 \cdot 4 = 516,2 \text{ А};$$

де $k_{п}$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує кількість кабелів, які лежать в одній траншеї та знаходяться в роботі, приймаємо 0,84 згідно [1];

- за умовою роботи в аварійному режимі:

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

$$468 < 0,84 \cdot 1,25 \cdot 2 \cdot 246 = 516,6 \text{ А};$$

де $k_{ав}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю із паперовою просоченою ізоляцією на час ліквідації аварії 6 год, приймаємо 1,25 згідно [1], за умови:

$$k_3 = I_p / I'_{доп} = 234 / 516,6 = 0,45 < 0,6.$$

Термічно стійкий переріз струмоведучих жил кабелю до струмів КЗ:

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

$$s_T = \frac{I'' \sqrt{t_n}}{K_m} = \frac{7070 \cdot \sqrt{1,85}}{95} = 101,2 \text{ мм}^2.$$

де t_n – приведений час КЗ, при дійсному часі КЗ менше 5 с:

$$t_n = t_{n.a} + t_{n.п} = 0,05 + 1,8 = 1,85 \text{ с};$$

$t_{n.a}$ – приведений час аперіодичної складової часу КЗ:

$$t_{n.a} \approx 0,05(\beta'')^2 = 0,05 \cdot (1)^2 = 0,05.$$

Дійсний час КЗ:

$$t = t_3 + t_{\text{вим}} = 2,0 + 0,042 = 2,042,$$

де t_3 – тривалість дії релейного захисту та автоматики, с;

$t_{\text{вим}}$ – власний час відключення вимикача, с.

При КЗ у віддаленій точці ЕРС синхронного двигуна і напруга на його затискачах незмінні, тому періодична складова струму також не змінюється і приймає усталене значення $I'' = I_\infty$ тому $\beta = I''/I_\infty = 1$.

Перевірка:

$$s_T = 101,2 < 300 \text{ мм}^2.$$

Отже, приймаємо до прокладання кабельну лінію КЛ-1 (КЛ-2), що складається з 2-х кабелів ААБл-10-(3х150).

Розрахунок термічно стійкого перерізу струмоведучих жил інших кабелів розподільної мережі 10 кВ поданий у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Перевірка кабельних ліній за умовою термічної стійкості

№ п/п	№ КЛ	t , с	$t_{п.п}$, с	t_n , с	I'' , А	s_T , мм ²	Тип КЛ прийнятої до прикладки
1	1, 2	2,042	1,8	1,85	7,07	101,2	2хААБл-10-(3х150)
2	3-15	0,542	0,5	0,55	6,99	54,4	ААБл-10-(3х50)

Вибір і перевірки інших КЛ розподільної мережі 10 кВ ливарного виробництва аналогічні розглянутому і подана в табл. 6.3

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

Таблиця 6.3 – Вибір кабельних ліній розподільної мережі 10 кВ виробництва

№ КЛ	№ ЕП	Тип КЛ	l , км	I_p , А	I_d , А	$k_{с.з}$	I'_d , А	k_3	$k_{д.ав.п}$	$k_{ап}$	$I_{ав} < I_{д.ав}$, А
1, 2	ЦРУ	2хААБЛ-10-(3х150)	0,300	246,0	492	0,84	413,3	0,60	1,25	2,0	491,9 < 516,6
3, 12	КУ-1, 3	ААБЛ-10-(3х50)	0,015	52,0	134	1,0	134,0	0,39	1,25	$1,3I_{ном}$	67,6 < 154,1
5, 10	КУ-2, 4	ААБЛ-10-(3х50)	0,010	26,0	134	1,0	134,0	0,19	1,25	$1,3I_{ном}$	33,8 < 154,1
7	ТП-1	ААБЛ-10-(3х50)	0,015	48,3	134	1,0	134,0	0,36	1,25	1,0	72,0 < 167,5
9	ТП-2	ААБЛ-10-(3х50)	0,035	37,4	134	1,0	134,0	0,28	1,25	$1,1I_{ном}$	55,0 < 167,5
11	ТП-3	ААБЛ-10-(3х50)	0,030	37,4	134	1,0	134,0	0,28	1,25	$1,1I_{ном}$	55,0 < 167,5
13, 8	ТП-4	ААБЛ-10-(3х150)	0,070	128,1	246	1,0	246,0	0,52	1,25	2,0	256,2 < 307,5
15, 10	ТП-5	ААБЛ-10-(3х50)	0,125	66,1	134	1,0	134,0	0,49	1,25	2,0	132,2 < 167,5
4	ТП-6	ААБЛ-10-(3х70)	0,015	112,1	162	1,0	162,0	0,69	1,25	1,0	161,8 < 202,5
6	ТП-7	ААБЛ-10-(3х50)	0,025	112,1	134	1,0	134,0	0,84	1,25	$1,1I_{ном}$	55,0 < 167,5

6.3 Вибір високовольтного електрообладнання

6.3.1 Вибір лінійного вимикача.

Для підключення КЛ-1 та КЛ-2 до РУ 10 кВ ГЗП заводу попередньо вибираємо вимикачі марки ВР1-10-20/630У2.

Проводимо перевірку прийнятих до розгляду вимикачів за такими умовами:

- напругою установки

$$U_{уст} = 10 \text{ кВ} = U_{ном} = 10 \text{ кВ};$$

- номінальним струмом

$$I_p = 234 \text{ А} < I_{ном} = 630 \text{ А};$$

- струмом аварійного режиму

$$I_{ав} = 438 \text{ А} < I_{ном} = 630 \text{ А};$$

- вимикаючою здатністю симетричного струму відключення

$$I_{пт} \approx I'' = 7,07 \text{ кА} < I_{відкл.ном} = 20 \text{ кА};$$

де $I_{відкл.ном}$ – номінальний струм відключення високовольтного вимикача, кА;

- можливістю відключення аперіодичної складової струму КЗ:

$$i_{ат} = 3,88 \text{ кА} < i_{а.ном} = 8,5 \text{ кА},$$

де $i_{ат}$ – аперіодична складова струму КЗ для моменту часу τ

$$i_{а.т} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 7,07 \cdot e^{-0,052/0,055} = 3,88 \text{ кА};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		53

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

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

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

$t_{в.ч.в}$ – власний час відключення вимикача, не більше 42 мс [5];

$i_{а.ном}$ – номінальне значення аперіодичної складової струму КЗ вимикача

$$i_{а.ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{в.ном}}{100\%} = \frac{\sqrt{2} \cdot 33\% \cdot 20}{100\%} = 8,46 \text{ кА};$$

β_n – нормований вміст аперіодичної складової, визначаємо за графіком на рис. 4.3 [5];

- електродинамічною стійкістю:

$$I'' = 7,07 \text{ кА} < I_{п.0} = 20 \text{ кА};$$

де $I_{п.0}$ – діюче значення періодичної складової струму КЗ у початковий момент часу, кА;

$$i_{уд} = 18,77 \text{ кА} < i_{дин} = 52 \text{ кА};$$

- термічною стійкістю:

$$B_k = 101,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{т.ном}^2 \cdot t_{т.н} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

де B_k – термічний імпульс

$$B_k = I''^2 (t_{відк} + T_a) = 6,99^2 \cdot (2,042 + 0,02) = 100,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$I_{т.ном}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання $t_{т.ном}$, кА.

Таким чином, попередньо прийнятий до розгляду вимикач марки ВР1-10-20/630У2 задовольняє всім умовам, тому приймаємо його до установки.

Вибір вимикачів РУ 10 кВ ливарного виробництва не проводиться, оскільки робочі струми та струми КЗ, що протікають по цих вимикачах нижчі струмів вибраного вимикача ВР1-10-20/630У2. Тому приймаємо до установки в РУ 10 кВ вимикачі марки – ВР1-10-20/630У2.

6.3.2 Вибір вимикачів навантаження

Умови вибору вимикачів навантаження аналогічні до умов вибору високовольтних вимикачів [4, 5]. Проведемо вибір вимикачів навантаження для ТП-4. Попередньо приймаємо вимикач навантаження марки ВНРп-10/400-10зУ3. Вибір вимикача навантаження представлено в табл. 6.4.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		54

Таблиця 6.4 – Вибір вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{дій}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{max}} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 128 \text{ А}$	$I_{\text{відкл.ном}} = 400 \text{ А}$
$I_{\text{ав}} = 256 \text{ А}$	$I_{\text{max}} = 800 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 18,48 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.ном}} = 25 \text{ кА}$
$B_k = P'^2 \cdot (t_b + T_a) = 7,0^2 \cdot (0,008 + 0,095) = 5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{н.т}}^2 \cdot t_{\text{т.н}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де I_p – розрахунковий струм КЛ-8, КЛ-9, А;

$I_{\text{ав}}$ – аварійний струм КЛ-8 (КЛ-9), А;

$I_{\text{відкл.ном}}$ – номінальний струм відключення вимикача навантаження А;

$I_{\text{макс}}$ – найбільший струм відключення вимикача навантаження, А;

t_b – середній час спрацювання запобіжника, с [4, 5].

Отже, попередньо вибраний вимикач навантаження ВНРП-10/400-10зУЗ задовольняє всім умовам, тому приймаємо його до встановлення на всіх ТП.

6.3.3 Вибір високовольтних запобіжників

Вибір високовольтних запобіжників проводимо за номінальною потужністю силових трансформаторів $S_{\text{ном.т}}$ ЦТП. Попередньо вибираємо, запобіжник серії ПКТ104-10-160-20УЗ з номінальними струмами патрона $I_{\text{п.ном}} = 160 \text{ А}$ і плавкої вставки $I_{\text{п.в}} = 160 \text{ А}$.

Перевірка правильності вибору запобіжника проведена у табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Вибір високовольтних запобіжників

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}} = 12 \text{ кВ}$
$I_p = 92,4 \text{ А}$	$I_{\text{пв.ном}} = 160 \text{ А}$
$I_{\text{ав}} = 129,3, \text{ А}$	$I_{\text{пв.ном}} = 160 \text{ А}$
$I' = 7,0 \text{ кА}$	$I_{\text{вим.ном}} = 20 \text{ кА}$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_{\text{т.ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92,4 \text{ А},$$

де $S_{T.ном}$ – номінальна потужність ЦТП, кВ·А.

Аварійний струм, що протікає через запобіжник:

$$I_{ав} = \frac{k_{п} \cdot S_{T.ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,3 \text{ А},$$

де $k_{п}$ – допустимий коефіцієнт перевантаження цехового трансформатора [1].

Отже, попередньо вибраний запобіжник ПКТ104-10-160-20УЗ задовольняє всім умовам перевірки, тому приймаємо його до установки.

6.3.4 Вибір трансформаторів власних потреб

Потужність трансформаторів власних потреб ЦРУ 10 кВ ливарного виробництва вибираємо за розрахунковим навантаженням з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності. Розрахунок навантаження власних потреб ЦРУ проведено у вигляді табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Навантаження власних потреб ЦРУ 10 кВ

Споживач	Установлена потужність, кВт		cosφ	Навантаження	
	одиниці	сумарна		$P_{уст}$, кВт	$Q_{уст}$, квар
Підігрів шаф КРУ	1 × 19	19	1,0	19	0,0
Підігрів шаф РЗ	1 × 19	19	1,0	19	0,0
Опалення, освітлення, вентиляція приміщення ЗРУ	-	7	1,0	7	0,0
Споживання оперколами	-	2	1,0	2,0	0,0
Всього				47,0	0

Розрахункове навантаження власних потреб про ЦРУ 10 кВ складе:

$$S_{p.вп} = k_{п} \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{47^2 + 0^2} = 37,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де $k_{п}$ – коефіцієнт попиту, що враховує одночасність роботи обладнання та його завантаження, приймаємо 0,8 [5].

Приймаємо до установки два трансформатори власних потреб марки ТМ-40/10, оскільки на ЦРУ відсутній постійно черговий персонал

$$S_{T.ном} = 40 \text{ кВ} \cdot \text{А} > S_{p.вп} = 37,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

6.3.5 Вибір розрядників

Для захисту електрообладнання розподільної установки від внутрішніх перенапруг, що виникають в результаті комутацій кіл з індуктивністю (незвантажені кабельні лінії, трансформатори), а також при дугових замиканнях на землю використовуємо вентильні розрядники та ОПН. Вентильні розрядники встановлюються на вводах на кожну секцію шин 10кВ ЦРУ, ОПН встановлюються в секційній та лінійній шафах. Вентильні розрядники та ОПН підключаються до контуру заземлення найкоротшим шляхом.

Таким чином, встановлюємо розрядники РВО-10У1 та ОП-10.

6.3.6 Вибір вимірювальних трансформаторів

Вибір трансформаторів струму

Розглянемо детально вибір трансформаторів струму лінійної шафи, що встановлена в РУ 10 кВ, ГЗП заводу сільськогосподарського машинобудування.

Попередньо вибираємо трансформатор струму марки ТЛК-10-3-600/5.

Розрахунковий струм КЛ-1 з урахуванням втрат активної потужності:

$$I_p = \frac{S_p + \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}} = \frac{4596 + 54 \cdot 0,3 \cdot 0,6^2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 253,0 \text{ А};$$

де Δp – питомі втрати активної потужності в КЛ-1 (КЛ-2), кВт/км;

l – довжина кабельної лінії, км;

$I_{\text{ав}}$ – аварійний струм КЛ-1:

$$I_{\text{ав}} = k_{\text{п}} \cdot I_p = 2 \cdot 253,04 = 506 \text{ А},$$

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт аварійного перевантаження КЛ-1 (КЛ-2);

З урахуванням того, що струмові кола мають малий індуктивний опір ($Z_2 = r_2$), з'єднувальних проводів, попередньо, становитиме:

$$r'_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 0,4 - 0,01 - 0,05 = 0,34, \text{ Ом};$$

де $Z_{2\text{ном}}$ – номінальний опір навантаження ТС, Ом;

$r_{\text{прил}}$ – опір приладів, що приєднані до ТС:

$$r_{\text{прил}} = S_{\text{прил}} / I_2^2 = 0,25 / 5^2 = 0,01 \text{ Ом};$$

$r_{\text{к}}$ – опір контактів, приймаємо $r_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}$, так як кількість приладів, що підключаються до ТС менша чотирьох;

I_2 – вторинний номінальний струм ТС, А;

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		57

$S_{\text{прил}}$ – споживана приладами потужність, В·А. Розрахунок споживаної приладами потужності представлено в табл. 6.7.

На основі $r_{\text{пр}}$ визначаємо переріз з'єднувальних проводів:

$$s = \rho \cdot l_{\text{роз}} / r_{\text{пр}} = 0,0175 \cdot 10,4 / 0,34 = 0,535 \text{ мм}^2;$$

де ρ – питомий опір мідних проводів, Ом/м·мм²;

Таблиця 6.7 – Вторинне навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Амперметр	Є-377	0,1	-	0,1
Лічильник	A2R-3-AL-C25-T	0,15	-	0,15
Всього		0,25	-	0,25

l – довжина з'єднувальних проводів:

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

де $l_{\text{роз}}$ – розрахункова довжина з'єднувальних проводів. За умовою міцності приймаємо $s = 2,5 \text{ мм}^2$, згідно [1].

Дійсний опір з'єднувальних проводів:

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

Дійсне вторинне навантаження ТС:

$$Z_2 = r_{\text{пр}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,073 + 0,01 + 0,05 = 0,143 \text{ Ом}.$$

Перевірка вірності попереднього вибору ТС лінійної шафи ГЗП виробництва проведена у вигляді табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Вибір трансформатору струму

Розрахункові дані		Каталожні дані	
$U_{\text{уст}} = 10,0 \text{ кВ}$		$U_{\text{ном}} = 10,0 \text{ кВ}$	
$I_{\text{р}} = 253,0 \text{ А}$		$I_{\text{ном}} = 600 \text{ А}$	
$I_{\text{рмах}} = 506,0 \text{ А}$		$I_{\text{ном}} = 600 \text{ А}$	
Клас точності 0,5		0,5	
$i_{\text{у}} = 18,77 \text{ кА}$		$i_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$	
$B_{\text{к}} = 100,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$		$B_{\text{к}} = I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}$	
$Z_2 = 0,143 \text{ Ом}$		$Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$	

Таким чином, попередньо вибраний трансформатор струму ТЛК-10-3-600/5 задовольняє всім умовам вибору, тому приймаємо його до встановлення.

Вибір трансформаторів струму для шаф ЦРУ 10 кВ ливарного виробництва аналогічний і проведений у вигляді табл. 6.8–6.10.

Таблиця 6.8 – Місця установки та потужність навантажень ТС

Прилади	Місце установки приладів								
	лінії КЛЗ, 5, 12, 14			лінії КЛ4, 6-9, 11, 13			ввід ЦРУ		
	Навантаження В·А			Навантаження В·А			Навантаження В·А		
	А	В	С	А	В	С	А	В	С
Лічильник Ф68700В	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-	-
Лічильник ЦЭ6811	0,3	-	0,3	0,3	-	0,3	-	-	-
Амперметр Є-377	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1
Всього	0,4	-	0,4	0,5	-	0,5	0,1	-	0,1

Таблиця 6.9 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Призначення ТС	$r_{\text{прил}}, \text{Ом}$	$r'_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$s, \text{мм}^2$	$l, \text{м}$	$r_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$Z_2, \text{Ом}$
Ввідна шафа ЦРУ	0,004	0,346	2,5	10,4	0,0373	0,09
Лінійний (КЛ 3, 5, 12, 14)	0,016	0,334	2,5	7	0,05	0,116
Лінійний (КЛ 4, 6-9, 11, 13)	0,02	0,33	2,5	7	0,05	0,12

Таблиця 6.10 – Вибір трансформаторів струму розподільної установки 10 кВ

Умова вибору	Од. вим.	Шафа у якій розміщено ТС		
		ввід ЦРУ	конденсаторні установки (КЛ 3,12)	конденсаторні установки (КЛ 5, 14)
$U_{\text{уст}} < U_{\text{ном}}$	кВ	10 = 10	10 = 10	10 = 10
$I_{\text{р}} < I_{\text{ном}}$	А	253,0 < 600	26 < 50	52 < 75
$I_{\text{ав}} < I_{\text{ном}}$	А	506,0 < 600	26 < 50	52 < 75
Клас точності	-	0,5	0,5	0,5
$i_{\text{уд}} < i_{\text{дин}}$	кА	18,77 < 81	18,48 < 25	18,48 < 52
$B_{\text{к.р}} < B_{\text{к.н}}$	кА ² ·с	101,8 < 2977	31,1 < 4 ² ·3 = 48	31,1 < 10 ² ·3 = 300
$Z_2 < Z_{\text{ном}}$	Ом	0,09 < 0,4	0,116 < 0,4	0,116 < 0,4
Тип ТС прийнятого до установки		ТЛК-10-3-600/5	ТЛК-10-2-50/5	ТЛК-10-3-75/5

Продовження табл. 6.10.

Умова вибору	Шафа у якій розміщено ТС			
	лінійна (КЛ8, 13)	лінійна (КЛ, 6, 9, 11)	лінійна (КЛ7)	лінійна (КЛ4)
$U_{уст} < U_{ном}$	10 = 10	10 = 10	10 = 10	10 = 10
$I_p < I_{ном}$	128,1 < 300	58 < 75	72 < 75	162 < 200
$I_{ав} < I_{ном}$	256,2 < 300	58 < 75	72 < 75	162 < 200
Клас точності	0,5	0,5	0,5	0,5
$i_{уд} < i_{дин}$	18,48 < 52	18,48 < 52	18,48 < 52	18,48 < 52
$B_{к.р} < B_{к.ном}$	31,1 < 16 ² ·3 = 768	31,1 < 10 ² ·3 = 300	31,1 < 10 ² ·3 = 300	31,1 < 10 ² ·3 = 300
$Z_2 < Z_n$	0,12 < 0,4	0,12 < 0,4	0,12 < 0,4	0,12 < 0,4
Тип ТС	ТЛК-10-3-300/5	ТЛК-10-3-75/5	ТЛК-10-3-75/5	ТЛК-10-3-200/5

Вибір трансформаторів напруги

Перелік необхідних приладів для встановлення на одній системі шин ЦРУ 10 кВ ливарного виробництва приведено в табл. 6.10. На ЦРУ встановлюються шафи серії КУ-10Ц, тому приймаємо до розгляду трансформатор напруги (ТН) марки НАМИ-10. Вибір ТН представлено у вигляді табл. 6.11.

Таблиця 6.11 – Вторинне навантаження трансформатора напруги

Прилад	Тип	S, В·А	Кількість обмоток	Кількість приладів	Загальна споживана потужність, В·А
Лічильник активної енергії	Ф68700В	3	2	4	24
Лічильник реактивн. енергії	ЦЭ6811	3	2	6	36
Вольтметр	ЭЗ77	2	1	1	1
Всього					61

Таблиця 6.12 – Вибір трансформатора напруги для ЦРУ 10 кВ

Умова вибору	Од. вим.	Розрахункові дані	Каталожні дані ТН
$U_{уст} \leq U_{ном}$	кВ	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ 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	$S_p = 61$	$S_{ном} = 120$

Таким чином, приймаємо до установки ТН марки НАМИ-10-66УЗ.

					Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	

7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИХ УСТАНОВКАХ

7.1 Шляхи економії електроенергії в ЕТУ

Витрата електроенергії в електротермічних процесах залежить від багатьох чинників. До напрямів, що мають найвищу ефективність заощадження електроенергії в ЕТУ відносять наступні напрями:

- удосконалення технологічних процесів;
- удосконалення організації виробництва;
- застосування новітнього технологічного обладнання.

Головним заходом з удосконалення технологічних процесів ЕТУ є інтенсифікація нагріву, шляхом скорочення часу нагріву. При цьому знижуються теплові втрати, тобто підвищується ККД. Розроблено декілька способів інтенсифікації електротермічних процесів. У першу чергу це збільшення питомої потужності без зміни виду нагріву. У випадках коли даний підхід не можливо застосувати в електротермії використовують більш прогресивні методи нагріву – індукційний або контактний нагрів, нагрів у киплячому шарі. У другу чергу це перехід від періодичного нагріву до безперервного, що дозволяє знизити споживання електричної енергії внаслідок виключення втрат у період завантаження та вивантаження деталей. У ДСП витрату електричної енергії в період розплаву можливо знизити шляхом застосування газоподібного кисню, який вводять через водоохолоджувачі форми. У цьому випадку витрата електроенергії може бути зменшена до 10 кВт·год на 1 м³ кисню. Для ДСП також важливим технологічним заходом є ретельна підготовка шихти: застосування дешевого легковагового лому, металевих окатишів. Вагомий вплив на зниження витрат електроенергії має удосконалення футеровки печей.

Зниження витрат електроенергії в електротермії можливо досягти шляхом удосконалення виробничої діяльності: робота в 3-ри зміни, підготовка форм для розливу, чітка робота експрес-лабораторії, недопущення гарячих простоїв і т. п.

Впровадження новітнього технологічного обладнання у складі автоматизованих технологічних ліній у виробництво призводить до суттєвого зниження витрати електроенергії в ДСП.

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

7.2 Енергозбереження в дугових сталеплавильних електропечах

Дугові сталеплавильні електропечі мають значне споживання електроенергії, а отже і значні резерви для її економії. Для визначення шляхів економії електроенергії в ДСП проведемо аналіз рівняння теоретично необхідної витрати електроенергії на розплавлення 1 т сталі, кВт·год:

$$\Delta E = \frac{S \cdot \cos \varphi \cdot T_2}{q} + \frac{\Delta P_1 T_1}{q \eta_{el}} + \frac{\Delta P_3 T_3 + Q'_3}{q \eta_{el}} \quad (7.1)$$

де S – підведена до трансформатора (зі сторони ВН) потужність, кВ·А;

T_1, T_2, T_3 – тривалість періодів, відповідно, простою (зливання металу, очищення печі та її завантаження), розплавлення металу, окислення та відновлення, год;

$\Delta P_1, \Delta P_3$ – активна потужність теплових втрат в періоди, відповідно, простою, розплавлення металу, окислення та відновлення кВт;

q – маса садки (сировини для переплавлення), т;

η_{el} – електричний ККД печі

$$\eta_{el} = \frac{P_d}{\Delta p} 100\%; \quad (7.2)$$

P_d – потужність дуги, кВт;

Δp – втрати електричної потужності в дроселі, трансформаторі, провідниках і електродах ДСП, кВт.

Аналіз наведеного виразу дозволяє зробити наступні висновки:

- перший складова – це корисно витрачена електроенергія на розплавлення 1 т сталі, що залежить від ККД печі та її теплових втрат;
- витрата енергії на окислення та відновлення обернено пропорційна масі садки;
- витрата енергії, що витрачається на простій печі, також обернено пропорційна масі садки та прямопропорційна часу простою печі, отже залежить від способу завантаження ДСП.

Виходячи з вищевикладеного, у першу чергу необхідно впроваджувати наступні заходи з економії електроенергії в ДСП:

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

- підвищення маси садки та вдосконалення технології підготовки шихти;
- зниження електричних і теплових втрат у всіх режимах роботи;
- скорочення простоїв ДСП;
- оптимізація режимів роботи ДСП.

7.2.1 Підвищення маси садки

та вдосконалення процесу підготовки шихти

Ефекту економії електроенергії можливо добитися шляхом перевантаження печі за ємністю, тобто збільшуючи порівняно з номінальною масу завалки. Рівень перевантаження ДСП за ємністю залежить від потужності пічного трансформатора, розмірів ванни, стійкості футерування. На основі практичного досвіду були визначені рівні оптимального завантаження ДСП різної ємності, чисельні значення яких представлені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 Оптимальна маса завантаження ДСП, т

Номінальна ємність ДСП, т	Плавлення звичайний сталей	Плавлення високоякісних сталей
1,5	2,3-2,5	2,0-2,2
10,0	14-16	12-13

Ефективність перевантаження ДСП можливо визначити за допомогою залежності зміни питомих витрат електричної енергії від маси плавки (рис 7.1).

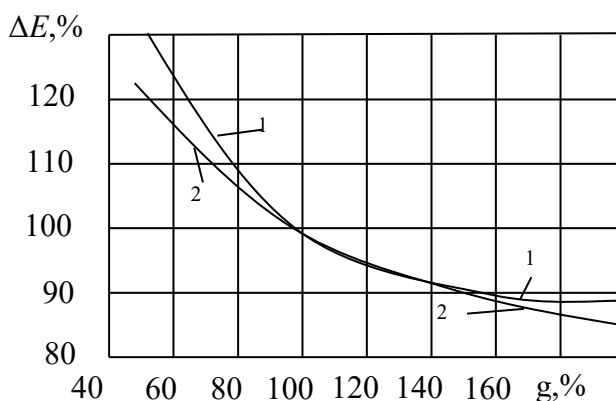


Рисунок 7.1 – Залежність питомих витрат електроенергії від маси плавки ДСП

Виконаємо розрахунок для ДСП-1,5. Ця піч при середньому завантаженні 1,35 т має питому витрату електроенергії 535 кВт·год/т. Розроблені заходи дозволяють довести масу завантаження печі до 2,25 т (150% номінальної ємності). За кривою 2 на рис. 7.1 визначаємо питомі витрати електроенергії до проведення заходів зі збільшення завантаження печі та після, які становитимуть, відповідно, 104% та 90% відносно питомої витрати енергії за 100%-го завантаження ДСП. Тоді економічний ефект від проведених заходів складе:

$$\Delta E_1 = 1,04 \cdot \Delta E_{\text{ном}} = 1,04 \cdot 535 = 556,4 \text{ кВт·год};$$

$$\Delta E_2 = 0,9 \Delta E_{\text{ном}} = 0,9 \cdot 535 = 481,5 \text{ кВт·год}.$$

Питома економія енергії складе

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 556,4 - 481,5 = 74,9 \text{ кВт·год/т}.$$

Шихту до завантаження в піч необхідно підготувати так, щоб у процесі її плавлення не потрібні були додаткові її «підвалки». Цю умову можливо виконати шляхом підбором оптимальної об'ємної маси шихти, яка для ДСП ємністю 1-5 т лежить у межах 3-4,5 т/м³. При цьому економія електроенергії, складає 5-10% від повної витрати її на плавку. Крім того, за умови скорочення тривалості окислювального періоду, економія електричної енергії може сягати 10-16% від сумарної витрати її на плавку сталі.

7.2.2 Зниження електричних втрат.

Зміна схеми короткої мережі (КМ)

Найбільш розповсюджена схема короткої мережі ДСП – це схема трикутник на шинах пічного трансформатора та зірка на електродах (рис. 7.2, а). Внаслідок великої індуктивності цій схемі властивий несиметричний розподіл навантаження за фазами, що негативно відбивається на електроспоживанні печі.

Розроблені більш досконалі схеми короткої мережі з кращими параметрами: несиметричний трикутник на електродах – двобіфілярна коротка мережа (рис. 7.2, б); симетричний трикутник на електродах з 4-м рукавом – трибіфілярна коротка мережа (рис. 7.2, в). Перевагою даних схем є зменшена індуктивність, і як наслідок, більша середня активна потужність печі. Однак, витрата міді для двох останніх схем збільшується на 15-20% у порівнянні з першою, так як в цих схемах коротка мережа розрахована не на лінійний струм, а на подвійний фазний.

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

Якщо замінити стандартну схему короткої мережі (рис. 7.2, а) на трибіфілярну, то для ДСН-1,5 тривалість плавки зменшується на 15-20%, а питома витрата електричної енергії – на 6 кВт·год/т.

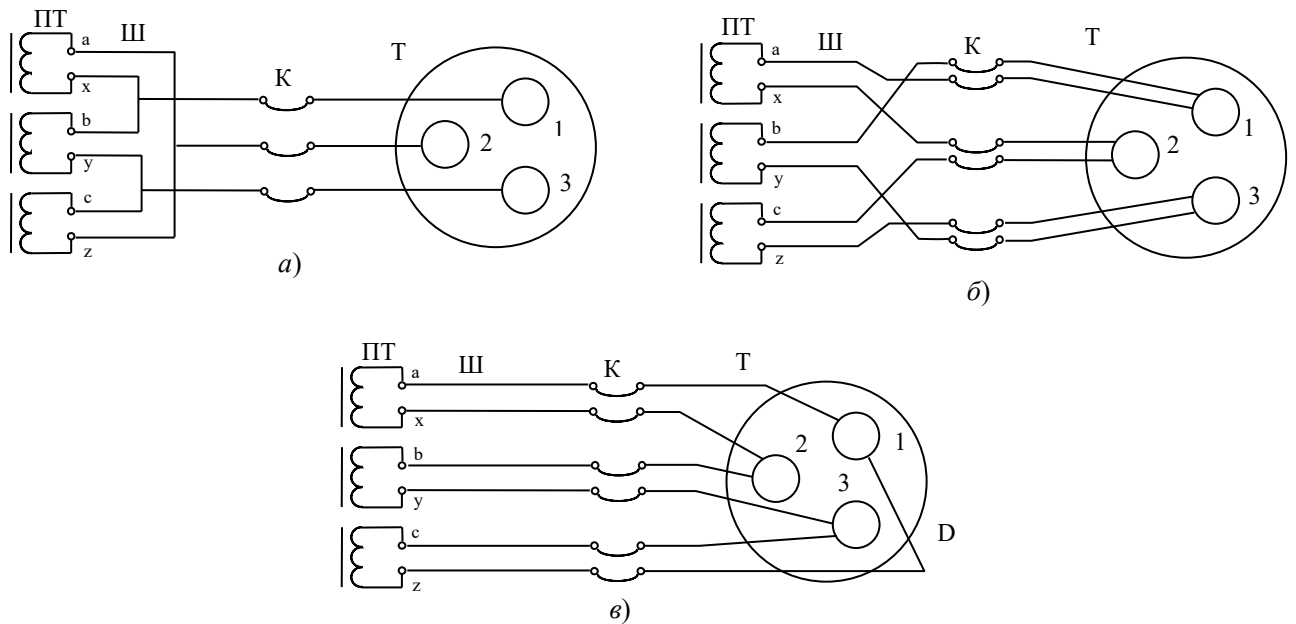


Рисунок 7.2 – Схеми короткої мережі ДСП:

ПТ – пічний трансформатор; Ш – ділянка шин; К – ділянка гнучких кабелів;
Т – струмопроводи по рукавам; D – четвертий рукав; 1, 2, 3 – електроди.

- а) Δ на шинах трансформатора і Y на електродах;
- б) несиметричний Δ на електродах;
- в) симетричний Δ на електродах з четвертим рукавом;

7.2.3 Зниження теплових втрат.

Збільшення стійкості футерування

Загальні теплові втрати ДСП залежать від стійкості футерування, так як через нього втрачається значна кількість тепла, що акумулюється кладкою.

Стійкість футерування можливо підвищити шляхом:

- використання високоякісних футерувальних матеріалів;
- вибором і підтриманням оптимальної висоти звідку над поверхнею металу впродовж рафінування;
- зменшенням часу рафінування;
- здійсненням позапланових ремонтів теплоізоляції стінок печі.

Виконання вказаних заходів збільшує стійкість футерування ДСП в 1,5-3 рази та зменшує її теплові втрати на 10-15%. Потужність теплових втрат у залежності від ємності печі та стану її футерування подана в табл. 7.2. Втрати з зовнішніх поверхонь ДСП приблизно складають до 40% для печей до 5 т і до 49% для печі вище 5 т від загальних теплових втрат

Таблиця 7.2 – Потужність теплових втрат в ДСП

Ємність печі, т	Потужність теплових втрат, кВт	
	Нове футерування	Зношене футерування
2	250	350
10	425	625

Збільшення стійкості футерування дозволяє знизити теплові втрати на 10-15%. Якщо взяти за основу середнє значення, то можна вважати, що це дозволить знизити потужність теплових втрат: для печі до 2,5 т на $\Delta P = 0,05\Delta P_T$, кВт.

Покращення якості футерування печі.

Для теплоізоляції стін і поду дугової сталеплавильної печі доцільно використовувати діатомову засипку з товщиною шару близько 50 мм. Вона також буде виконувати роль демпфера, який сприймає зусилля внаслідок теплового розширення вогнетривкого шару. Щоб уникнути висипання засипки через щілини в кожусі ДСП і для його додаткової теплоізоляції зовнішню поверхню кожуху печі застеляють листами азбесту товщиною 10-20 мм.

Для запобігання засипки від висипання через щілини в кожуху і для додаткової теплоізоляції зовнішню поверхню кожуху печі вистеляють листами азбесту товщиною 10-20 мм. За якісної теплоізоляції ДСП температури на поверхні її кожуха за середнього зносу футерування не повинні перевищувати наступних рівнів: поблизу стінок 170 °С, біля поду 140 °С, біля звіду 300 °С. Підтримання цих температур нижче вказаних меж дозволяє збільшити стійкість стін у 1,5 рази, та знизити втрати тепла з поверхні кожуха в 1,5-2 рази.

Ефективність заходів з вдосконалення теплової ізоляції для печі до 5 т складає: $\Delta P = 0,2\Delta P_T$.

Зниження втрат тепла з охолоджуючою водою.

Втрати тепла ДСП внаслідок охолодження водою, кВт·год,

$$\Delta E_{o.b} = \frac{Q(t_1 - t_2)}{860}, \quad (7.3)$$

де Q – об'єм води, що використовується для охолодження печі, л;

t_1, t_2 – температура води, відповідно, на вході та виході, °С.

Скорочення витрати охолоджуючої води та підтримання її оптимальної температури легко досягнути, якщо встановлювати в рукавах системи охолодження автоматичні регулятори температури з установкою необхідного діапазону температур.

Зазвичай, у печах малої та середньої потужності цей захід дозволяє заощадити до 50 тис. кВт·год електроенергії за рік.

Зменшення втрат тепла з газами, що відходять.

Ці втрати виникають внаслідок наявних протягів у печі. Вони усуваються шляхом ретельного ущільнення місць прилягання дверей робочого вікна до арки, місць з'єднання звідів з кожухом, а також отворів звідів в місцях проходження електродів. Проведення вказаних робіт дозволяє зменшити втрати електричної енергії до 3-5% від загальної витрат на плавлення. На основі досвіду експлуатації ДСП економію електричної енергії після ущільнення всіх протягів печі наближено можливо визначити із співвідношень наведених у табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Показники ефективності від зменшення втрат газів, що відходять

Ємність печі, т	Економія електричної енергії кВт·год/т
0,5-1,5	8,5
10-20	7,2

7.2.4 Скорочення простоїв печі

Період простою печі за нормальних умов складається з часу необхідного на зливання металу, очищення печі та завантаження шихти. Простій ДСП, у першу чергу, залежить від рівня механізації завантаження шихти, швидкості зливання металу, а також вдосконалення організації ливарного виробництва. Під час завантаження шихти в піч акумульоване в її кладці тепло розсіюється кожухом і

звідом, тому при підключенні її до мережі частина електричної енергії витрачається на нагрів футерування. Втрати електроенергії на нагрівання футерування печі після стандартної перерви в роботі сягають до 15-20%.

Отже, скорочення часу завантаження шихти значно впливає на продуктивність печі та зменшення питомої витрати електричної енергії на плавку та в свою чергу залежить від ступеню механізації ДСП. Час завалки шихти в піч залежить способу завантаження. Для печей ємністю до 15 т при ручному завантаженні він становить:

Ємність печі, т	1,5-2	3-4	5-6	10-12
Тривалість завантаження, хв	8-12	12-20	20-25	35-45

Залежність питомої витрати електроенергії від затримок можна встановити враховуючи втрати холостого ходу печі, кВт·год/т:

$$\Delta E_{y,\phi} = \frac{[P_{xx}t + P_{ном}(24-t)]E_{ном}}{P_{ном}(24-t)}, \quad (7.4)$$

де P_{xx} – втрати холостого ходу печі, кВт;

$P_{ном}$ – номінальна потужність печі, кВт;

t – добове число годин простою печі, год;

$E_{ном}$ – номінальна витрата електричної енергії на цикл плавлення кВт·год/т.

На рис 7.3 представлено залежності питомих витрат електроенергії від тривалості простоїв ДСП.

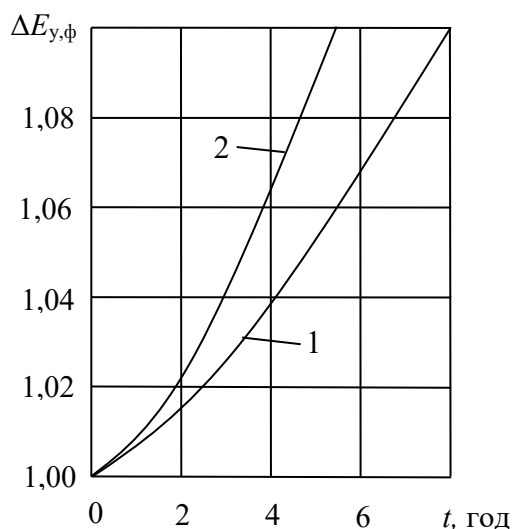


Рисунок 7.3 – Залежність $\Delta E = f(t)$:

1) $P_{xx} = 0,2P_{ном}$; 2) $P_{xx} = 0,3P_{ном}$.

Виконаємо розрахунок для ДСН-1,5, що має фактичну витрату електроенергії 535 кВт·год/т і добовий простій 6,5 год. Після встановлення обладнання, що дозволяє завантажувати піч зверху час її простою скоротився до 1,5 год на добу. Втрати холостого ходу даної печі складають 30% від $P_{\text{ном}}$.

Номінальна питома витрата електроенергії:

$$\Delta E_{\text{у.ном}} = \frac{E''_{\text{ф}}}{1,075} = \frac{535}{1,075} = 497,7 \text{ кВт·год/т.}$$

Фактична питома витрата електроенергії після модернізації печі:

$$\Delta E''_{\text{у.ф}} = 1,01 \cdot 497,7 = 503 \text{ кВт·год/т.}$$

де 1,075 та 1,01 – коефіцієнти збільшення питомих втрат електроенергії в залежності від простою печі, визначаємо з рис. 7.3 по кривій 2.

Отримана питома економія електроенергії

$$\Delta E = E'_{\text{ф}} - E''_{\text{ф}} = 535 - 503 = 32 \text{ кВт·год/т.}$$

Отже, найкращим методом завантаження ДСП є механізоване завантаження зверху, який дозволяє отримати економію питомої витрати електроенергії на 1 т плавлення металу до 6-8%.

7.3 Оптимізація електричних режимів роботи електродових печей

Оптимальний електричний режим дугової сталеплавильної печі визначається оптимальною активною потужністю її пічної установки для кожного етапу проведення плавки.

Середню активну потужність $P_{\text{ср}}$, що визначає оптимальний електричний режим, можливо знайти з наступних співвідношень:

- режим плавлення $P_{\text{ср}} = 500G^{3/4} \text{ кВт};$
- режим окислення $P_{\text{ср}} = 380G^{3/4} \text{ кВт};$
- режим відновлення $P_{\text{ср}} = 205G^{3/4} \text{ кВт},$

де G – маса завантаження, т.

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

Робота ДСП у оптимальних режимах дозволяє скоротити тривалість плавки у межах від 10% до 25% та зменшує питому витрату електричної енергії на 8-15%.

Робочі характеристики ДСП

Робочі характеристики ДСП – це залежності головних параметрів печі в функції від вторинного струму пічного трансформатора I_2 , кА:

1. Активна потужність печі, кВт:

$$P_a = I_2 U_{2\phi} \cos \varphi, \quad (7.5)$$

де $U_{2\phi}$ – напруга низької сторони, кВ.

2. Потужність електричних втрат, кВт

$$\Delta P_{\text{п.ел}} = 3 I_{2\text{л}}^2 R \cdot 10^3, \quad (7.6)$$

де R – опір електропічної установки, Ом.

3. Потужність, що виділяється при горінні дуги, кВт

$$P_d = P_a - \Delta P_{\text{п.ел}}, \quad (7.7)$$

4. Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{I_{\text{л}} x_{\text{ср}}}{U_{\phi}} \right)^2}, \quad (7.8)$$

5. Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = P_d / P_a, \quad (7.9)$$

Для визначення оптимального режиму роботи ДСН-1,5 розрахуємо її робочі характеристики.

Опори електропічної установки ДСН-1,5: $R_{\Sigma} = 1,72 \cdot 10^{-2}$ Ом, $X_{\Sigma} = 6,07 \cdot 10^{-2}$ Ом. Розрахунок проводиться у залежності для I_2 , що знаходиться в межах $0 \div I_{2\text{к}}$. Для можливості проведення розрахунку приймаємо такі припущення:

- 1) електричні параметри електропічної установки не залежать від струму навантаження;
- 2) навантаження пічного трансформатора симетричне, а опір і сила струму однакові;
- 3) криві струму та напруги носять синусоїдальний характер;
- 4) струм холостого ходу трансформатора дорівнює 0.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		70

Приведений до вторинної обмотки електропічного трансформатора струм КЗ:

$$I_{2к} = \frac{U_2}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{225}{\sqrt{(1,72 \cdot 10^{-3})^2 + (6,07 \cdot 10^{-2})^2}} = 3566,3 \text{ А.}$$

Коефіцієнт потужності електропічної установки

$$\cos\varphi = \sqrt{1 - \frac{X_{\Sigma}^2}{U_{\phi}^2} I_2^2} = \sqrt{1 - \frac{6,07 \cdot 10^{-2}}{225^2} \cdot 500^2} = 0,99.$$

Активна потужність, що споживається піччю з мережі

$$P_a = 3 \cdot I_2 \cdot U_{2\phi} \cdot \cos\varphi \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 500 \cdot 225 = 334 \text{ кВт.}$$

Втрати активної потужності в 3-х фазах

$$\Delta P_{\text{ел}} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_{\Sigma} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 500^2 \cdot 1,72 \cdot 10^{-5} = 12,9 \text{ кВт.}$$

Корисна потужність установки

$$P_k = P_a - \Delta P_{\text{ел}} = 334 - 12,9 = 321,5 \text{ кВт}$$

Електричний коефіцієнт корисної дії

$$\eta_e = \frac{P_k}{P_a} = \frac{321,5}{334} = 0,961$$

Для інших значень струму I_2 розрахунок аналогічний і представлений у табл. 7.4

Таблиця 7.4 – Розрахунок параметрів електричного режиму ДСН-1,5

№ п/п	I_2 , А	$\cos\varphi$	P_a , кВт	$\Delta P_{\text{ел}}$, кВт	P_k , кВт	$\eta_{\text{ел}}$
1	500	0,991	334,4	12,9	321,5	0,961
2	1000	0,963	649,9	51,9	598,4	0,921
3	1500	0,914	925,8	116,1	809,8	0,875
4	2000	0,842	1136,6	206,4	930,2	0,818
5	2500	0,738	1245,9	322,5	923,4	0,741
6	3000	0,587	1189,4	464,4	724,9	0,609
7	3500	0,329	777,9	632,1	145,9	0,1875

За розрахованим поточними значеннями параметрів (табл. 7.4) будемо робочі характеристики ДСН-1,5 (рис. 7.4).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		71

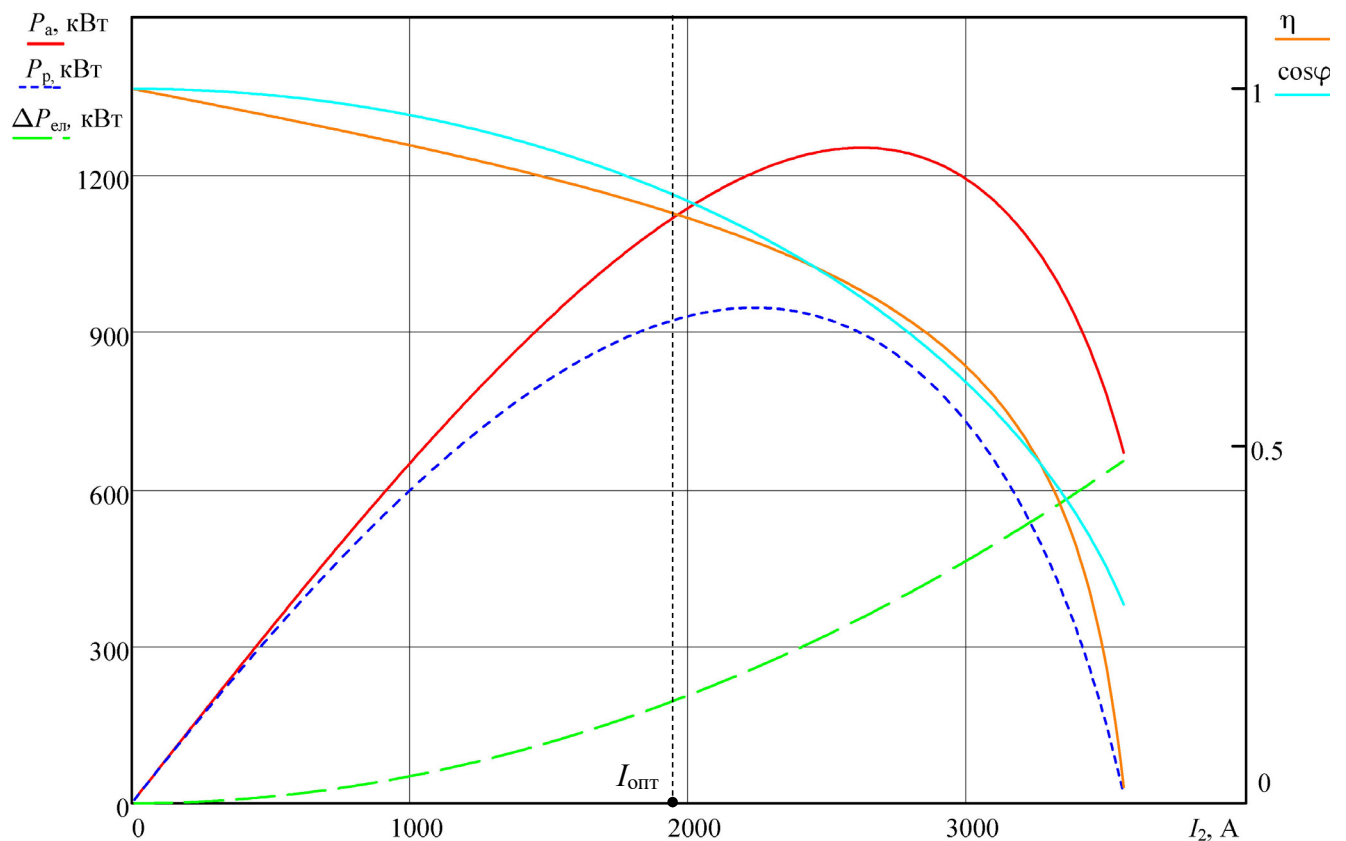


Рисунок 7.4 – Робочі характеристики ДСН-1,5

Оптимальний струм, що відповідає найменшій витраті електроенергії даного режиму роботи

$$I_{2\min} = \sqrt{\frac{U_2^2 \cdot P_r \cdot 10^3}{3U_2^2 \cdot R_\Sigma + 2 \cdot X_2 \cdot P_2 \cdot 10^3}} = \sqrt{\frac{225^2 \cdot 437.5 \cdot 10^3}{3 \cdot 225^2 \cdot 1.72 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 6.07 \cdot 10^{-2} \cdot 27 \cdot 10^3}} = 1940 \text{ А.}$$

Зазвичай, оптимальний струм для даної ступені потужності трансформатора повинен відповідати $(0,87-0,9)I_{2\text{рп.макс}}$, що і підтвердив проведений розрахунок.

Отже, проведене дослідження дає можливість скласти перелік основних заходів з економії електроенергії в дугових сталеплавильних:

- покращення теплоізоляції печі;
- скорочення часу плавки;
- проведення плавок у оптимальних режимах;
- робота печей з повним завантаженням;
- використання енергоощадних схем короткої мережі.

7.4 Енергозбереження в печах опору

Сумарна витрата електроенергії в печі опору дорівнює, кВт·год:

$$E = a_0 \tau + a_1 g + a_2, \quad (7.10)$$

де a_0 – витрата енергії на компенсацію сумарних втрат тепла через стінки печі, під, кришку печі і т.п за 1 год, кВт;

τ – тривалість термообробки, год;

a_1 – корисна витрата електричної енергії на нагрів 1 т садки, кВт·год;

g – вага садки, т;

a_2 – витрата електричної енергії на нагрів тари, кВт·год.

Корисна витрата енергії в печі опору на нагрів заготовок, кВт·год:

$$E_1 = 4,87cg(t_2 - t_1) \quad (7.11)$$

де c – теплоємність, внаслідок значного нагріву металу в розрахунках використовують середні значення теплоємності, Дж/(кг·°C);

g – вага садки, кг;

t_2 – кінцева температура нагріву садки, °C;

t_1 – початкова температура металу, що завантажуються в електропечі, °C.

Тривалість нагріву, год:

$$\tau = \frac{cg(t_2 - t_1)}{\alpha F(t_0 - t_2)}, \quad (7.12)$$

де t_1 – початкова температура садки, °C;

t_2 – кінцева температура садки, °C;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Дж/(м²·°K);

t_0 – температура повітря всередині печі, °C;

F – активна поверхня садки та тари, що термообробляються, м².

Аналіз виразів (8.10-8.12) показує, що зниження питомих витрат електроенергії в печі опору можливо досягти шляхом:

- зниження теплових втрат у печі та покращення її теплоізоляції;
- збільшення продуктивності печі;
- раціоналізації електричних і технологічних режимів роботи печі.

7.4.1 Зниження теплових втрат

Теплові втрати через стінки та звід печі опору, кВт,

$$E_2 = \frac{k(\Theta_2 - \Theta_1)F}{860}, \quad (7.13)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

F – площа зовнішньої поверхні стін і звиду печі, м²;

Θ_2, Θ_1 – температури, відповідно, внутрішньої та зовнішньої стінок печі, °С.

Застосування в якості теплової ізоляції печей опору шамотних панелей у сполученні з асбестовермікулітовими плитами дозволяє знизити витрату електроенергії на 25-26%, скоротити час розігріву печі на 32% та збільшити її продуктивність на 19 %.

Побічним показником якості теплоізоляції печі є температура її кожуха. Теплоізоляцію вважають задовільною, якщо за робочих температур печі 700-800 °С температура її кожуху лежить у діапазоні 30-40 °С, за робочих температур 800-1200 °С лежить у діапазоні 40-50 °С.

Пофарбування кожуху печі опору фарбою на основі алюмінієвої пудри забезпечує зниження витрат електричної енергії на 3-5%, внаслідок зниження втрат тепла на теплове випромінювання.

Покращення герметичності печей

Ущільнення отворів завантажувального люку, для термопар, у цегляній кладці, а також скорочення роботи печі з відкритим люком знижують втрати тепла на випромінювання.

Проведемо розрахунок для печі, що працює 5000 год/рік і має завантажувальне вікно площею 1,5 м². Температура всередині печі 800 °С. Повний час завантаження та розвантаження печі опору становить 20% від повного часу її роботи – 1000 год/рік. У результаті проведеної механізації операції завантаження печі цей час був скорочений до 700 год/рік, і крім того, виявилось, що при завантаженні не потрібний повний підйом люку, внаслідок чого площа вікна завантаження скоротилася до 1 м².

До реконструкції печі втрати на випромінювання становили:

$$\Delta E_1 = \Delta P_1 \cdot S_1 \cdot T_1 = 39 \cdot 1,5 \cdot 1000 = 58500 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік},$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					74

де ΔP_1 – втрати потужності, за температури $t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ становлять 39 кВт;

S_1 – площа вікна завантаження, м^2 ;

T_1 – число годин на рік роботи печі з відкритим вікном завантаження, год.

Після реконструкції печі опору, втрати на випромінювання з урахуванням зменшення часу її роботи з відкритим вікном і площі відкритого вікна складають:

$$\Delta E_2 = \Delta P_2 \cdot S_2 \cdot T_2 = 39 \cdot 1 \cdot 700 = 27300 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік},$$

де S_2 – площа вікна після реконструкції печі, м^2 ;

T_2 – кількість годин на рік роботи печі з відкритим вікном після реконструкції.

Отже, річна економія електроенергії в печі після реконструкції складе

$$\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 58500 - 27300 = 31200 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

7.4.2 Збільшення продуктивності електропечей

Збільшення електричної потужності печей у яких проводиться термообробка деталей, що потребує їх нагріву до заданої температури, зазвичай знижує в них питомі витрати електричної енергії.

Оцінимо збільшення продуктивності печі опору в якій проводиться термообробка сталевих деталей за температури $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ за умови збільшення її потужності 30 до 42 кВт. Потужність теплових втрат печі складає 10 кВт, а річна продуктивність печі – 900 т.

Початкова продуктивність печі

$$G = \frac{0,85P_{\text{печі}} - P_{\text{втр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 30 - 10}{0,162} = 95,7 \text{ кг} / \text{год}.$$

де $P_{\text{печі}}$ – потужність споживана піччю, кВт;

$P_{\text{втр}}$ – потужність теплових втрат печі, кВт;

E – теоретична витрата електроенергії, що необхідна для нагріву заготовок до заданої температури, приймаємо $0,162 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$.

Питома витрата електричної енергії на термообробку садки

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печі}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 30}{95,7} = 0,266 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}.$$

					Арк. 75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	

Після удосконалення печі її продуктивність збільшилась до

$$G = \frac{0,85P'_{\text{печі}} - P_{\text{втр}}}{E} = \frac{0,85 \cdot 42 - 10}{0,162} = 158 \text{ кг/год.}$$

а питома витрата склала

$$\Delta E_2 = \frac{0,85P'_{\text{печі}}}{G} = \frac{0,85 \cdot 42}{158} = 0,225 \text{ кВт·год/кг}$$

Річна економія електроенергії піччю після реконструкції складе

$$\Delta E = 900(\Delta E_1 - \Delta E_2)10^3 = 900(0,266 - 0,225)10^3 = 36,9 \text{ тис. кВт·год.}$$

7.4.3 Зменшення втрат на акумуляцію тепла

Печі, що працюють періодично, можуть повністю остигати впродовж робочого циклу нагріву. У таких випадках масивна кладка печі стає істотним джерелом підвищення питомих витрат електроенергії, оскільки вона має велику теплоакumuлюючу здатність.

Витрата електроенергії на розігрів печі до температури t_0 , кВт·год/м²,

$$E_0 = P_{\text{спож}} \frac{cJ(t_2 - t_1)}{\alpha F(t_0 - t_2)}, \quad (7.14)$$

де $P_{\text{спож}}$ – споживана потужність печі, кВт;

c – теплоємність вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів, Дж/(кг·°C);

J – сума маси кладки, кг;

t_2 – кінцева температура внутрішньої стінки печі, °C;

t_1 – початкова температура внутрішньої стінки печі, °C;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Дж/(м²·°C);

F – площа активної поверхні кладки, м²;

t_0 – температура простору в печі (робоча температура), °C.

Застосування ефективних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії на 10-15%.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		76

7.4.4 Раціональна організація роботи печі

Максимальна продуктивність термічних печей опору досягається в безперервному режимі роботи, який є найбільш раціональним з точки зору економії електроенергії. Це пов'язано з тим, що перерви в роботі печей сприяють охолодженню кладки і виникненню додаткових витрати електроенергії на розігрів її до робочого стану. Тому при експлуатації печей опору сприяти їх максимальному завантаженню та безперервній роботі.

Оцінимо економічність режимів роботи термічної печі при роботі в дві зміни на добу за різної періодичності її вмикання.

Варіант №1, піч увімкнена 16 год і остигає 8 год.

Максимальна годинна продуктивність печі

$$G_{\text{макс}} = \frac{0,85P_{\text{печі}} - 1,44P_{\text{втр}}}{E} \text{ кг/год};$$

Питома витрата електроенергії

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печі}}}{G} \text{ кВт·год/кг.}$$

Аналогічно для інших варіантів, отримаємо:

варіант №2, піч вмикається до початку зміни (час увімкнення > 16 год):

$$G_{\text{макс}} = \frac{0,85P_{\text{печі}} - 1,11P_{\text{втр}}}{E} \text{ кг/год};$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печі}} + 0,33P_{\text{втр}}}{G} \text{ кВт·год/кг};$$

варіант №3, піч не вимикається на час простою:

$$G_{\text{макс}} = \frac{0,85P_{\text{печі}} - P_{\text{втр}}}{E} \text{ кг/год};$$

$$\Delta E = \frac{0,85P_{\text{печі}} + 0,5P_{\text{втр}}}{G} \text{ кВт·год/кг.}$$

Отже, максимальна продуктивність печі досягається за умов варіанту №3, а найменша питома витрата електроенергії за умов варіанту №1.

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

7.4.5 Використання попереднього нагріву виробів

У всіх випадках, коли не потрібне швидке охолодження виробів після термічної обробки, акумульоване ними тепло можливо використати для підігріву наступної партії заготовок.

При використанні термічних печей періодичної дії уповільнене охолодження деталей за звичай здійснюється в спеціальних камерах.

Використання попереднього підігріву заготовок дозволяє зменшити витрати електроенергії на термообробку на 30-50 %.

Зниження повної витрати електроенергії за весь час перебування заготовок в печі складе, кВт·год:

$$\Delta E = P_{\text{спож}} \frac{cg(t_1'' - t_1')}{\alpha F(t_0 - t_2)}, \quad (7.15)$$

де $P_{\text{спож}}$ – потужність теплових втрат печі опору, кВт;

c – теплоємність металу з якого виготовлені деталі, Дж/(кг·°C);

g – повна маса заготовок, кг;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Дж/(м²·°C);

t_0 – температура простору в печі опору, °C;

t_2 – кінцева температура заготовки, °C;

t_1', t_1'' – температури заготовок, відповідно, до впровадження попереднього нагріву та після нього, °C;

F – активна поверхня виробу, м².

Удосконалення електричних режимів роботи електропечей

Автоматизація керування термічних печей опору, знижує витрати електроенергії на 20-50% за рахунок точної відповідності споживаної потужності заданому температурному режиму.

Отже, енергозбереження в термічних печах опору може бути реалізовано впровадженням наступних заходів:

- підвищення продуктивності печі;
- підвищення зниження простоїв печі;
- зниження питомих витрат електроенергії;
- підтримання номінальної напруги, що підводиться до печі.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі проведено проектування системи електропостачання та електрозбереження ливарного виробництва.

Електричні навантаження окремих підрозділів і виробництва в цілому розраховано за методом впорядкованих діаграм. Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ ЦРУ склало 8,17 МВт і 5,8 Мвар.

Графіки електричних навантажень побудовані на базі типових для ливарного виробництва. Було враховано зимовий та літній періоди року, а також робочі та вихідні дні обох періодів.

До розгляду були прийняті такі варіанти внутрішнього електропостачання ливарного виробництва:

1) електропостачання здійснюється від ГЗП підприємства по КЛ 10 кВ довжиною 0,3 км. Біля плавильної ділянки планується спорудження ЦРУ, а живлення цехових підстанцій здійснюється за магістральною схемою. Цехові трансформатори приєднуються до КЛ через запобіжник і вимикач навантаження;

2) електропостачання здійснюється від ГЗП підприємства по КЛ 10 кВ довжиною 0,3 км номінальною напругою 10 кВ. Біля плавильної ділянки планується спорудження ЦРУ та використовується радіальна схема з глухим приєднанням цехових трансформаторів до КЛ.

На основі техніко-економічних розрахунків встановлено, що варіант №1 є більш доцільним.

Аналіз режимів реактивної потужності показав, що генерація реактивної потужності пристрої компенсації реактивної потужності доцільна як на напрузі 10 кВ, так і 0,4 кВ. До установки прийняті ПКРП марок УКРМ-10 та АКУ-0,4.

Розрахунок струмів КЗ у мережі 10 кВ виконано у відносних базисних одиницях для максимального режиму роботи СЕП. На основі отриманих даних проведений вибір наступного електрообладнання: вакуумних вимикачів ВР1-10-20/630УЗ, трансформаторів струму ТЛК-10-3, вимикачів навантаження ВНРп-10/400-10зУЗ, запобіжників ПКТ-104-10-160-20УЗ, кабельних ліній 10 кВ типу ААБл.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз заходів щодо економії електроенергії у ливарному виробництві. Розглянуто організаційні та технічні заходи з економії електроенергії як у основному та і додатковому обладнанні.

У цілому кваліфікаційна робота відповідає технічним і економічним вимогам.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		79

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, Центральн. 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. Енергозбереження в промисловості. Частина 1 / А. В. Праховник, О. М. Суходоля, С. П. Денисюк, В. В. Прокопенко – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 517 с.
10. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / Праховник А. В., Прокопенко В. В., Беленький А. М. та ін. – Луганськ: Вид-во «Місячне сяйво», 2010.
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, Центральн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		80

Додаток А. Розрахунок Графіків електричних навантажень виробництва

Таблиця А. 1.1 – 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	80,0	6733,6	90,0	1128,8	6827,6
2	1 – 2	80,0	6733,6	90,0	1128,8	6827,6
3	2 – 3	80,0	6733,6	90,0	1128,8	6827,6
4	3 – 4	85,0	7154,5	95,0	1191,5	7253,0
5	4 – 5	90,0	7575,3	95,0	1191,5	7668,4
6	5 – 6	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
7	6 – 7	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
8	7 – 8	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
9	8 – 9	100,0	8417,0	100,0	1254,2	8509,9
10	9 – 10	100,0	8417,0	100,0	1254,2	8509,9
11	10 – 11	100,0	8417,0	100,0	1254,2	8509,9
12	11 – 12	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
13	12 – 13	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
14	13 – 14	90,0	7575,3	95,0	1191,5	7668,4
15	14 – 15	90,0	7575,3	95,0	1191,5	7668,4
16	15 – 16	98,0	8248,7	99,0	1241,7	8341,6
17	16 – 17	98,0	8248,7	99,0	1241,7	8341,6
18	17 – 18	98,0	8248,7	99,0	1241,7	8341,6
19	18 – 19	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
20	19 – 20	95,0	7996,2	97,0	1216,6	8088,2
21	20 – 21	90,0	7575,3	95,0	1191,5	7668,4
22	21 – 22	90,0	7575,3	95,0	1191,5	7668,4
23	22 – 23	80,0	6733,6	90,0	1128,8	6827,6
24	23 – 24	75,0	6312,8	90,0	1128,8	6412,9

Таблиця А.1.2 – 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	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
2	1 – 2	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
3	2 – 3	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
4	3 – 4	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
5	4 – 5	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
6	5 – 6	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
7	6 – 7	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
8	7 – 8	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
9	8 – 9	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
10	9 – 10	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
11	10 – 11	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
12	11 – 12	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
13	12 – 13	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
14	13 – 14	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
15	14 – 15	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
16	15 – 16	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
17	16 – 17	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
18	17 – 18	40,0	3366,8	65,0	815,2	3464,1
19	18 – 19	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
20	19 – 20	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
21	20 – 21	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
22	21 – 22	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
23	22 – 23	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5
24	23 – 24	45,0	3787,7	68,0	852,9	3882,5

Таблиця А.1.3 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної повної потужностей робочої літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i},\%$	$P_{л.р.i}, \text{ кВт}$	$Q_{*i},\%$	$Q_{л.р.i}, \text{ квар}$	$S_{л.р.i}, \text{ кВА}$
1	0 – 1	85,0	6081,3	90,0	959,5	6156,5
2	1 – 2	85,0	6081,3	90,0	959,5	6156,5
3	2 – 3	80,0	5723,6	85,0	906,2	5794,8
4	3 – 4	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
5	4 – 5	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
6	5 – 6	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
7	6 – 7	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
8	7 – 8	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
9	8 – 9	100,0	7154,5	100,0	1066,1	7233,4
10	9 – 10	100,0	7154,5	100,0	1066,1	7233,4
11	10 – 11	100,0	7154,5	100,0	1066,1	7233,4
12	11 – 12	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
13	12 – 13	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
14	13 – 14	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
15	14 – 15	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
16	15 – 16	98,0	7011,4	99,0	1055,4	7090,4
17	16 – 17	98,0	7011,4	99,0	1055,4	7090,4
18	17 – 18	95,0	6796,7	99,0	1055,4	6878,2
19	18 – 19	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
20	19 – 20	95,0	6796,7	97,0	1034,1	6874,9
21	20 – 21	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
22	21 – 22	90,0	6439,0	95,0	1012,8	6518,2
23	22 – 23	80,0	5723,6	90,0	959,5	5803,4
24	23 – 24	80,0	5723,6	90,0	959,5	5803,4

Таблиця А.1.4 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної і повної потужностей вихідної літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$P_{*i}, \%$	$P_{\text{Л.В.}i}, \text{кВт}$	$Q_{*i}, \%$	$Q_{\text{Л.В.}i}, \text{квар}$	$S_{\text{Л.В.}i}, \text{кВА}$
1	0 – 1	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
2	1 – 2	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
3	2 – 3	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
4	3 – 4	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
5	4 – 5	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
6	5 – 6	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
7	6 – 7	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
8	7 – 8	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
9	8 – 9	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
10	9 – 10	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
11	10 – 11	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
12	11 – 12	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
13	12 – 13	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
14	13 – 14	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
15	14 – 15	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
16	15 – 16	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
17	16 – 17	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
18	17 – 18	40,0	2861,8	65,0	692,9	2944,5
19	18 – 19	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
20	19 – 20	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
21	20 – 21	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
22	21 – 22	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
23	22 – 23	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1
24	23 – 24	45,0	3219,5	68,0	724,9	3300,1

Таблиця А.1.5 – 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 , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7
1	147,0	8417,0	147,0	1254,2	147,0	8509,9
2	147,0	8417,0	147,0	1254,2	147,0	8509,9
3	147,0	8417,0	147,0	1254,2	147,0	8509,9
4	147,0	8248,7	147,0	1241,7	147,0	8341,6
5	147,0	8248,7	147,0	1241,7	147,0	8341,6
6	147,0	8248,7	147,0	1241,7	147,0	8341,6
7	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
8	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
9	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
10	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
11	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
12	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
13	147,0	7996,2	147,0	1216,6	147,0	8088,2
14	147,0	7575,3	147,0	1191,5	147,0	7668,4
15	147,0	7575,3	147,0	1191,5	147,0	7668,4
16	147,0	7575,3	147,0	1191,5	147,0	7668,4
17	147,0	7575,3	147,0	1191,5	147,0	7668,4
18	147,0	7575,3	147,0	1191,5	147,0	7668,4
19	147,0	7154,5	147,0	1191,5	147,0	7253,0
20	105,0	7154,5	147,0	1128,8	105,0	7233,4
21	105,0	7154,5	147,0	1128,8	105,0	7233,4
22	105,0	7154,5	147,0	1128,8	105,0	7233,4
23	105,0	7011,4	147,0	1128,8	105,0	7090,4
24	105,0	7011,4	147,0	1128,8	105,0	7090,4
25	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6878,2
26	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
27	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
28	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
29	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
30	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
31	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9
32	105,0	6796,7	65,0	852,9	105,0	6874,9

Продовження табл. А.1.5.

1	2	3	4	5	6	7
33	147,0	6733,6	65,0	852,9	147,0	6827,6
34	147,0	6733,6	65,0	852,9	147,0	6827,6
35	147,0	6733,6	65,0	852,9	147,0	6827,6
36	147,0	6733,6	65,0	852,9	147,0	6827,6
37	105,0	6439,0	65,0	852,9	105,0	6518,2
38	105,0	6439,0	65,0	852,9	105,0	6518,2
39	105,0	6439,0	65,0	815,2	105,0	6518,2
40	105,0	6439,0	65,0	815,2	105,0	6518,2
41	105,0	6439,0	65,0	815,2	105,0	6518,2
42	105,0	6439,0	65,0	815,2	105,0	6518,2
43	147,0	6312,8	65,0	815,2	147,0	6412,9
44	105,0	6081,3	65,0	815,2	105,0	6156,5
45	105,0	6081,3	65,0	815,2	105,0	6156,5
46	105,0	5723,6	65,0	815,2	105,0	5803,4
47	105,0	5723,6	65,0	815,2	105,0	5803,4
48	105,0	5723,6	65,0	815,2	105,0	5794,8
49	65,0	3787,7	105,0	724,9	65,0	3882,5
50	65,0	3787,7	105,0	724,9	65,0	3882,5
51	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
52	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
53	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
54	65,0	3787,7	105,0	724,9	65,0	3882,5
55	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
56	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
57	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
58	65,0	3787,7	105,0	724,9	65,0	3882,5
59	65,0	3787,7	105,0	724,9	65,0	3882,5
60	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
61	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
62	65,0	3787,7	48,0	724,9	65,0	3882,5
63	65,0	3366,8	105,0	724,9	65,0	3464,1
64	65,0	3366,8	48,0	724,9	65,0	3464,1
65	65,0	3366,8	48,0	724,9	65,0	3464,1
66	65,0	3366,8	105,0	724,9	65,0	3464,1
67	65,0	3366,8	48,0	724,9	65,0	3464,1
68	65,0	3366,8	48,0	724,9	65,0	3464,1
69	65,0	3366,8	48,0	724,9	65,0	3464,1

Продовження табл. А.1.5.

1	2	3	4	5	6	7
70	65,0	3366,8	105,0	724,9	65,0	3464,1
71	65,0	3366,8	105,0	724,9	65,0	3464,1
72	65,0	3366,8	105,0	724,9	65,0	3464,1
73	48,0	3219,5	105,0	724,9	48,0	3300,1
74	48,0	3219,5	105,0	724,9	48,0	3300,1
75	48,0	3219,5	105,0	724,9	48,0	3300,1
76	48,0	3219,5	105,0	724,9	48,0	3300,1
77	48,0	3219,5	105,0	692,9	48,0	3300,1
78	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
79	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
80	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
81	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
82	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
83	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
84	48,0	3219,5	105,0	692,9	48,0	3300,1
85	48,0	3219,5	105,0	692,9	48,0	3300,1
86	48,0	3219,5	48,0	692,9	48,0	3300,1
87	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
88	48,0	2861,8	48,0	692,9	48,0	2944,5
89	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
90	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
91	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
92	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
93	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
94	48,0	2861,8	48,0	692,9	48,0	2944,5
95	48,0	2861,8	105,0	692,9	48,0	2944,5
96	48,0	2861,8	48,0	692,9	48,0	2944,5
Всього	8760		8760		8760	