

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук, професор
_____Петро ПЛЕСШКОВ
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

Розроблення системи електропостачання заводу деревообробного підприємства Design of the power supply system for a woodworking plan

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-22з,
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Лілія ВОЛОШИНА
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доц., канд. техн. наук
_____Іван САВЕЛЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2026 р.

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

Волошиної Лілії Ідрісівни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання заводу деревообробного підприємства

Design of the power supply system for a woodworking plan

2. Керівник роботи Савеленко Іван Володимирович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є проектування системи електропостачання заводу деревообробного підприємства. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести дослідження в спеціальному розділі роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доц. к.т.н. Гарасьова Н.Ю.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних та теплових навантажень</i>	<i>10.05-12.05</i>	
2	<i>Картограма електричних та теплових навантажень</i>	<i>13.05-23.05</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>24.05-26.05</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>27.05-1.05</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05-28.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини КБР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки КБР</i>	<i>31.05-10.06</i>	

Дата видачі завдання
« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Іван САВЕЛЕНКО

Завдання прийнято до виконання
« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Лілія ВОЛОШИНА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 61 с.; 10 рис.; 32 табл.; 7 джерел

Волошина Л. Розроблення системи електропостачання заводу деревообробного підприємства. – Рукопис.

Design of the power supply system for a woodworking plant

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

Кваліфікаційну роботу присвячено проєктуванню надійної системи електропостачання деревообробного заводу з одночасною модернізацією його енергетичної інфраструктури шляхом впровадження автономної котельні на твердому біопаливі. У межах дослідження виконано розрахунок очікуваних електричних навантажень підприємства, визначено оптимальні режими компенсації реактивної потужності та розраховано струми короткого замикання. На основі отриманих даних обґрунтовано раціональні схеми зовнішнього та внутрішнього розподілу електроенергії, а також здійснено вибір сучасного високовольтного обладнання. Особливу увагу приділено спецрозділу щодо організації локального тепlopостачання від біокотельні, яка утилізує тверді відходи виробництва. Для визначення найбільш ефективного інженерного рішення проведено комплексне техніко-економічне порівняння різних конфігурацій котлоагрегатів та видів палива.

Ключові слова: електричні навантаження, деревообробне підприємство, модернізація енергосистеми

ABSTRACT

Qualification work: 61 p.; 10 Fig.; 32 tables; 7 sources

**VOLOSHYNA V. Design of the power supply system for a woodworking plant.
– Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

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

The qualification thesis is devoted to designing a reliable power supply system for a woodworking plant, coupled with the modernization of its energy infrastructure through the implementation of an autonomous solid biofuel boiler house. Within the scope of the study, calculations of the enterprise's expected electrical loads were performed, optimal reactive power compensation modes were determined, and short-circuit currents were analyzed. Based on the obtained data, rational schemes for external and internal power distribution were justified, and modern high-voltage equipment was selected. Particular attention is given to a special section addressing local heat supply from the bio-boiler house that utilizes solid production waste. To determine the most efficient engineering solution, a comprehensive technical and economic comparison of various boiler configurations and fuel types was conducted.

Keywords: electrical loads, woodworking plant, power system modernization.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	6
ВСТУП	7
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень деревообробного підприємства в електричних мережах до 1000 В.....	9
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень	18
1.3 Розрахунок електричних навантажень підприємства в силових мережах вище 1000 В	20
1.4 Побудова графіків електричних навантажень	24
2. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	30
3. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	32
3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання	32
3.2. Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання	33
4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	37
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах.....	37
5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА	41
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	42
6.1. Розрахунок струмів короткого замикання.....	42
6.2. Вибір високовольтного обладнання.....	46
7. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОГОСПОДАРСТВА ЗАВОДУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ БІОКОТЕЛЬНІ.....	49
7.1. Техніко-економічне обґрунтування вибору джерела теплопостачання... ..	49
7.2. Оцінка паливного балансу та потенціалу енергозбереження.....	51
7.3. Розрахунок капітальних вкладень та періоду окупності	52
7.4. Розрахунок та інженерний вибір котельного обладнання заводу.....	54
7.5. Оцінка загальної фінансової ефективності проєкту	57
ВИСНОВКИ.....	59
ЛІТЕРАТУРА	61

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення системи електропостачання заводу деревообробного підприємства					Лім.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Волошина Л									у	6	61
Перевір.	Савеленко І.									ЦНТУ Група ЕЕ-22з		
Н.контр.												
Затв.	Плешков П.І											

ВСТУП

Сучасний етап розвитку деревообробної промисловості України вимагає впровадження високоефективних, надійних та енергобезпечних виробничих систем. Деревообробні підприємства характеризуються значною концентрацією силових електроприймачів, наявністю специфічних пускових режимів потужного обладнання, а також підвищеними вимогами до пожежо- та вибухобезпеки. Ефективне функціонування таких об'єктів безпосередньо залежить від раціональної організації системи електропостачання, яка мінімізує втрати потужності та забезпечує безперебійність технологічного процесу.

Водночас зростання вартості первинних енергоресурсів та жорсткі екологічні вимоги зумовлюють необхідність модернізації енергетичного господарства заводів шляхом впровадження технологій циркулярної економіки. Деревообробка супроводжується утворенням значної кількості твердих відходів (тирса, тріска, обапіл), які є цінним відновлюваним джерелом енергії. Інтеграція автономної котельні на твердому біопаливі в загальну схему енергозабезпечення підприємства дозволяє не лише вирішити проблему утилізації відходів та локального теплопостачання, а й суттєво знизити загальні експлуатаційні витрати заводу. Таким чином, комплексна розробка системи електропостачання у поєднанні з модернізацією теплоенергетичного сектору є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до напрямків досліджень кафедри [Назва кафедри] [Назва університету] в межах оптимізації систем електропостачання промислових підприємств та впровадження енергоефективних технологій.

Мета дослідження: розробка комплексної, надійної та енергоефективної системи електропостачання заводу деревообробного підприємства з одночасною модернізацією його теплоенергетичної інфраструктури шляхом інтеграції автономної котельні на твердому біопаливі.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Виконати аналіз технологічного процесу підприємства та провести детальний розрахунок очікуваних електричних навантажень об'єкта.

Визначити раціональні режими компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності мережі.

Обґрунтувати та розробити оптимальні схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання заводу.

Здійснити вибір та перевірку сучасного високовольтного та низьковольтного електрообладнання, захисно-комутаційної апаратури та кабельно-провідникової продукції.

Розробити інженерне рішення щодо організації локального теплопостачання підприємства від автономної котельні на твердому біопаливі.

Провести техніко-економічне порівняння різних варіантів котельного обладнання та видів палива для обґрунтування доцільності прийнятих рішень.

Об'єкт дослідження: процеси розподілу, передачі та споживання електричної та теплової енергії на деревообробному підприємстві.

Предмет дослідження: схеми, методи розрахунку та технічні засоби систем електро- та теплопостачання заводу деревообробної промисловості.

Практичне значення отриманих результатів. Спроектована система електропостачання забезпечує високий рівень надійності живлення електроприймачів деревообробного заводу, знижує втрати електроенергії та підвищує рівень електробезпеки. Запропоноване інженерне рішення щодо будівництва автономної біокотельні дозволяє підприємству повністю відмовитися від закупівлі стороннього викопного палива (або природного газу) для потреб опалення та технологічного теплопостачання, утилізувати власні виробничі відходи та знизити собівартість готової продукції. Результати розрахунків, вибору схем та обладнання можуть бути використані як основа для реального проєктування реконструкції або будівництва аналогічних об'єктів деревообробної галузі.

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

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Метод "Упорядкованих діаграм Каялова" є одним із способів визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів. Цей метод базується на аналізі використання електроенергії протягом певного періоду часу.

Для виконання розрахунків за методом "Упорядкованих діаграм Каялова" спочатку визначаються всі електроприймачі, які працюють на підприємстві. Далі проводиться збір даних про режим роботи кожного приймача, такі як тривалість роботи, потужність, часи пуску та зупинки тощо.

Цей метод дозволяє отримати достовірні дані про електричне навантаження електроприймачів і використовується для планування, проектування та оптимізації систем енергопостачання промислових підприємств.

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень деревообробного підприємства в електричних мережах до 1000 В

Ввиконаємо розрахунок електричних навантажень деревообробного підприємства.

Середнє навантаження та усталена потужність:

$$P_{cp} = P_{\text{сум}} * K_{\text{и}} = 2 * 0,5 = 1 \text{ кВт},$$

$$Q_{cp} = P_{cp} * \text{tg}\varphi = 1 * 0,75 = 0.75 \text{ кВар}.$$

Середньозмінне навантаження груп споживачів:

$$P_{\text{см}} = \sum P_{\text{ср}i} = 8,40 + 1,00 + 20,35 + 16,00 + 3,15 + 19,25 + 3,96 + 2,50 + 0,50 = 75,1 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{см}} = 6,30 + 0,75 + 27,13 + 18,71 + 2,36 + 14,44 + 5,28 + 1,88 + 0,51 = 77,4 \text{ кВар}.$$

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

Ефективне число ЕП:

$$\eta_e = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 135}{35} = 8.$$

Використовуючи початкові дані знаходимо коефіцієнт m:

$$m = \frac{P_{\text{н. max}}}{P_{\text{н. min}}} = \frac{35}{1} = 35.$$

Навантаження активне групи електроприймачів:

$$P_p = P_{\text{см}} \cdot K_m = 75 \cdot 1,25 = 93,5 \text{ кВт}$$

Навантаження реактивне групи електроприймачів:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{см}} = 1,1 \cdot 77,4 = 85,1 \text{ кВар (так як } \eta_e \text{ менше 10)}.$$

Розрахунковий максимум навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{93^2 + 85^2} = 126,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Розрахунок силових електричних навантажень інших споживачів в електричних мережах до 1000 В зводимо до таблиці 1.1.

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

Таблиця 1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі до 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена по-тужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		п _{еф}	K _м	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					P _{ср}	Q _{ср}			P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Адміністративно-побутовий корпус														
	ПК	37	0,3 - 1	15	3	0,7	0,9	0,62	10,36	6,42					
	Кондиціонери	11	1,5 - 3	13	2	0,6	0,8	0,75	7,92	5,94					
	Побутові електроприлади	5	1,0 - 2	25	2	0,2	1	0,33	5,00	1,64					
	БСК	5	0,5 - 1	3	1	0,5	0,8	0,88	1,25	1,10					
	Вентилятори	3	0,5 - 1	1	2	0,6	0,8	0,75	0,72	0,54					
	Принтери	4	1,0 - 3	4	3	0,6	0,9	0,62	2,40	1,49					
	Всього	65	0,3 - 3	61	12	0,5	0,9	0,62	28	17	40	2,20	60,8	17,1	63,2
2	Інженерно-конструкторське бюро														
	ПК	25	0,5 - 1	13	2	0,7	0,9	0,62	9	5					
	Теплові насоси	11	1,5 - 3	17	2	0,6	0,8	0,75	10	7					
	Плоттери	7	1,0 - 2	7	2	0,4	0,8	0,75	3	2					
	Верстат для різки паперу	2	3,0 - 3	6	1	0,2	0,8	0,88	1	1					
	Вентилятори	3	0,5 - 1	2	2	0,6	0,8	0,75	1	1					
	Принтери	4	1,0 - 3	4	3	0,5	0,9	0,62	2	1					
	Всього	52	0,5 - 2	48	4	0,5	0,8	0,67	26	17	41	1,42	36,3	17,1	40,1
3	Їдальня підприємства														
	Електроплити	7	5,0 - 30	105	6	0,4	1	0,2	42,00	8,40					
	Морозильні камери	3	4,0 - 4	12	1	0,6	0,8	0,75	7,20	5,40					

--

	Apk.
	14

	Apk.
	15

	Apk.
	16

	Apk.
	17

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювального навантаження виконується за питомою потужністю освітлювального навантаження на одиницю корисної площі промислового приміщення.

Встановлена потужність освітлювальних приймачів, кВт:

$$P_p = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 18 \cdot 945 \cdot 10^{-3} = 17,01$$

Розрахункова потужність освітлювальних електроприймачів, кВт:

$$P_p = K_c \cdot K_1 \cdot P_y = 0,9 \cdot 1,2 \cdot 17 = 18,4;$$

Для освітлювальних установок з СДЛ розрахункова реактивна потужність визначається за формулою, кВар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 18,4 \cdot 0,27 = 8,9.$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ відповідає характерному для даних джерел світла коефіцієнту потужності $\cos \varphi$, для ламп люмінісцентних він складає відповідно 0,5.

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{18,4^2 + 8,9^2} = 20,4 \text{ кВА}$$

Розрахунок освітлювальних навантажень виконуємо у вигляді таблиці 1.2.

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

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень в мережі до 1000 В

№	Найменування	F, м ²	p _о , Вт/м ²	P _в , кВт	K _с	K ₁	cosφ	tgφ	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Адміністративно-побутовий корпус	935	9	8,42	0,9	1,01	0,97	0,27	7,6	2,1	7,9
2	Адміністративно-конструкторський корпус	815	9	7,34	0,9	1,01	0,97	0,27	6,7	1,8	6,9
3	Їдальня	490	9,00	4,41	0,8	1,01	0,97	0,27	3,6	1,0	3,7
4	Завод віконних систем	1990	7	13,93	0,95	1,01	0,97	0,27	13,4	3,6	13,9
5	Цех натуральних меблів	1140	7	8,0	0,9	1,01	0,97	0,27	7,2	1,9	7,4
6	Завод клеєних виробів	4240	8	33,92	0,95	1,01	0,97	0,27	32,5	8,8	33,7
7	Склад	490	3	1,5	0,6	1,01	0,97	0,27	0,9	0,2	0,9
8	Цех нестандартних меблів	350	7	2,5	1,0	1,01	0,97	0,27	2,4	0,6	2,4
9	Лісопильний цех	1090	7	7,6	1,0	1,01	0,97	0,27	7,3	2,0	7,6
10	Цех доски полу	290	7	2,0	1,0	1,01	0,97	0,27	1,9	0,5	2,0
11	Котельня	150	4	0,6	0,8	1,01	0,97	0,27	0,5	0,1	0,5
12	Побутові приміщення	150	5	0,8	0,6	1,01	0,97	0,27	0,5	0,1	0,5
13	Гараж	370	4	1,5	0,9	1,01	0,97	0,27	1,3	0,4	1,4
14	Конвекторний цех	330	6	2,0	0,7	1,01	0,97	0,27	1,3	0,4	1,3
15	Зварювальна дільниця	940	5	4,7	0,6	1,01	0,97	0,27	2,8	0,8	3,0
16	Цех примусової сушки	450	3	1,4	0,6	1,01	0,97	0,27	0,8	0,2	0,8
17	Склад	250	3	0,8	0,6	1,01	0,97	0,27	0,5	0,1	0,5
18	Склад атмосферної сушки	2390	0,1	0,2	0,5	1,01	0,97	0,27	0,1	0,0	0,1
19	Територія заводу	67490	0,1	6,7	0,5	1,01	0,97	0,27	3,4	0,9	3,5
	Разом								63,4	17,2	65,7

1.3 Розрахунок електричних навантажень підприємства в силових мережах вище 1000 В

Передумовою для аналізу розподілу потужності в мережах напругою понад 1000 В є обґрунтування кількості цехових трансформаторних підстанцій (ТП), одиничної потужності силових трансформаторів та їхньої просторової локалізації на генплані об'єкта. Ключовим інструментом для розв'язання цієї задачі виступає картограма електричних навантажень.

Як правило, схемам магістрального чи радіального живлення напругою 0,4 кВ від ТП сусідніх об'єктів підлягають ділянки з сумарною розрахунковою потужністю, що не перевищує 250–300 кВА, за умови їхнього віддалення від джерела живлення в межах 50–80 метрів.

Підсумовуючи, вибір структури, потужності та географічного розміщення ТП базується на топології картограми навантажень із залученням техніко-економічно виправданого сумісного живлення дрібних цехів низьковольтними кабельними лініями. Зведені результати математичного моделювання та розрахунку параметрів силових мереж напругою понад 1000 В систематизовано й представлено у формі таблиці 1.3. На проєктованих підстанціях передбачено монтаж силових масляних трансформаторів серії ТСЗ.

Сном, кВА	U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %
630	5,5	7,60	1,31	2,00

Для прикладу наведено розрахунок втрат в трансформаторах ТП № 1:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 2 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,71^2) = 4 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{1,31}{100} \cdot 630 + \frac{5,5}{100} \cdot 630 \cdot 0,71^2 \right) = 32 \text{ кВар}$$

Аналогічно розраховуються втрати в трансформаторах у інших ТП.

Результати розрахунку силових навантажень в мережі вище 1000 В приведені в таблиці 1.3.

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

Таблиця 1.3. Розрахунок силових навантажень в мережі вище 1000 В

№	Назва вузлів навантаження	Кількість	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Km	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					Pcp	Qcp			Pp	Qp	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП№1														
	Адміністративно-побутовий корпус														
	силова	65,0	0,3 - 3,0	60,7	12,0	0,5	0,9	0,6	27,7	17,1	40,0	2,2	60,8	17,1	63,2
	освітлювальна												8	2	
	Всього												68	19	
	Інженерно-конструкторське бюро														
	силова	52,0	0,5 - 2,0	47,5	4,0	0,5	0,8	0,7	25,6	17,1	41,0	1,4	36,3	17,1	40,1
	освітлювальна												7	2	
	Всього												43	19	
	Їдальня підприємства														
	силова	19,0	2,0 - 30,0	142,5	15,0	0,4	1,0	0,3	60,6	19,9	11,0	1,4	81,8	19,9	84,2
	освітлювальна												4	1	
	Всього												85	21	
	Склад														
	силова	8,0	2,0 - 5,0	24,0	3,0	0,5	0,8	0,8	10,8	8,1	8,0	1,3	13,5	8,9	16,2
	освітлювальна												1	0	
	Всього												14	9	
	Цех виробництва меблевого щита														
	силова	21,0	1,0 - 35,0	186,2	35,0	0,6	0,8	0,9	74,2	56,5	11,0	1,3	92,7	56,5	108,6
	освітлювальна												7	2	
	Всього												100	58	
	Всього на стороні 0,4 кВ ДР	79,0	0,3 - 30	214,0	120	0,9	0,9	0,6	198,8	118,7	14	1,3	274,40	125,76	301,84
	БСК														
	З урахуванням БСК												274	126	
	Втрати в тра-рах Sn.тр = 630	1,0											3	28	
	Всього на шинах ТП №1 10 кВ	Kз = 0,5											277	153	317
	ТП№2														
	Цех склеювання та пресування														
	силова	45,0	2,0 - 36,0	452,4	18,0	0,6	0,8	0,9	205,1	152,9	25,0	1,3	256,4	152,9	298,5

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	освітлювальна												33	9	
	Цех первинного лісопилу														
	силова	23,0	1,0 - 35,0	228,2	35,0	0,6	0,8	0,9	95,2	72,0	13,0	1,3	119,0	72,0	139,0
	освітлювальна												13	4	
	Всього												132	76	
	Склад готової меблевої продукції														
	силова	13,0	3,0 - 8,0	44,0	3,0	0,6	0,8	0,8	27,7	20,8	11,0	1,3	36,8	20,8	42,3
	освітлювальна												0,5	0,1	
	Всього												37	21	
	Склад допоміжних матеріалів														
	силова	3,0	10,0 - 50,0	45,0	5,0	0,3	0,8	0,8	13,5	10,1	2,0	1,3	17,9	11,1	21,1
	освітлювальна												0,1	0,0	
	Всього												18	11	
	Цех примусової сушки виробів														
	силова	16,0	5,0 - 16,0	80,0	3,0	0,6	0,8	0,7	48,0	35,2	10,0	2,2	105,6	38,7	112,5
	освітлювальна												1	0	
	Всього												106	39	
	Зварювально-заготівельна дільниця														
	силова	20,0	1,0 - 11,0	66,0	11,0	0,4	0,6	1,3	27,0	35,1	12,0	1,2	33,1	35,1	48,2
	освітлювальна												3	1	
	Всього												36	36	
	Всього на стороні 0,4 кВ ДР	120,0	1 - 85	915,6	85,0	0,5	0,8	0,8	416,5	326,1	22	1,3	570,75	339,75	664,22
	БСК														
	З урахуванням БСК												571	340	
	Втрати в тра-рах Sn.тр = 630	1,0											8	44	
	Всього на шинах ТП №2 10 кВ	Kз = 1,1											578	384	694
	ТП№3														
	Цех аспірації та пакування														
	силова	30,0	1,0 - 40,0	188,5	40,0	0,6	0,8	0,9	87,8	65,9	9,0	1,3	109,7	72,5	131,5
	освітлювальна												7	2	
	Дільниця погонажних виробів														
	силова	21,0	1,0 - 35,0	186,2	35,0	0,6	0,8	0,9	74,2	56,5	11,0	1,3	92,7	56,5	108,6
	освітлювальна												2	1	

--

1.4 Побудова графіків електричних навантажень

Інформаційною базою для проведення подальших електроенергетичних розрахунків у проєкті слугують характеристики, отримані в результаті моделювання режимів електроспоживання. У межах роботи передбачено побудову двох базових залежностей: добового графіка розподілу активної потужності та річного графіка активного навантаження за тривалістю.

Моделювання зазначених залежностей здійснюється на основі референтних графіків електричних навантажень, що властиві підприємствам деревообробної галузі. Ці діаграми інтегрально відображають коливання споживання активної потужності протягом доби, а також у масштабі всього календарного року.

Математичний аналіз сформованого річного графіка за тривалістю дозволяє обчислити ключові інтегральні параметри енергосистеми заводу: річний обсяг електроспоживання, тривалість використання максимуму навантаження $T_{\text{і}}$, а також час максимальних втрат потужності τ . Зазначені показники є важливими для комплексного оцінювання енергетичної ефективності виробництва, прогнозування фінансових витрат на оплату енергоносіїв та техніко-економічного обґрунтування інженерних рішень.

Розрахунок графіків електричних навантажень приведений в таблицях 1.4, 1.5, а графіки на рисунках 1.1-1.5.

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

Таблиця 2.4. Активне навантаження

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	1106,7	221,3	1106,7	221,3
2	1106,7	239,6	1106,7	221,3
3	1106,7	239,6	1106,7	221,3
4	1106,7	239,6	1106,7	221,3
5	1067,6	223,9	1067,6	213,5
6	1236,9	247,4	1236,9	247,4
7	1302,0	260,4	1302,0	260,4
8	1302,0	260,4	1302,0	260,4
9	1171,8	247,4	1171,8	234,4
10	1171,8	247,4	1171,8	234,4
11	1171,8	247,4	1171,8	234,4
12	1171,8	247,4	1171,8	234,4
13	1171,8	247,4	1171,8	234,4
14	1171,8	247,4	1171,8	234,4
15	1171,8	247,4	1171,8	234,4
16	1171,8	247,4	1171,8	234,4
19	1302,0	260,4	1302,0	260,4
18	1302,0	260,4	1302,0	260,4
19	1171,8	247,4	1171,8	234,4
20	1171,8	239,6	1171,8	234,4
21	1171,8	239,6	1171,8	234,4
22	1171,8	239,6	1171,8	234,4
23	1106,7	234,4	1106,7	221,3
24	1106,7	234,4	1106,7	221,3
Wi	28214,3	5866,8	28214,3	5642,9

Таблиця 2.5. Реактивне навантаження без врахування КП

Години	Робочий період		Вихідний період	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	883,2	176,6	883,2	176,6
2	883,2	176,6	883,2	176,6
3	883,2	176,6	883,2	176,6
4	883,2	176,6	883,2	176,6
5	825,6	165,1	825,6	165,1
6	912,0	182,4	912,0	182,4
7	960,0	192,0	960,0	192,0
8	960,0	192,0	960,0	192,0
9	912,0	182,4	912,0	182,4
10	912,0	182,4	912,0	182,4
11	912,0	182,4	912,0	182,4
12	912,0	182,4	912,0	182,4
13	912,0	182,4	912,0	182,4
14	912,0	182,4	912,0	182,4
15	912,0	182,4	912,0	182,4
16	912,0	182,4	912,0	182,4
19	960,0	192,0	960,0	192,0
18	960,0	192,0	960,0	192,0
19	912,0	182,4	912,0	182,4
20	883,2	176,6	883,2	176,6
21	883,2	176,6	883,2	176,6
22	883,2	176,6	883,2	176,6
23	864,0	172,8	864,0	172,8
24	864,0	172,8	864,0	172,8
Wi	21696	4339,2	21696	4339,2

Загальна річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:

$$W_{\text{лр}} = W_{\text{зр}} + W_{\text{лр}} + W_{\text{зв}} + W_{\text{лв}} = 270857,664$$

Загальна річна витрата реактивної електричної енергії, квар*год:

$$V_{\text{лв}} = V_{\text{зр}} + V_{\text{лр}} + V_{\text{зв}} + V_{\text{лв}} = 208281,6$$

Час використання максимального навантаження, год:

$$T_{\text{м}} = 5349$$

Час максимальних втрат, год:

$$\tau_{\text{м}} = 3803$$

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

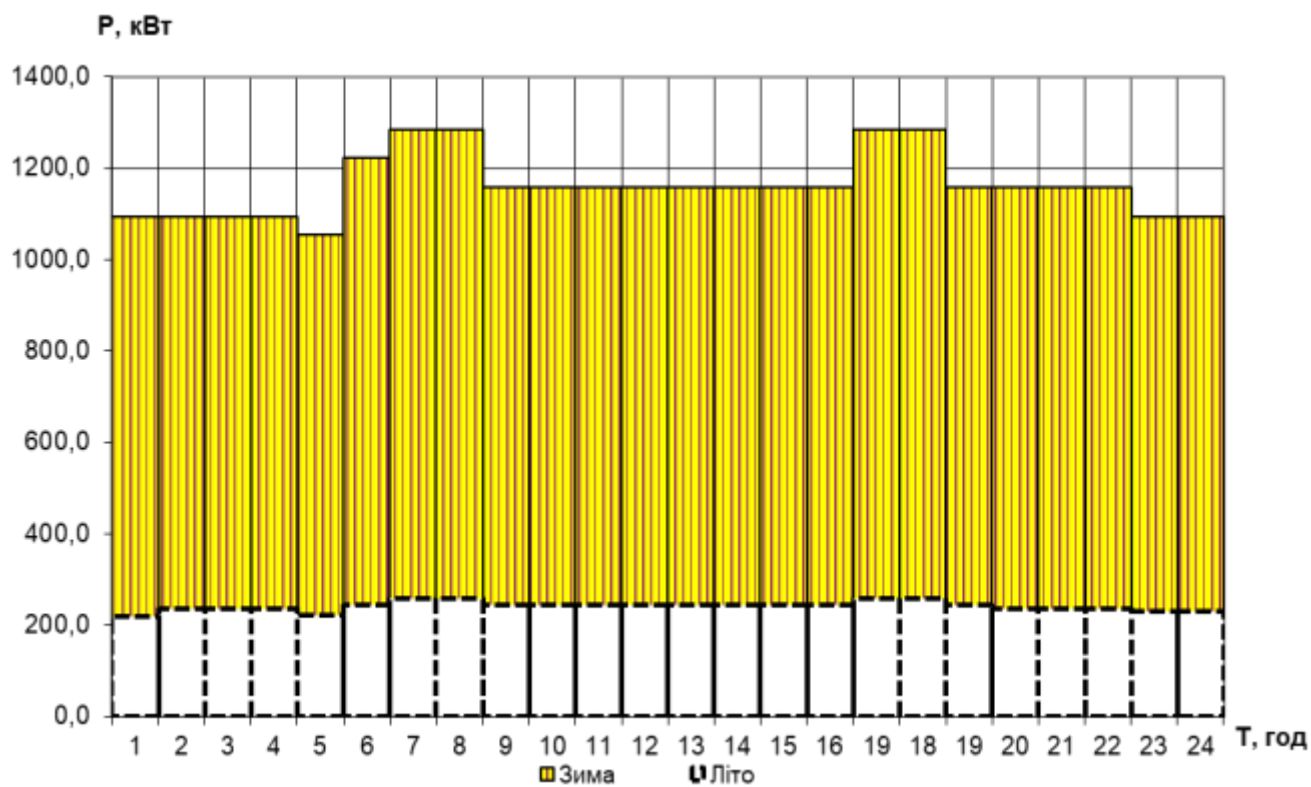


Рис. 1.1. Графік активного навантаження у робочі дні

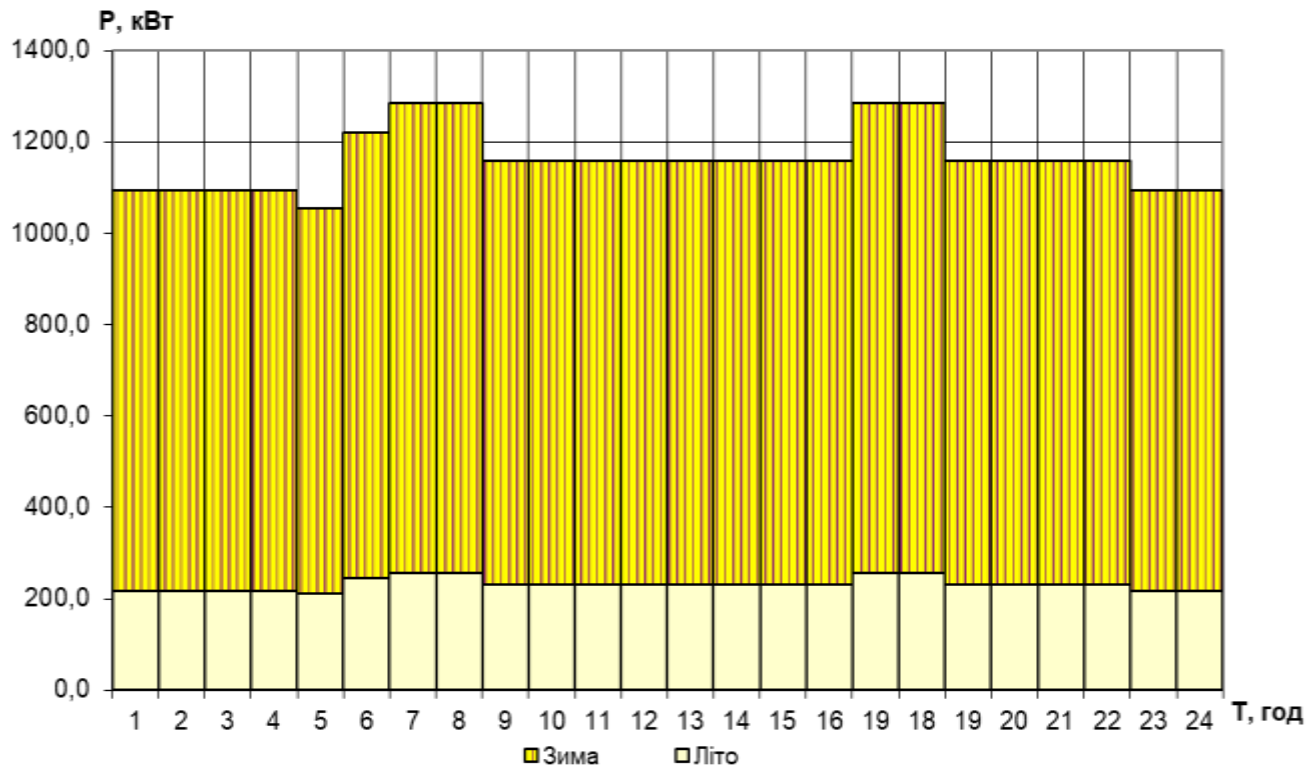


Рис. 1.2. Графік активного навантаження у вихідні дні

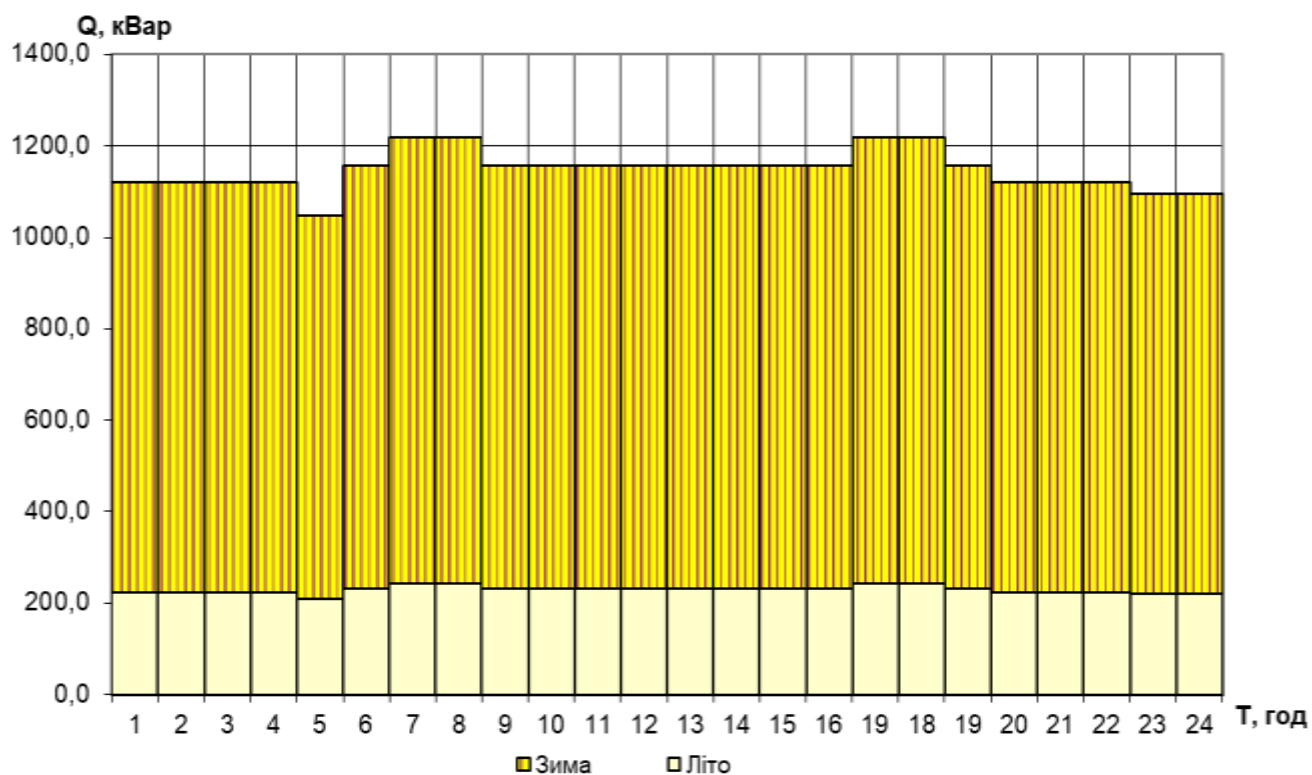


Рис. 1.3. Графік реактивного навантаження у робочі дні

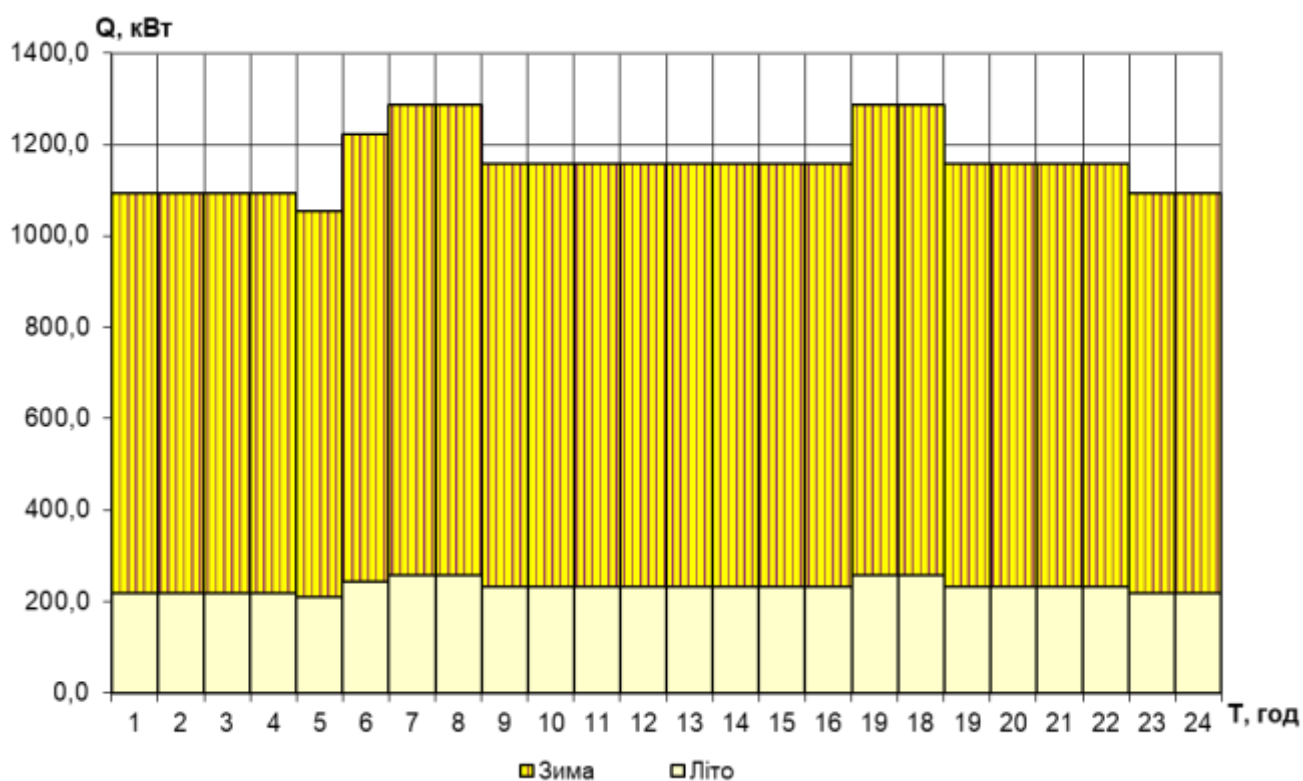


Рис. 1.4. Графік реактивного навантаження у вихідні дні

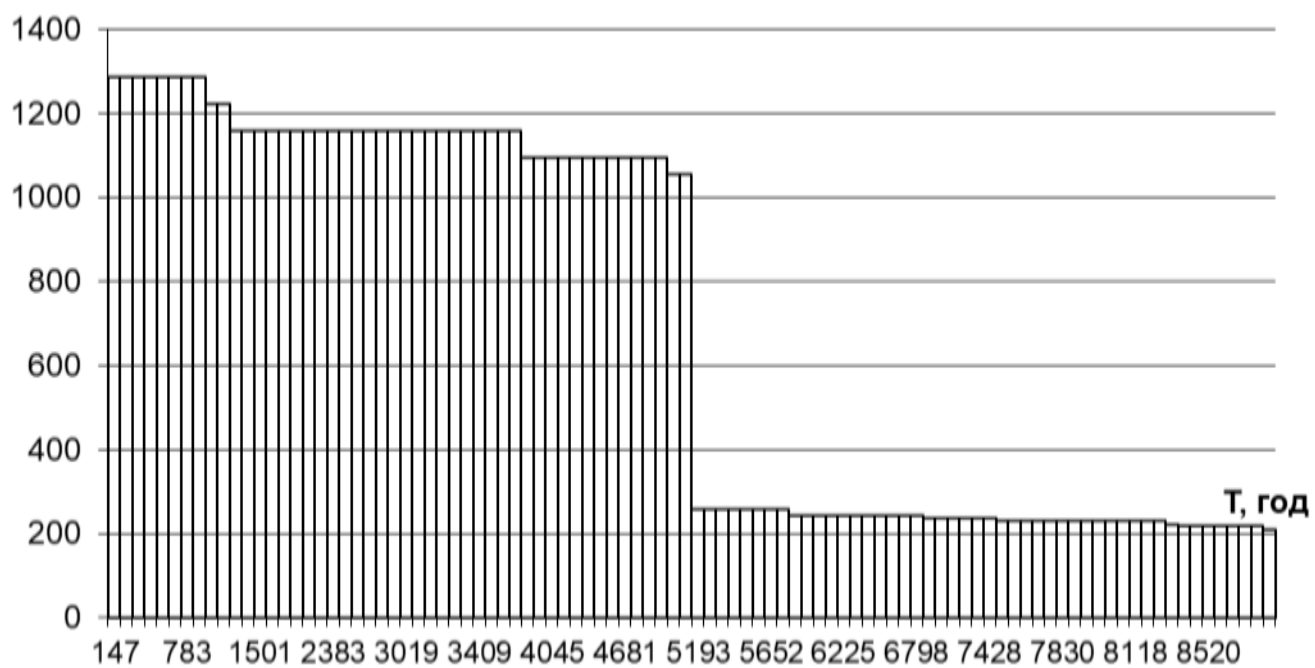


Рис. 1.5. Графік активного навантаження за рік

2. . ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Графічним відображенням просторового розподілу споживання енергії на території заводу є картограма електричних навантажень. Вона наноситься безпосередньо на генеральний план підприємства у вигляді кіл, площі яких у визначеному масштабі пропорційні розрахунковій потужності відповідних виробничих підрозділів. Центри цих кіл суміщають із умовними центрами електричних навантажень (ЦЕН) окремих цехів.

Для геометричної побудови картограми та коректного відображення енергетичного балансу об'єкта для кожної ділянки обчислюється індивідуальний радіус кола. Масштабування виконується таким чином, щоб геометрична площа фігури відповідала повній розрахунковій потужності цеху S_p , кВА. Для прикладу наведено побудову для автономної біокотельні:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{78}{3,14 \cdot 0,1}} = 15,9 \text{ см}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{пов}} \cdot 360^0}{\pi \cdot R_1^2 \cdot m} = \frac{78 \cdot 360}{3,14 \cdot 15,9^2 \cdot 0,1} = 4,67^0$$

Положення центру об'єкту на координатній площині

$$X_1 = 92 \text{ м} \quad Y_1 = 87 \text{ м}$$

$$P_1 \cdot X_1 = 78 \cdot 92 = 7347 \text{ кВт м}$$

$$P_1 \cdot Y_1 = 78 \cdot 87,5 = 6950 \text{ кВт м}$$

Аналогічні розрахунки проводяться і у всіх інших випадках. Результати розрахунків зведено в табл. 2.

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

**Таблиця 2. Дані для побудови картограми електричних навантажень та
розрахунку умовного центру**

№	Назва підрозділу	Pp,	m	R, мм	a	x, м	y, м	P*x, кВт м	P*y, кВт м
1	Адміністративно-побутовий корпус	76,95	0,1	15,65	35,79	110	25	8464	1924
2	Адміністративно-конструкторський корпус	101,92	0,1	18,01	23,55	200	120	20384	12230
3	Їдальня	84,06	0,1	16,36	15,26	185	175	15552	14711
4	Завод віконних систем	150,02	0,1	21,85	32,07	250	130	37504	19502
5	Цех натуральних меблів	105,08	0,1	18,29	24,51	100	110	10508	11559
6	Завод клеєних виробів	313,81	0,1	31,61	37,34	110	110	34519	34519
7	Склад	5,89	0,1	4,33	54,44	220	160	1296	943
8	Цех нестандартних меблів	77,31	0,1	15,69	10,95	140	110	10824	8504
9	Лісопилльний цех	99,72	0,1	17,82	26,43	60	150	5983	14958
10	Цех доски полу	22,20	0,1	8,41	31,59	200	120	4440	2664
11	Котельня	78,90	0,1	15,85	2,21	170	100	13413	7890
12	Побутові приміщення	2,95	0,1	3,07	55,38	50	60	148	177
13	Гараж	24,45	0,1	8,82	19,81	200	110	4890	2689
14	Конвекторний цех	105,73	0,1	18,35	4,43	90	140	9516	14802
15	Зварювальна дільниця	21,35	0,1	8,24	48,04	110	90	2348	1921
16	Цех примусової сушки	64,62	0,1	14,34	4,56	90	180	5816	11631
17	Склад	35,59	0,1	10,64	4,60	190	120	6763	4271
18	Склад атмосферної сушки	42,62	0,1	11,65	1,02	50	180	2131	7671
	Разом	1413						194496	172567

3. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

3.1. Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

Проектування раціональної структури зовнішнього електропостачання промислового об'єкта передбачає обґрунтування величини живильної напруги та вибір оптимальної конфігурації мережі. Цей процес підпорядкований комплексу взаємопов'язаних чинників, ключовими серед яких є:

- величина сумарної розрахункової потужності підприємства;
- номінальні рівні напруги наявних у районі проектування джерел енергопостачання;
- просторове видалення об'єкта від пунктів зв'язку з енергосистемою.

При визначенні класу напруги для системи зовнішнього живлення зазвичай здійснюється спільний аналіз технічних обмежень та техніко-економічних показників. На етапі попереднього проектування для експрес-оцінки доцільно використовувати спеціалізовані номограми (наприклад, залежності економічно вигідної напруги від передаваної потужності та відстані).

Використання таких графічних залежностей дозволяє оперативно відсіяти завідомо неефективні варіанти без виконання громіздких проміжних обчислень. Проте остаточне інженерне рішення приймається лише після детального розрахункового порівняння конкурентоспроможних альтернатив.

У роботі як найближче і єдине джерело централізованого електропостачання заводу розглядається опорна міська підстанція з номінальною напругою 10 кВ. Оскільки розрахункова потужність деревообробного підприємства становить 1618 кВА, а параметри джерела

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

живлення є жорстко заданими технічними умовами, єдиним технічно та економічно доцільним варіантом для реалізації схеми зовнішнього електропостачання є використання напруги 10 кВ.

3.2. Вибір напруг та схем внутрішнього електропостачання

Виконаємо порівняння радіальної та магістральної схем електропостачання заводу.

Варіант №1.

Живлення споживача здійснюється кабельною лінією (КЛ1) 10 кВ безпосередньо від шин 10 кВ центрального розподільчого пристрою $U_H = 10$ кВ; довжина кабельної лінії $l_{КЛ1} = 0,05$ км.

$$I_p = \frac{S_p}{N \sqrt{3} U_H} = \frac{500}{1 \cdot 1,73 \cdot 10} = 28,9$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_p / J_{ек} = 28,9 / 1,1 = 26,27 \text{ мм}^2$$

Допустимий довготривалий струм навантаження з урахуванням кількості кабелів, що працюють в одній траншеї:

$$I_{доп}' = I_{доп} \cdot K_n = 115 \cdot 1,0 = 115 \text{ А};$$

де $K_n = 1$, для $n_{кл} = 1$

Коефіцієнт попереднього завантаження кабеля

$$K_3 = I_p / (n \cdot I_{доп}') = 28,9 / (1 \cdot 115) = 0,25$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$I_{авар}' = n \cdot I_{доп}' \cdot K_{а.п} = 1 \cdot 115 \cdot 1,35 = 156 > I_{р.ав} = 29 \text{ А}$$

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

Отже живлення забезпечуватиметься нормально.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta \mathcal{E}_1 = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau = 0,035 \cdot 3803 = 133,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{\text{1км}} \cdot l_{\Sigma} \cdot K_3^2 = 11 \cdot 0,1 \cdot 0,3^2 = 0,035 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_{\Sigma} = l_{\text{КЛ}} \cdot n = 0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ км}$$

$$C_{\text{втр}} = \Delta \mathcal{E}_1 \cdot C_0 = 133,2 \cdot 12,5 = 1665,0 = 1,66 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами $C_0 = 12,5$ грн/кВт·год.

Результати по інших лініях приводимо в таблицях 3.1-3.3.

Таблиця 3.1. Розрахунок параметрів кабельних ліній радіальна схема

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	I _p , А	I _{ф.р.} , А	F _{ек} , мм ²	F _{ст} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _з
КЛ-1	500,9	1,0	29	29	26	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,3
КЛ-2	903,5	2,0	26	52	24	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,1
КЛ-3	421,0	1,0	24	24	22	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,2
КЛ-4	1772,0	2,0	51	102	47	50	ААШВ(3 × 50)	140	0,2

Таблиця 3.2 . Розрахунок втрат електричної енергії в кабельної мережі схеми

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	I _p , А	K _з	l, км	ΔP _л , кВт	ΔE _л , кВт*год	C _о , грн/кВт	C _{втр} , тис. грн
КЛ-1	500,9	1	29	0,3	0,05	0,035	133	12,5	10,6
КЛ-2	903,5	2	26	0,1	0,2	0,057	217	12,5	12,0
КЛ-3	421,0	1	24	0,2	0,4	0,196	751	12,5	14,6
КЛ-4	1772,0	2	51	0,2	0,06	0,052	198	12,5	11,0
Всього							1304		46,2

									Арк.
									34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					

Таблиця 3.3. Розрахунок параметрів кабельних ліній

№ КЛ на схемі	S _p , кВА	n	I _p , А	I _{ф.р.} , А	F _{ек} , мм ²	F _{ст} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _з
М1	1771	2,00	51	102	47	50	ААШВ(3 × 50)	140	0,2
М1-1	1404	2,00	41	81	37	50	ААШВ(3 × 50)	140	0,2
М1-2	501	1,00	29	29	26	35	ААШВ(3 × 35)	115	0,3

Таблиця 3.4. Розрахунок втрат електричної енергії в кабельній мережі схеми

№ КЛ на схемі	S _p , кВА	n	I _p , А	K _з	l, км	ΔР _л , кВт	ΔЕ _л , кВт*год	C _о , грн/кВт	C _{втр} , т. грн
М1	1771	2	51,2	0,18	0,11	0,096	366,2	12,5	11,8
М1-1	1403	2	40,6	0,14	0,2	0,109	417,9	12,5	12,0
М1-2	500	1	28,9	0,25	0,02	0,014	53,2	12,5	10,3
						0,219	837,4		34,0

Таблиця 3.5. Розрахунок капітальних вкладень

№ п/п	Найменування об'єкту	Од.	Кіл.	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
І варіант	Шафи КРУ з вимикачами	шт	2	780	1560
	Кабельна лінія типу			0	0
	ААШВ(3 × 35)	км	0,65	440	286
	ААШВ(3 × 50)	км	0,06	450	27
	Траншея	км	0,71	199	141,29
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї				454,3
	Всього				2468,59
ІІ варіант	Шафи КРУ з вимикачами	шт	2	780	1560
	ААШВ(3 × 35)	км	0,02	440	8,8
	ААШВ(3 × 50)	км	0,31	450	139,5
	Траншея	км	0,33	199	65,67
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї				214
	Вимикачі навантаження на ТП	шт	4	110	440,0
	Всього				2427,97

Таблиця 3.3. Розрахунок поточних витрат

Найменування об'єкту	K_i , тис грн	P_a , %	C_a , %	P_e , %	C_e , %	C_p , тис грн
Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються	1560	15	234	5	78	312
Кабельні лінії з урахуванням траншеї	908,6	5	45,43	5	45,43	90,86
Всього	2468,6		279,43		123,43	402,86
Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	1560	15	234	5	78	312
Кабельні лінії з урахуванням траншеї	428	5	21,4	5	21,4	42,8
Всього	1988		255,4		99,4	354,8

Таблиця 3.3. Розрахунок приведених витрат по варіантах

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення	2469	2428
Поточні затрати	402,8	354,8
Вартість втрат електроенергії	34	46
Приведені витрати	732	694,4

З таблиці 3.7 видно, що витрати на два варіанти практично рівноцінні, тому приймаємо радіальну схему електропостачання, що має більшу надійність електропостачання.

4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розрахункові затрати на компенсацію визначають:

$$Z = E_H \cdot K + C \quad (4.1)$$

де $E_H = 0,12$ – нормативний коефіцієнт відрахування від капітальних вкладень; K – капітальні вкладення, грн.; C – вартість втрат електроенергії.

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв в високовольтних та низьковольтних мережах

Сумарне споживання:

$$P_p = P_v + P_n + \Delta P_{tr} = 0 + 1292 + 10 = 1302 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_v + Q_n + \Delta Q_{tr} = 0 + 889 + 72 = 960 \text{ квар}$$

Економічно доцільна потужність, що може бути передана від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_z = 1302 \cdot 0,15 = 193,05 \text{ квар}$$

Тоді сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається з умови балансу реактивної потужності:

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 960 - 193 = 723 \text{ квар}$$

Визначаємо мінімальну кількість трансформаторів :

$$N_o = P_n / (K_z \cdot S_n \text{ тр}) = 1292 / (0,7 \cdot 630) = 3,1$$

Приймаємо $N_o = 4$

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

Варіант I: $N = N_0 = 4$

Реактивну потужність, що передана з мережі 10 кВ через цехові трансформатори:

$$Q_{\Sigma} = \sqrt{(n S_m \cdot K_3)^2 - P_{\Sigma}^2} = \sqrt{(4 \cdot 630 \cdot 0,7)^2 - 1292^2} = 1165 \text{ кВар}$$

Потужність компенсуючих пристроїв які потрібно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на шинах кожної ТП, продимо приклад розрахунку для ТП1:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 290 - 229 = 61,2 \text{ квар}$$

Уточнюємо значення $Q_{\text{кн}}$ враховуючі навантаження по кожному ТП окремо, результати розрахунку приводимо в таблиці 4.1, приведеної нижче:

Таблиця 4.1. Вибір потужності компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ

№ ТП	$N_{\text{тр}}$	$P_{\text{нн}}$	$Q_{\text{нн}}$	$Q_{\text{п}}$	$Q_{\text{БК}}$	$N_{\text{БК}}$	$Q_{\text{кн}}$	Тип батареї конденсат.	K_3	S_p
ТП1	1	377	290,0	229	61	1	225	КРМ-0,4-225-37,5	0,6	383
ТП2	2	647	562,0	599	0	2	225	КРМ-0,4-225-37,5	0,5	657
ТП3	1	301	261,0	322	0	1	225	КРМ-0,4-225-37,5	0,5	303

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 1302 - 900 - 193,05 = 123,95 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{кв}} = 150 \text{ кВар}$$

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

$$\Delta P_{\text{ТП}} = Q_{\text{п}}^2 \cdot R_{\text{ек}} / U_{\text{н}}^2 = 223^2 \cdot 409 / 10 = 0,2 \text{ кВт}$$

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

$$R_{ек} = (\Delta P_{кз} * U^2_{н}) / (N_{тр} * S_{нтр}^2) = (6,5 * 10^2 / (4 * 630)) = 409,423 * 10^{-6} \text{ кОм}$$

Втрати активної потужності у низьковольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{кв} = \Delta P_{пит} * Q_{кв} = 0,0045 * 150 = 0,68 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності у високовольтних батареях конденсаторів:

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{пит} * Q_{кн} = 0,003 * 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

Вартість низьковольтних конденсаторних батарей:

$$K_{кн} = N_{бк}^{0,4i} K_{кку}^{0,4i} = 4 * 26,4 = 105,556 \text{ тис. грн.}$$

Вартість високовольтних конденсаторних батарей:

$$K_{кв} = N_{бк}^{10i} K_{кку}^{10i} = 1 * 6,36 + 0 * 26,8 = 6,355 \text{ тис. грн.}$$

Вартість комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{ктп} = N_{тп(1)} * K_{тп(1)} + N_{тп(2)} * K_{тп(2)} = 2 * 675 + 1 * 12735 = 3820 \text{ тис. грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З_1 = E_n * (K_{кн} + K_{кв} + K_{ктп}) + (\Delta P_{кн} + \Delta P_{кв} + \Delta P_{тп}) * C_o * \tau =$$

$$0,12 * (105,56 + 6,36 + 3820) + (2,7 + 0,68 + 0,2) * 12,5 * 3803 = 693 \text{ тис. грн.}$$

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

Таблиця 4.2. Баланс реактивної потужності по варіантам

Показники	Варіант I	Варіант II
Потужність КП в мережі 0,4 кВ	900	0
Потужність КП в мережі 10 кВ	150	1050
Споживання реактивної потужності	193	193
Всього за умовою балансу	1243	1243
Затрати на компенсацію	693	909

Отже, приведені затрати на компенсацію по першому варіанту найменші, тому і приймаємо його для подальшого розрахунку.

5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА

В даній роботі вибір трансформатора не виконується, тому що для живлення використовується напруга 10 кВ.

Результати розрахунків вибору ТП зводимо до таблиці 5.1.

Таблиця 8.1. Вибір потужності та місця розташування цехових трансформаторів

№ ТП	N, шт	$S_{роз},$ кВ·А	Місце розташування	Марка	K_3	$S_{ном} >$ $> S_p / K_1$	$S_{ном} >$ $> S_p / K_2$	Тип КТП
1	1	394	АПК	ТСЗ- 630- 10/0,4	0,61	$630 > 358$	$630 > 282$	Вбудована
2	2	667	ЦСП	ТСЗ- 630- 10/0,4	0,54	$630 > 303$	$630 > 238$	Вбудована
1	1	311	ЦАП	ТСЗ- 630- 10/0,4	0,5	$630 > 283$	$630 > 221$	Прибудована

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

6.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Аналітичне визначення параметрів струмів короткого замикання (КЗ) базується на розробці вихідної однолінійної розрахункової схеми. Вона охоплює всі наявні джерела енергопостачання, складники системи розподілу електричної енергії (силові трансформатори, повітряні та кабельні лінії, реактори), а також комутаційну інфраструктуру, яка розташована на шляху від джерела до ймовірної точки пошкодження. При цьому великі синхронні та асинхронні електродвигуни, а також синхронні компенсатори розглядаються як додаткові джерела живлення, що підживлюють точку КЗ у початковий момент часу.

Безпосередньо перед початком математичних обчислень на розрахунковій схемі чітко фіксуються координати характерних точок, у яких необхідно визначити параметри аварійних режимів (рис. 6.1).

Наступним кроком є трансформація розрахункової схеми в електричну схему заміщення (рис. 6.2). У цій моделі всі реальні фізичні елементи мережі заміщуються їхніми еквівалентними активними й реактивними опорами, а джерела енергії — відповідними значеннями електрорушійних сил (ЕРС). Такий підхід дозволяє адаптувати складну топологію реальної мережі до вигляду, зручного для подальшого аналізу.

Сформована схема заміщення підлягає послідовному аналітичному спрощенню (згортанню). Шляхом послідовно-паралельного об'єднання індивідуальних опорів та ЕРС отримують результуючий еквівалентний опір відносно розглядуваної точки аварійного режиму. Процес мінімізації структури схеми дозволяє значно знизити трудомісткість розрахунків і оперативно обчислити базові амплітудні та діючі значення струмів

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

короткого замикання.

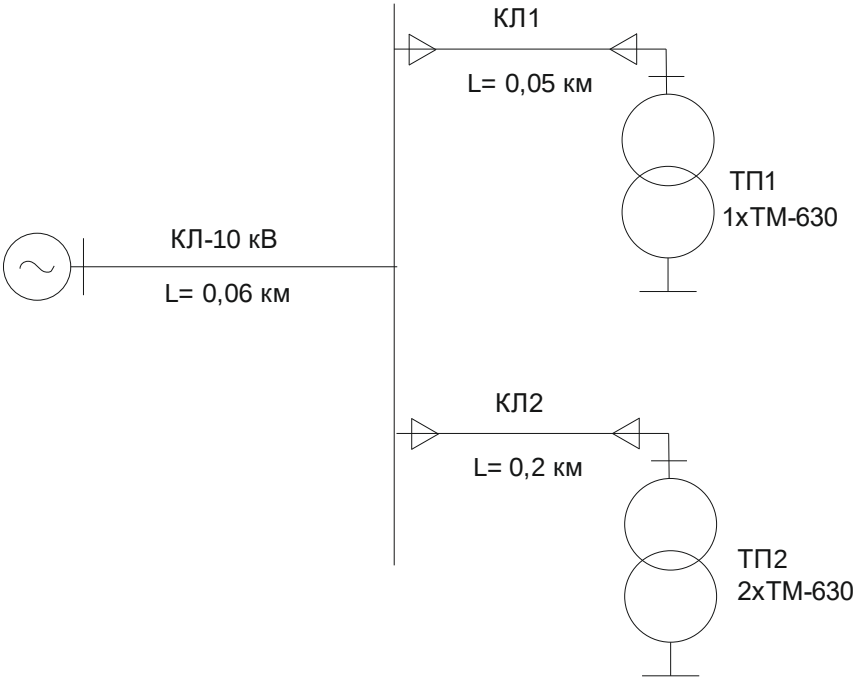


Рис. 6.1. Схема для розрахунку струмів КЗ

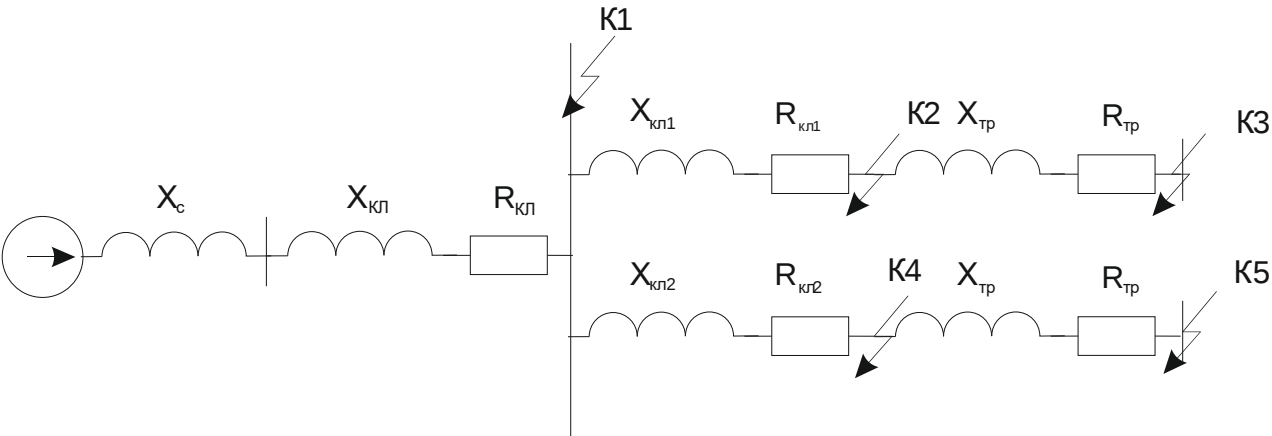


Рис.6.2 Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Приймаємо базисну потужність $S_б = 105$
в точці К1 $U_{б1} = 10,5$ кВ; в точці К2 $U_{б2} = 10,5$ кВ; в точці К3 $U_{б3} = 0,4$ кВ.

Визначаємо відносні опори елементів схеми КЗ:

Реактивний опір системи:

$$X_c = S_б / S_{кз} = 105 / 42 = 2,5$$

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$X_{л1} = X_o * L * S_б / U_{б1}^2 = 0,95 * 0,1 * 105 / 11^2 = 0,05$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ до ЦРП :

$$R_{л1} = R_o * L * S_б / U_{б1}^2 = 0,06 * 0,1 * 105 / 11^2 = 0,00$$

Для кабельної лінії напругою 10 кВ визначаємо:

Реактивний опір лінії напругою 10 кВ від ЦРП до ТП:

$$X_{кл1} = X_o * L * S_б / U_{б2}^2 = 0,95 * 0,05 * 105 / 11^2 = 0,045$$

Активний опір лінії напругою 10 кВ:

$$R_{кл1} = R_o * L * S_б / U_{б2}^2 = 0,06 * 0,05 * 105 / 11^2 = 0,003$$

Опір трансформатора напругою 10/0,4 кВ

$$R_{тп} = \Delta P_M * S_б / S_{2н.тр} = 10,00 * 105000 / 630^2 = 2,6$$

$$X_{тр} = \sqrt{(U_k/100)^2 - (\Delta P_M / S_{н.тр})^2} * S_б / S_{н.тр} =$$

$$\sqrt{(5,55 / 100)^2 - (10,00 / 630)^2} * 105000 / 630 = 8,9$$

Визначаємо результуючий еквівалентний опір до розрахункової точки КЗ.

Спростуємо схему заміщення за такою послідовністю:

1) результуючий опір до точки К1

$$R_{к1} = R_{л1} = 0,00$$

$$X_{к1} = X_c + X_{л1} = 2,50 + 0,054 = 2,55$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{л1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{0,003^2 + 2,554^2} = 2,55$$

2) результуючий опір до точки К2

$$R_{к2} = R_{к1} + R_{кл1} = 0,00 + 0,0 = 0,01$$

$$X_{к2} = X_{к1} + X_{кл1} = 2,554 + 0,05 = 2,60$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{0,01^2 + 2,60^2} = 2,60$$

3) результуючий опір до точки К3

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

$$R_{K3} = R_{TP} + R_{K2} = 2,6 + 0,0 = 3$$

$$X_{K3} = X_{TP} + X_{K2} = 8,9 + 2,6 = 11,46$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{2,7^2 + 11,5^2} = 11,8$$

Визначаємо базисні струми в заданих точках КЗ:

В точці К1

$$I_{61} = S_6 / \sqrt{3} * U_{61} = 105 / (1,73 * 10,5) = 5,8 \text{ кА}$$

В точці К2

$$I_{62} = S_6 / \sqrt{3} * U_{62} = 105 / (1,73 * 10,50) = 5,8 \text{ кА}$$

В точці К3

$$I_{63} = S_6 / \sqrt{3} * U_{63} = 105 / (1,73 * 0,40) = 151,7 \text{ кА}$$

Визначаємо трифазні струми КЗ. В точці К1 діюче значення періодичної складової струму складатиме

$$I_{K1} = I_{61} / Z_{K1} = 5,8 / 2,55 = 2,2 \text{ кА.}$$

$$I'' = I_{K1} = 2,2 \text{ кА;}$$

Амплітудне значення струму на шинах напругою 10 кВ

$$i_{y1} = \sqrt{2} * k_y * I_{K1} = 1,4 * 1,2 * 2,263 = 3,8 \text{ кА}$$

Розрахунок для інших точок схеми зводимо до таблиці 6.1

Таблиця 6.1. Результати розрахунку струмів КЗ

Точка схеми	R_{Σ}	X_{Σ}	Z_{Σ}	$I_{K3}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$	$I_{K3(2)}, \text{кА}$
К2	0,0	2,6	2,6	2,2	3,7	2,2
К3	2,7	11,5	11,8	12,9	27,1	2,0
К4	0,0	2,7	2,7	2,1	3,6	1,8
К5нн	2,7	11,6	11,9	12,8	26,8	11,1
ТПЗ	0,0	2,9	2,9	2,0	3,3	1,7
ТПЗнн	2,7	11,8	12,1	12,6	26,4	10,9

6.2. Вибір високовольтного обладнання

Кабель до ТП №1.

Площа поперечного перерізу кабелю :

$$F_e = I_p / (n J_{ек}) = 28,9 / (1 \cdot 1,1) = 26,3 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Де } I_p = \frac{S_{\phi.p.}}{\sqrt{3}U_n} = 500/1,73 \cdot 10 = 28,9 \text{ А}$$

Превірка кабеля за допустимим струмовим навантаженням:

$$I_{ав} = K_{п} K_{ав} I_{доп} = 1 \cdot 1,15 \cdot 115 = 132,25 \text{ А} > I_p,$$

$$K_{ав} = 1,15.$$

Мінімальна площа поперечного перерізу кабеля за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \sqrt{B_k / K} = \sqrt{7,6 / 94} = 25 \text{ мм}^2,$$

де K - термічний коефіцієнт; для алюмінієвих кабелів $K = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$;

B_k - тепловий імпульс:

$$B_k = I'^2 (t_b + t_{рз \max}) = 2,21^2 (0,05 + 1,05) = 7,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

За умовами термічної стійкості приймаємо кабель ААШв - 35 мм² з допустимим струмом $I_{доп} = 115 \text{ А}$.

Таблиця 6.2 Вибір високовольтних кабельних мереж

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабеля	K _{ан}	K _{ан} K _n I _{доп} , А
ТП1	1	501	29	29	26	15	41	1-ААШв-10(3х35)	-	132,25
ТП2	2	903	26	52	24	15	41	2-ААШв-10(3х35)	1,35	132,25
ТП3	1	420	24	24	22	15	41	1 - ААШв-10(3х35)	-	132,25

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

Вибір вимикачів.

Таблиця 6.3. Вибір ввідних вимикачів 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ВР1-20/630
1. $U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
2. $I_{роб\max} \leq I_{ном}$	$I_{роб\max} = 101 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
3. $I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	$I_{нт} = I'' = 2,3 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
4. $\sqrt{2} I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{отк.ном} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} I_{нт} + i_{ат} = \sqrt{2} 2,29 + 0 = 3,5 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{отк.ном} (1 + \beta_n) = \sqrt{2} \cdot 20 (1 + 40/100) = 40 \text{ кА}$
5. $I'' \leq I_{дип}$	$I'' = 29 \text{ кА}$	$I_{дип} = 20 \text{ кА}$
6. $i_{уд} \leq i_{дип}$	$i_{уд} = 3,9 \text{ кА}$	$i_{дип} = 52 \text{ кА}$
7. $B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	$B_k = 6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 20^3 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Приймаємо вимикач ВР1-20/630.

Всі вимикачі 10 кВ встановлені в типові шафи КРП внутрішньої установки серії КУ-10.

Вибір обмежувачів перенапруги

Установка обмежувачів перенапруги необхідна на усіх вводах силових трансформаторів, при цьому не допустимо встановлення комутаційних апаратів між розрядниками і вводом. Обмежувачі перенапруги підключають до контуру заземлення підстанції по найближчому шляху.

Таблиця 6.4. Вибір обмежувачів перенапруг.

Найменування захисного обладнання	Група (по ДЕСТ 16357-94)
Встановлюються в КРП-10кВ	ОПНС-10

Вибір трансформаторів власних потреб

Потужність трансформаторів власних потреб обирається по навантаженням власних потреб з урахуванням коефіцієнтів завантаження та одночасності.

Таблиця 6.5 Навантаження власних потреб.

Вид споживача	Встановлена потужність		cos φ	tg φ	Навантаження	
	кВт х кількість	Всього, кВт			P _{вст} , кВт	Q _{вст} , кВт
Підігрів комірок	1х8	8	1	0	8	-
Освітлення, вентиляція	3	3	1	0	3	-
Навантаження оперативних кіл	2	2	1	0	2	-
Всього:					13	0

Розрахункова потужність споживачів власних потреб:

$$S_{\text{розр}} = K_c \cdot \sqrt{(P_{\text{вст}} + Q_{\text{вст}})} = 0,8 \sqrt{(13^2 + 0^2)} = 10,4 \text{ кВА}$$

Обираємо 2 трансформатори ТМ – 16/10 з такими параметрами:

$S_{\text{ном}} = 16 \text{ кВА}$, $U_{\text{вн}} = 10 \text{ кВ}$, $U_{\text{нн}} = 0,4 \text{ кВ}$, $\Delta P_{\text{xx}} = 0,11 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{к}} = 0,65 \text{ кВт}$, $U_{\text{к}} = 4,5\%$, $I_{\text{xx}} = 4\%$.

При відключенні одного трансформатора, другий буде завантажений на:

$$K_z = (10,4/16) \cdot 100 = 65 \text{ \%}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		48

7. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕНЕРГОГОСПОДАРСТВА ЗАВОДУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ БІОКОТЕЛЬНІ

7.1. Техніко-економічне обґрунтування вибору джерела теплопостачання

При розробці системи енергозабезпечення деревообробного підприємства вибір між традиційним газопостачанням та автономною біокотельнею здійснюється на основі аналізу капітальних витрат та експлуатаційної ефективності. Газове обладнання малої потужності (до 200 кВт) має простішу конструкцію та нижчу ринкову вартість порівняно з твердопаливними аналогами. Проте для індустріальних об'єктів великої потужності (понад 400 кВт), де застосовуються складні високотехнологічні або конденсаційні системи, капітальні вкладення в газові котельні суттєво зростають.

Аналіз ринкової вартості котельних агрегатів різного класу потужності наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Порівняльний аналіз вартості газового та твердопаливного котельного обладнання, грн

Клас потужності обладнання	Мінімальна середня ціна	Середня ринкова ціна	Максимальна ціна
Газові котли:			
Мала потужність (до 200 кВт)	27 709	70 000	91 886
Велика потужність (від 400 кВт)	129 066	150 000	295 000
Твердопаливні котли:			
Мала потужність (до 200 кВт)	39 200	78 167	134 750
Велика потужність (від 400 кВт)	76 450	110 882	188 870

Для деревообробного заводу використання твердопаливних котлів великої потужності є фінансово вигіднішим уже на етапі закупівлі основного обладнання. Головним чинником вибору біопаливних котлів є наявність безкоштовної власної сировини (деревних відходів фрезерування, розпилювання та сушіння), що дозволяє мінімізувати операційні витрати порівняно з купівлею природного газу, ціни на який мають стрімку тенденцію до зростання.

Порівняльні енергетичні та експлуатаційні параметри котлів середньої потужності (200–400 кВт) наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2. Порівняльна інженерно-енергетична характеристика котлів

Параметри порівняння	Газові котли	Біопаливні котли
Коефіцієнт корисної дії (ККД), %	92	87
Нижча теплотворність палива, Гкал/т (МДж/кг)	8,0 (33,49)	4,5 (18,84)
Теплотворність з урахуванням ККД, Гкал/т (МДж/кг)	7,3 (30,81)	3,915 (16,39)
Базова вартість палива, грн/тис. м ³ (грн/т)	4 660	1 000
Собівартість виробленої теплової енергії, грн/Гкал	638,4	222,0
Екологічні чинники (викиди в атмосферу)	\$CO_2\$, \$NO_x\$, бензопірен	Зола, незначний вміст \$SO_2\$
Ключові технологічні переваги	Відсутність потреби у сховищах палива	Повна автономність, використання відходів
Питомі інвестиції на 1 Гкал потужності (потужні / менш потужні), грн	177 / 350	180 / 430 (ручна) 280 / 840 (автоматична)

7.2. Оцінка паливного балансу та потенціалу енергозбереження

Для визначення економічного ефекту від заміщення викопного палива відновлюваними біоресурсами проведено аналіз витрат різних видів палива для генерації 1 Гкал теплової енергії (табл. 7.3).

Таблиця 7.3. Енергетичні витрати палива для генерації 1 Гкал тепла

Вид палива	ККД котла, %	Теплотворність палива, Гкал/т PDF	Витрата палива на 1 Гкал з урахуванням ККД, т PDF	Питома вартість палива, грн/т (грн/тис.м³) PDF	Вартість 1 Гкал теплової енергії, грн PDF
Природний газ	92	8,0	0,136	4 750	535,9
Дизельне паливо	65	6,3	0,244	8 350	861,5
Вугілля	60	5,0	0,333	1 400	288,5
Торф	75	2,9	0,460	950	245,7
Деревні брикети	87	3,5	0,328	700	174,0
Деревна тріска	70	2,8	0,510	800	200,0
Деревні пелети	87	4,5	0,255	1 000	193,3
Агropелети (солома)	88	3,6	0,315	800	195,6

Розрахунок сумарного економічного ефекту від модернізації котельної виконується для нормативного опалювального сезону деревообробного заводу тривалістю 186 днів при 14-годинній робочій зміні. Інтегральне тепловиділення для умовного 1 МВт встановленої потужності за цей період становить 2239 Гкал.

Економія фінансових ресурсів при заміщенні природного газу деревними пелетами обчислюється за формулою:

$$DE_{\text{газ-пел}} = (C_{\text{газ}} - C_{\text{пел}}) \cdot Q_{\text{рік}} = (535,9 - 193,3) \cdot 2239 = 767023,7 \text{ грн/МВт}$$

При заміщенні дизельного палива власною деревною тріскою річний економічний ефект становить:

$$DE_{\text{диз-тріска}} = (C_{\text{диз}} - C_{\text{тріска}}) \cdot Q_{\text{рік}} = (861,5 - 200,0) \cdot 2239 = 1481118,0 \text{ грн/МВт}$$

Матриця потенційного річного заощадження коштів (грн) на кожен 1 МВт встановленої теплової потужності представлена в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4. Матриця річної економії коштів при переході на біопаливо, грн/МВт

Вихідне паливо	Торф	Деревні брикети	Деревна тріска	Деревні пелети	Агropелети
Природний газ	649 795	810 312	752 097	767 024	762 048
Дизельне паливо	1 378 847	1 539 364	1 481 148	1 496 076	1 491 100
Вугілля	-173 951	-13 434	-71 649	-56 722	-61 698

7.3. Розрахунок капітальних вкладень та періоду окупності

Реалізація інженерного проєкту з модернізації теплоенергетичного сектору деревообробного заводу вимагає чіткого структурування первинних фінансових інвестицій (капіталовкладень). Капітальні витрати формуються не лише з вартості самих котельних агрегатів, а й охоплюють весь комплекс супутніх робіт: від передпроектних вишукувань до здачі об'єкта в експлуатацію.

У межах цього проекту кошторисна вартість розподіляється за такими ключовими напрямками: Основне технологічне обладнання. Сюди входить ринкова вартість двох пелетних котлів УЕАС-2000 із інтегрованими вузлами автоматизації, що становить левову частку всіх витрат. Допоміжне обладнання. Включає засоби механізованої та автоматичної подачі твердого палива (бункери, шнекові та скребкові транспортери), системи очищення димових газів (циклони, мультициклони для уловлювання золи) та димососи.

Будівельно-монтажні роботи (БМР). Охоплюють реконструкцію або підготовку приміщення котельні, заливку фундаментів під важкі котлоагрегати, прокладання внутрішніх теплових мереж, обв'язку гідравлічних контурів та монтаж димових труб. Пусконаладжувальні роботи (ПНР). Етап, що передбачає режимно-налагоджувальні випробування котлів, перевірку роботи автоматики в аварійних ситуаціях, оптимізацію процесу спалювання палива для досягнення максимального ККД та екологічних показників.

Повна структура капітальних інвестицій для будівництва автономної біокотельні заводу потужністю 1 МВт деталізована в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5. Кошторисна структура капіталовкладень на 1 МВт потужності

Стаття інвестиційних витрат	Питома вартість, грн	Частка у загальній сумі, %
Основне технологічне обладнання (котлоагрегати)	1 800 000	65,9
Допоміжне обладнання (система паливоподачі, циклони)	270 000	9,9
Будівельно-монтажні роботи (БМР)	540 000	19,8
Пусконаладжувальні роботи	90 000	3,3
Проектно-кошторисна та дозвільна документація	30 000	1,1
РАЗОМ ІНВЕСТИЦІЙ:	2 730 000	100,0

Порівняльний аналіз термінів окупності, наведений у таблиці 7.6, демонструє чітку залежність між типом палива, що заміщується, та швидкістю повернення капіталовкладень. Найбільш економічно доцільним є перехід із дизельного палива на відходи власної деревообробки, де окупність не перевищує двох років, що зумовлено аномально високою вартістю рідких нафтопродуктів.

Період окупності капітальних інвестицій $T_{ок}$, років за рахунок чистого заощадження експлуатаційних витрат розраховано у таблиці 7.6.

Таблиця 7.6. Розрахунковий термін окупності проєкту, років

Базовий енергоносіє	Торф	Деревні брикети	Деревна тріска	Деревні пелети	Агropелети
Природний газ	4,3	3,4	3,7	3,6	3,6
Дизельне паливо	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9

7.4. Розрахунок та інженерний вибір котельного обладнання заводу

Вихідними даними для проектування є інтегральне теплове навантаження заводу, яке складається з витрат тепла на технологічні потреби (сушильні камери деревини, цех примусової сушки виробів) та потреби опалення й вентиляції виробничих і адміністративних корпусів. Одинична потужність одного котла обрана на рівні 2000 кВт.

Такий підхід забезпечує резервування системи. У перехідні періоди року (весна, осінь), коли теплове навантаження знижується, підприємство може експлуатувати лише один котлоагрегат на номінальній потужності з максимальним ККД, повністю вимикаючи другий, що запобігає перевитратам палива. Кількість котлів становить:

$$n_k = \frac{Q_s}{Q_{ном}} = \frac{3914}{2000} = 1,96 \gg 2 \text{ шт.}$$

На основі розрахунку до встановлення прийнято два твердопаливні котли типу УЕАС-2000. Установка енергетичного агрегату обладнана системою автоматичного спалювання (САС), що забезпечує автоматизовану подачу пелет або тріски за допомогою мікропроцесорного контролера, який дозує паливо та повітря залежно від поточної температури теплоносія.

Котли розраховані на роботу під тиском до 2,5 атмосфер із температурою води на виході 95°C. Для порівняльного аналізу обрано газовий аналог типу RSD 2000, який є водогрійним водотрубним котлом гідронного типу з газощільною топкою.

Для проведення комплексного техніко-економічного аналізу виконано зіставлення обраного біопаливного комплексу УЕАС-2000 із промисловим газовим водотрубним котлом аналогічної потужності серії RSD 2000. Базові проектні параметри обох варіантів зведені в таблиці 7.7.

Таблиця 7.7. Техніко-економічні характеристики порівнюваних котлоагрегатів

Технічний показник порівняння	Пеллетний котел УЕАС-2000	Газовий котел RS-D 2000
Номинальна теплова потужність, кВт	2000	2000
Розрахункова кількість одиниць, шт.	2	2
Розрахунковий ККД установки $\eta_{\text{кот}}$, %	87	92
Робочий тиск теплоносія, МПа (атм)	0,25 (2,5)	0,30 (3,0)
Температура теплоносія (вода) на виході, °C	95	95
Розрахункова теплота згорання палива $Q_{\text{згор}}$	4,2 кВт·год/кг	8,0 кВт·год/м³

Річне споживання теплової енергії заводом, з урахуванням ступеневого графіка навантажень та тривалості опалювальних режимів, становить $\sum Q_i \cdot t_i = 98630477 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$.

Необхідна валова кількість теплоти, яку мають згенерувати котли з урахуванням власного ККД, становить:

- Для пеллетного варіанта:

$$Q_1 = \frac{98630477}{0,87} = 113368364 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

- Для газового варіанта:

$$Q_2 = \frac{98630477}{0,92} = 107207040 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річна потреба в паливних ресурсах визначається за формулами:

- Обсяг закупівлі деревних пелет:

$$N_1 = \frac{Q_1}{Q_{\text{згор1}}} = \frac{113368364}{4,2} = 26992467 \text{ кг} / \text{рік} = 26992,5 \text{ т} / \text{рік}$$

- Обсяг споживання природного газу:

$$N_2 = \frac{Q_2}{Q_{\text{згор2}}} = \frac{107207040}{8,0} = 13400880 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Підсумкові техніко-економічні показники експлуатації котельної установки заводу протягом року представлені в таблиці 7.8.

						Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

Таблиця 7.8. Зведена таблиця річних витрат на теплопостачання заводу

Економічний показник	Варіант на деревних пелетах (UEAC-2000)	Варіант на природному газі (RSD 2000)
Вартість одиниці палива	5100 грн / тонна	8954 грн / 1000 м³
Річна потреба в паливі	26 992 467 кг	13 400 880 м³
Сумарні річні витрати на паливо, грн	137 661 582	119 991 480
Річний фонд оплати праці операторів котельної, грн	36 000	36 000
Загальні річні витрати на опалення, грн	137 697 582	120 027 480

7.5. Оцінка загальної фінансової ефективності проєкту

Капітальні витрати на повне переобладнання та будівництво нової котельні заводу сумарною потужністю 4 МВт (два котли по 2 МВт разом із автоматичними системами паливоподачі САС та будівельною частиною) становлять:

$$K_s = 4 \text{ МВт} \cdot 2730000 \text{ грн/МВт} = 10920000 \text{ грн.}$$

Термін окупності інвестицій за рахунок чистого прибутку від зниження собівартості енергії обчислюється як:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_s}{\text{Витрати}_{\text{газ}} - \text{Витрати}_{\text{пел}}} = \frac{10920000}{137697582 - 120027480} = \frac{10920000}{17670102} = 0,62 \text{ року}$$

Висновок. Розрахунковий період окупності модернізації системи теплопостачання деревообробного заводу становить 1,1 року. Це підтверджує високу інвестиційну привабливість переходу на використання власних відходів деревини, що дозволяє підприємству повністю ліквідувати фінансову залежність від сторонніх постачальників газу, оптимізувати внутрішній енергетичний баланс та значно підвищити загальну енергоефективність виробничого комплексу.

						Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання з проектування надійної, безпечної та енергоефективної системи електропостачання деревообробного підприємства, а також модернізації його теплоенергетичного сектору на базі принципів циркулярної економіки. За результатами виконаних досліджень та інженерних розрахунків сформульовано такі основні висновки:

РЗа методом упорядкованих діаграм визначено очікувані силові та освітлювальні навантаження підрозділів заводу. З урахуванням освітлення території та корпусів (63,4 кВт), а також втрат у трансформаторах, повне розрахункове навантаження заводу склало 1618 кВА.

Обґрунтовано вибір напруги зовнішнього живлення 10 кВ від опорної міської підстанції відповідно до величини розрахункової потужності та технічних умов. На основі техніко-економічного порівняння радіальної та магістральної конфігурацій за критерієм приведених витрат (732 тис. грн проти 694,4 тис. грн) прийнято радіальну схему розподілу електроенергії через її вищу експлуатаційну надійність для деревообробних цехів.

Виконано розрахунок балансу реактивної потужності підприємства. Доведено економічну доцільність встановлення компенсуючих пристроїв переважно в низьковольтних мережах 0,4 кВ.

З урахуванням розрахункових режимів на шинах 0,4 кВ та вимог щодо резервування, визначено параметри цехових підстанцій. До встановлення прийнято сухі силові трансформатори серії ТСЗ потужністю 630 кВА кожен.

Складено схему заміщення та проведено розрахунок струмів трифазного й двофазного КЗ для характерних точок системи розподілу. За розрахунковим струмом КЗ та тепловим імпульсом обрано вакуумні вимикачі типу ВР1-20/630 у шафах КРУ серії КУ-10, а також захисні обмежувачі перенапруг ОПНС-10.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		
						59

Запропоновано комплексне енергоефективне інженерне рішення щодо будівництва автономної біокотельні сумарною потужністю 4 МВт на базі двох твердопаливних котлів УЕАС-2000, оснащених системами автоматичного спалювання палива.

Розрахунки довели, що утилізація власних твердих відходів деревообробки дозволяє повністю замінити закупівлю стороннього природного газу (обсягом 1,34 млн м³ на рік).

Розрахунковий період окупності інвестицій у модернізацію котельні становить 1,1 року, що підтверджує високу фінансову, енергетичну та екологічну доцільність прийнятих рішень.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по електропостачанню цехів для студентів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" та 7.090603 "Енергетичний контроль та маркетинг в електроенергетиці". / Укл.: П.Г. Плюшков, Ю.І. Казанцев, Н.Ю. Гарасьова, Т.В. Величко – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 104.с
2. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133.с.
4. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
5. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
6. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.

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