

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**«Проектування системи енергопостачання меблевої
фабрики»**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-21

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Олексій ЖУРБА

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

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

Петро ПЛЄШКОВ

« » 2025 р.

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

Журби Олексія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи енергопостачання меблевої фабрики

Design of a furniture factory power supply system

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 11.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є проектування сучасної системи енергопостачання меблевої фабрики з мінімальними втратами в елементах мережі з дослідженням можливостей впровадження на підприємстві відновлювальних джерел енергії

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Теплові навантаження в системі теплопостачання. 3. Теплові мережі. 4. Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування ЦРП та джерел теплопостачання 5. Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання підприємства 6. Компенсація реактивної потужності. 7. Трансформаторні підстанції 8. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 9. Спеціальний розділ. 10. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів валіфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>03.02.25</i>	
2	<i>Теплові навантаження в системі теплопостачання</i>	<i>17.04.25</i>	
3	<i>Теплові мережі системи теплопостачання</i>	<i>03.03.25</i>	
4	<i>Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання</i>	<i>17.03.25</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання</i>	<i>31.03.25</i>	
6	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>14.04.25</i>	
7	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>28.04.25</i>	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>05.05.25</i>	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>19.05.25</i>	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>26.05.25</i>	
11	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>26.05.25</i>	

Дата видачі завдання
«03» лютого 2025 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання
«03» лютого 2025 р.

Підпис здобувача _____

Олексій ЖУРБА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 89 с.; 15 рис.; 28 табл.; 14 джерел

Журба О. С. Проектування системи енергопостачання меблевої фабрики.

– **Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Основною метою дослідження є розробка ефективної системи енергетичного забезпечення меблевої фабрики з оптимізацією енергетичних втрат у розподільних мережах та інтеграцією альтернативних джерел енергії для підвищення енергетичної незалежності підприємства.

Дослідження охоплює широкий спектр технічних питань енергопостачання промислового об'єкта: аналіз варіантів підключення до зовнішніх електричних мереж, детальні розрахунки електричних навантажень силових та освітлювальних систем, визначення теплових потреб виробничих процесів, обґрунтування параметрів компенсуючих установок для покращення якості електроенергії, перевірку електрообладнання на динамічну і термічну стійкість при аварійних режимах, а також підбір захисної та комутаційної апаратури. Окремий акцент зроблено на дослідженні перспектив застосування сонячних колекторів як екологічно чистого способу забезпечення потреб гарячого водопостачання підприємства.

Отримані в ході роботи науково-технічні результати мають практичне значення для проектування енергетичних систем деревообробних підприємств та інших виробничих об'єктів з аналогічними технологічними процесами. Розроблена методологія розрахунку геліотехнічних установок може знайти застосування при модернізації енергетичної інфраструктури різноманітних промислових комплексів.

Ключові слова: системи електропостачання, енергетичні навантаження, теплотехнічні розрахунки, енергетична ефективність, сонячна енергетика, геліотехнології, меблева промисловість.

ABSTRACT

Qualification work: 89 p.; 15 fig.; 28 tables; 14 sources

Zhurba O. S. Design of a furniture factory power supply system. – Manuscript.

Bachelor's thesis on speciality 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The primary objective of this study is to develop an efficient energy supply system for a furniture manufacturing facility by optimizing energy losses within distribution networks and integrating alternative energy sources to enhance the enterprise's energy independence.

The research covers a wide range of technical aspects related to the power supply of an industrial facility, including an analysis of connection options to external electrical grids, detailed calculations of electrical loads for power and lighting systems, determination of thermal demands for production processes, justification of compensation equipment parameters to improve power quality, and assessment of electrical equipment for dynamic and thermal stability under fault conditions. The selection of protective and switching devices is also addressed. A particular emphasis is placed on exploring the potential of solar collectors as an environmentally friendly solution for meeting the plant's hot water supply needs.

The scientific and technical results obtained in this work have practical value for the design of energy systems for woodworking enterprises and other industrial facilities with similar technological processes. The developed methodology for calculating solar thermal systems may be applied in the modernization of energy infrastructure across a wide range of industrial complexes.

Keywords: power supply systems, energy loads, thermal engineering calculations, energy efficiency, solar energy, heliotechnologies, furniture industry.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. Електричні навантаження в системі електропостачання	10
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	10
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	13
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	15
1.4. Графіки електричних навантажень.....	20
2. Теплові навантаження в системі теплопостачання	26
2.1. Визначення теплових навантажень на опалення	26
2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію	27
2.3. Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання.....	29
2.4. Графіки теплових навантажень.....	32
3. Теплові мережі системи теплопостачання	36
3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі	36
3.2. Визначення теплової ізоляції	37
4. Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання.....	38
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	43
5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	43
5.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	46

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>	О. Журба			
<i>Перевір.</i>	К. Петрова			
<i>Н.контр.</i>				
<i>Затв.</i>	П. Плешков			
Проектування системи енергопостачання меблевої фабрики Design of a furniture factory power supply system			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>
				<i>Аркушів</i>
			ЦНТУ гр. ЕЕ-21	

6.	Компенсація реактивної потужності	47
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	47
6.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	48
7.	Трансформаторні підстанції	54
7.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	54
7.2.	Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій.....	55
8.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	56
8.1.	Розрахунок струмів КЗ	56
8.2.	Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж	62
8.3.	Вибір електрообладнання	64
9.	Оцінювання можливостей інтеграції відновлюваних джерел енергії.....	66
9.1	Актуальність використання відновлювальних джерел на підприємствах деревообробної промисловості.....	66
9.2	Розрахунок раціонального кута нахилу геліоколекторів для м. Кропивницький.....	68
9.3	Визначення теплових навантажень та нормативної витрати води на ГВП.....	71
9.4	Визначення параметрів та підбір геліоколектора	73
9.5	Економічне обґрунтування впровадження сонячних колекторів.....	75
	ВИСНОВКИ.....	81
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83
	ДОДАТКИ.....	85
	ДОДАТОК А. Допоміжні розрахунки для вибору високовольтного обладнання	86

ВСТУП

Надійне та ефективне енергопостачання є основою стабільної роботи будь-якого промислового об'єкта, особливо в умовах сучасних вимог до енергоефективності та сталого розвитку. У меблевій промисловості, де значна частина енергії споживається на роботу деревообробного обладнання, вентиляційних та освітлювальних систем, особливо важливо грамотно організувати систему електропостачання підприємства.

У межах даної кваліфікаційної роботи здійснено техніко-проектне обґрунтування системи енергопостачання меблевої фабрики. Проаналізовано кілька варіантів електропостачання, із яких обрано найбільш доцільну схему з погляду економічності, енергоефективності та експлуатаційної надійності. Проведено розрахунок навантажень для силових мереж та систем освітлення, а також визначено теплові навантаження допоміжних споживачів. Обрано трансформаторне обладнання, пристрої компенсації реактивної потужності, захисну та комутаційну апаратуру.

Особливу увагу приділено розрахункам струмів короткого замикання, з метою перевірки стійкості та надійності електротехнічного устаткування. У спеціальному розділі розглянуто можливість використання відновлювальних джерел енергії, як засобу підвищення енергетичної автономності підприємства та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Розроблені у роботі рішення можуть бути практично застосовані для енергозабезпечення меблевих виробництв з урахуванням сучасних технічних і екологічних вимог.

Коротка характеристика технологічного процесу об'єкту

Меблева фабрика є комплексним виробничим підприємством, що спеціалізується на виготовленні різноманітних меблевих виробів із деревини та плитних матеріалів. Виробничий процес включає послідовні етапи обробки сировини, виготовлення складових деталей, складання конструкцій, оздоблення та пакування готової продукції.

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

Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи підприємства створено наступні структурні підрозділи:

1. Цех первинного деревооброблення — здійснює розпилювання, стругання та підготовку деревини, що є основною сировиною для виробництва меблів. Тут формується базова заготовка для подальшої обробки.

2. Цех складання та оздоблення — на цій ділянці здійснюється монтаж окремих деталей у готові вироби, а також їх шліфування, фарбування та нанесення захисних покриттів.

3. Цех виготовлення плитних деталей — виготовляє елементи з ДСП, МДФ та інших плитних матеріалів, які використовуються у конструкціях меблів.

4. Блок технічного кондиціонування та вентиляції — забезпечує підтримання необхідних параметрів мікроклімату у виробничих і адміністративних приміщеннях, що сприяє комфортним умовам праці та збереженню якості продукції.

5. Будівля адміністративно-сервісного управління — включає офісні приміщення, кімнати для персоналу, служби безпеки та охорони праці.

6. Ремонтно-технічна дільниця — відповідає за технічне обслуговування та ремонт виробничого обладнання, забезпечуючи його безперервну роботу.

7. Станція компресійно-конденсаційних процесів — постачає стиснене повітря та забезпечує холодопостачання для потреб виробництва.

8. Пакувально-сортувальне відділення — здійснює сортування готової продукції, її пакування, маркування та підготовку до транспортування.

9. Центральний склад матеріалів і комплектуючих — призначений для зберігання деревини, плитних матеріалів, фурнітури, лакофарбових виробів та інших комплектуючих.

10. Цех збирання фурнітури та механізмів — спеціалізується на виготовленні та комплектуванні елементів, що забезпечують функціональність меблів (петлі, направляючі, механізми розкладання тощо).

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

11. Центр теплового забезпечення — забезпечує централізоване опалення виробничих та адміністративних приміщень.

12. Ділянка утилізації виробничих відходів — займається збором, сортуванням та утилізацією деревних обрізків, тирси та інших відходів, що утворюються в процесі виробництва.

13. Ділянка виготовлення пакувальної тари — виробляє картонні коробки, піддони та інші упаковочні матеріали, необхідні для транспортування продукції.

14. Пункт пропуску та охорони — здійснює контроль доступу на територію фабрики, забезпечуючи безпеку об'єкта.

Загалом, організація технологічного процесу меблевої фабрики передбачає послідовну взаємодію всіх підрозділів, що дозволяє ефективно здійснювати весь цикл виробництва — від первинної обробки сировини до випуску готової продукції високої якості.

Метою даної роботи є створення оптимального проектного рішення системи енергопостачання меблевого виробництва, яке забезпечить стабільну та ефективну подачу електроенергії до всіх технологічних та допоміжних об'єктів підприємства. Проект має відповідати вимогам чинних нормативів, враховувати енергетичні потреби різних підрозділів фабрики, а також передбачати можливості підвищення енергоефективності й перспективи інтеграції альтернативних джерел енергії. Робота буде корисною для інженерів-енергетиків, проєктувальників та технічного персоналу меблевих підприємств, а також для фахівців, які займаються модернізацією систем енергопостачання на промислових об'єктах. Практична цінність полягає у розробці реалістичного та економічно доцільного проєкту, що дозволить підвищити надійність та ефективність енергопостачання, зменшити енергетичні витрати і сприяти впровадженню сучасних енергоефективних технологій.

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

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Розрахунок енергетичного навантаження виконується згідно з положеннями, наведеними у нормативних рекомендаціях щодо проєктування систем електропостачання промислових підприємств [2]. Для прикладу розглянемо цех первинного оброблення деревини (див. табл. 1.1): у ньому передбачено встановлення 195 одиниць обладнання із загальною потужністю 1732 кВт. Використовуючи довідкові дані з джерела [2], виконуємо необхідні розрахунки:

$$P_{CM} = K_B \cdot \sum P_H = 0,4 \cdot 1732 = 693 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \phi = 693 \cdot 1,33 = 924 \text{ кВар}.$$

Проводимо розрахунок параметрів для окремого енергетичного вузла (наприклад, цеху первинного оброблення деревини):

- загальна кількість приєднаних споживачів - $n = 195$ шт;
- сумарна встановлена пот-ть обладнання - $\sum P_H = 1732$ кВт;
- середньозмінні знач. становлять: $\sum P_{CM} = 693$ кВт, $\sum Q_{CM} = 924$ кВАр

відповідно.

Отже, розрахункові величини навантаження матимуть такі значення:

$$P_P = \sum P_{CM} \cdot K_M = 693 \cdot 1,18 = 819 \text{ кВт};$$

$$Q_P = \sum Q_{CM} = 924 \text{ кВар};$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{819^2 + 924^2} = 1234 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогічний порядок розрахунків застосовується до решти структурних підрозділів меблевої фабрики. У табл. 1.1 зібрані узагальнені результати розрахунків.

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

Таблиця 1.1. Аналіз навантаження силових споживачів у низьковольтній мережі 0,4 кВ

Найменування підрозділів	n	P_{\min}	P_{\max}	P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{CM},$ кВт	$Q_{CM},$ квар	n_E	K_M	$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цех первинного оброблення деревини	1	195	66,0	1732	51	0,4	0,60	1,33	693	924	52	1,18	819	924	1234
Цех складання та оздоблення	2	55	58,0	562	83	0,4	0,80	0,75	225	169	19	1,32	297	169	341
Цех виготовлення плитних деталей	3	54	30,0	319	14	0,4	0,65	1,17	128	149	21	1,30	166	149	223
Ділянка утилізації виробничих відходів	4	28	38,0	530	32	0,7	0,80	0,75	371	278	28	1,00	371	278	464
Будівля адміністративно-сервісного управління	5	128	3,2	253	16	0,7	0,80	0,75	177	133	128	1,00	177	133	222
Ремонтно-технічна дільниця	6	41	18,0	218	60	0,2	0,50	1,73	44	76	24	1,48	65	76	99
Станція компресійно-конденсаційних процесів	7	58	36,0	496	45	0,60	0,70	1,02	297	305	28	1,16	344	304	459
Пакувально-сортувальне відділення	8	7	5,0	31	5	0,7	0,80	0,75	22	16	7	1,00	22	18	28
Центральний склад матеріалів і комплектуючих	9	34	9,1	148	10	0,5	0,70	1,02	74	75	33	1,19	88	75	116
Цех збирання фурнітури та механізмів	10	17	9,8	111	5	0,6	0,80	0,75	67	50	17	1,21	81	50	95
Центр теплового забезпечення	11	24	16,0	189	8	0,6	0,70	1,02	114	116	24	1,17	133	116	176
Блок технічного кондиціонування та вентиляції	12	14	42,0	224	26	0,5	0,80	0,75	112	84	11	1,36	152	84	174

Арк.

Зм

Арк

№ доквм.

Підпис

Дата

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ділянка виготовлення пакувальної тари	13	6	15,2	44	13	0,7	0,70	1,02	31	31	6	1,00	31	35	46
Пункт пропуску та охорони	14	6	2,8	15	3	0,4	0,60	1,33	6	8	6	1,66	10	9	13
Всього по фабриці		667	66	4874	330	0,48	0,70	1,02	2360	2413	148	1,08	2556	2413	3516

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Розглянемо приклад детального розрахунку електричного освітлення в цеху складання та оздоблення меблів. Загальна встановлена потужність освітлювальних приладів визначається за формулою:

$$P_B = p_0 \cdot 10^{-3} = 14 \cdot 2200 \cdot 10^{-3} = 25,9 \text{ кВт},$$

де $p_0 = 14$ – значення питомої потужності освітлення для цеху складання та оздоблення меблів, кВт/м²; $F = 2200 \text{ м}^2$ – фактична площа відповідного виробничого приміщення, м².

Активна потужність, яку споживають освітлювальні електроприймачі, дорівнює:

$$P_P = K_C \cdot K_1 \cdot P_B = 0,7 \cdot 1,2 \cdot 30,8 = 25,9 \text{ кВт}.$$

Реактивна складова освітлювального навантаження визначається як:

$$Q_P = P_P \cdot \text{tg}\phi = 25,9 \cdot 0,48 = 12,5 \text{ кВар}.$$

Загальна повна потужність освітлювального навантаження обчислюється за формулою:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{25,9^2 + 12,5^2} = 28,7 \text{ кВА}.$$

У таблицю 1.2 зведено розрахунки освітлювального навантаження для решти підрозділів меблевого виробництва.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 1.2. Аналіз освітлювальних навантажень структурних підрозділів фабрики

Підрозділи меблевої фабрики	$F, \text{ м}^2$	$P_0, \text{ Вт/м}^2$	$P_B, \text{ кВт}$	$Q_B, \text{ квар}$	K_{II}	K_1	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_P, \text{ кВт}$	$Q_P, \text{ квар}$	$S_P, \text{ кВА}$
Цех первинного оброблення деревини	6500	12	78,0	37,8	0,80	1,2	0,9	0,48	74,9	36,3	83,2
Цех складання та оздоблення меблів	2200	14	30,8	14,90	0,7	1,2	0,9	0,48	25,9	12,5	28,7
Цех виготовлення плитних деталей	2650	14	37,1	18	0,80	1,2	0,9	0,48	35,6	17,2	39,6
Ділянка утилізації виробничих відходів	380	8	3,0	1,5	0,60	1,12	0,9	0,48	2,0	1,0	2,3
Будівля адміністративно-сервісного управління	2100	14	29,4	14,2	0,80	1,2	0,9	0,48	28,2	13,7	31,4
Ремонтно-технічна дільниця	750	14	10,5	5,1	0,90	1,2	0,9	0,48	10,7	5,2	11,9
Станція компресійно-конденсаційних процесів	580	8	4,6	8,0	0,60	1,2	0,5	1,73	3,3	5,8	6,7
Пакувально-сортувальне відділення	970	12	11,6	20,2	0,90	1,2	0,5	1,73	11,9	20,6	23,7
Центральний склад матеріалів і комплектуючих	1200	6	7,2	12,5	0,90	1,2	0,5	1,73	7,3	12,7	14,7
Цех збирання фурнітури та механізмів	510	14	7,1	12,4	0,90	1	0,50	1,73	6,1	10,5	12,1
Центр теплового забезпечення	740	8	5,9	10,3	0,80	1,2	0,5	1,73	5,7	9,8	11,4
Блок технічного кондиціонування та вентиляції	230	6	1,4	0,7	0,60	1,12	0,90	0,48	0,9	0,4	1,0
Ділянка виготовлення пакувальної тари	340	12	4,1	2,0	0,80	1,2	0,90	0,48	3,9	1,9	4,4
Пункт пропуску та охорони	110	8	0,9	0,4	0,60	1,12	0,9	0,48	0,6	0,3	0,7
Освітлення території фабрики	68752	0,2	13,8	23,8	0,50	1,12	0,5	1,73	7,7	13,3	15,4
Всього по меблевій фабриці			245	182					225	161	287

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Подамо приклад детального обчислення втрат електроенергії для трансформаторних підстанцій №1 та №2. У кожній із зазначених ТП передбачено встановлення трансформаторів типу ТМ, номінальною потужністю 630 кВА з технічними характеристиками:

S_H , кВА	ΔP_X , кВт	U_K , %	ΔP_K , кВт	I_X , %
630	0,75	6	1,2	2,0

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 3 \cdot (0,75 + 1,2 \cdot 0,84^2) = 4,3 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 3 \cdot \left(\frac{2,0}{100} \cdot 630 + \frac{6}{100} \cdot 630 \cdot 0,84^2 \right) = 64,3 \text{ кВар}$$

Аналогічна методика застосовується і для інших трансформаторних підстанцій фабрики: до таблиці 1.3 зведено узагальнені результати.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 1.3. Аналіз електроспоживання фабрики в мережі вище 1000 В

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	P		P _Σ	m	K _B	cos φ	tg φ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	n _E	K _M	P _P , кВт	Q _P , квар	S _P , кВА
			min	max												
	ТП №1,2 (3,0x630,0)		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Цех первинного оброблення деревини															
1	Силове навантаження	195	1	-	1732	51	0,4	0,60	1,30	693	924	52	1	819	924	1234
	Освітлювальне навантаження									78,0	37,8			74,9	36,3	83,2
	Всього по цеху									770,8	961,5			893,7	960,0	1311,6
	Цех збирання фурнітури та механізмів															
2	Силове навантаження	17	2	-	111	5,0	0,6	0,80	0,8	67	50	17	1	81	50	95
	Освітлювальне навантаження									7,1	12,4			6,1	10,5	12,1
	Всього по цеху									73,9	62,5			86,6	60,6	105,7
	Блок технічного кондиціонування та вентиляції															
3	Силове навантаження	14	2	-	224	26	0,50	0,80	0,8	112	84	11	1	152	84	174
	Освітлювальне навантаження									1,4	0,7			0,9	0,4	1,0
	Всього по блоку									113,6	84,8			153,2	84,6	175,0
	Силова по ТП 1,2	226	1	...	2068	51	0,42	0,64	1,21	871,8	1058,0	63	1,16	1008,1	1058,0	1461,4
	Освітлювальна по ТП 1,2									86,5	50,8			81,9	47,2	94,5
	Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2									958,3	1108,8			1090,0	1105,2	1552,3
	Втрати в тр-рах ТП 1,2 (3,0x630,0)													4,3	64,3	64,4
	Всього на шинах 10 кВ по ТП 1,2													1094,3	1169,5	1601,6

Продовження табл. 1.3.

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП №3 (2,0x630,0)															
Цех складання та оздоблення меблів															
1	55	1	-	58	562	83	0,4	0,8	0,75	169	19	1	297	169	341
Освітлювальне навантаження										30,82			25,9	12,5	28,7
Всього по цеху										183,5			322,8	181,1	370,1
Цех виготовлення плитних деталей															
2	54	2	-	30	319	14	0,40	0,65	1,17	149	21	1	166	149	223
Освітлювальне навантаження										37,1			35,6	17,2	39,6
Всього по цеху										164,7			202,0	166,4	261,7
Будівля адміністративно-сервісного управління															
3	128	0	-	3	253	16	0,7	0,80	0,8	133	128	1	177	133	222
Освітлювальне навантаження										29,4			28,2	13,7	31,4
Всього по АПБ										147,3			205,6	146,7	252,6
Пункт пропуску та охорони															
4	10	1	-	9,0	148	10	0,50	0,7	1,0	75	33	1	88	75	116
Освітлювальне навантаження										0,9			0,60	0,30	0,7
Всього по прохідній										74,8			88,3	75,7	116,4
Силова по ТП 3	238	0	...	58	1282	290	0,47	0,75	0,87	603,7	44	1,17	705,5	526,3	880,2
Освітлювальна по ТП 3										98,2			90,3	43,7	100,3
На шинах 0,4 кВ по ТП 3										701,9			795,9	570,0	978,9
Втрати в тр-рах ТП 3 (2,0x630,0)													2,8	40,0	40,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3													798,6	610,0	1004,9

Продовження табл.1.3.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №4 (1,0x630,0)																	
Ділянка утилізації виробничих відходів																	
1	Силове навантаження	28	1	-	38	530	32	0,7	0,80	0,8	371	278	28	1	371	278	464
	Освітлювальне навантаження									3,0	1,5			2,0	1,0	2,3	
Всього по станції										374,0	279,7			373,0	279,2	466,0	
Силова по ТП 4		28	1	...	38	530	32	0,7	0,80	0,75	371,0	278,3	28	1,00	371,0	278,3	463,8
Освітлювальна по ТП 4										3,0	1,5			2,0	1,0	2,3	
Всього на шинях 0,4 кВ по ТП 4										374,0	279,7			373,0	279,2	466	
Втрати в тр-рах ТП 4 (1,0x630,0)														1,2	12,5	12,6	
Всього на шинях 10 кВ по ТП 4														374,2	291,8	474,5	
ТП №5(2,0x630,0)																	
Станція компресійно-конденсаційних процесів																	
1	Силове навантаження	58	0,8	-	36	496	45	0,60	0,70	1	298	304	28	1	344	304	459
	Освітлювальне навантаження										4,6	8,0		3,3	5,8	6,7	
Всього по цеху										302,2	311,6			347,3	309,4	465,1	
Центр теплового забезпечення																	
2	Силове навантаження	24	2,1	-	16	189	8	0,6	0,7	1,0	114	116	24	1	133	116	176
	Освітлювальне навантаження										5,92	10,34		5,7	9,8	11,4	
Всього по										119,6	126,2			138,6	125,8	187,2	
Ремонтно-технічна діляниця																	
3	Силове навантаження	41	0,3	-	18	218	60	0,20	0,5	1,70	44	76	24	1	65	76	99
	Освітлювальне навантаження										10,5	5,1		10,7	5,2	11,9	
Всього по майстерні										54,1	80,6			75,4	80,7	110,4	
Пакувальньо-сортувальне відділення																	
4	Силове навантаження	7	1,0	-	5	31	5	0,7	0,80	0,8	22	16	7	1	22	18	28
	Освітлювальне навантаження										11,6	20,2		11,9	20,6	23,7	
Всього по відділенню										33,3	36,4			33,6	38,5	51,1	

Продовження табл.1.3.

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	Центральний склад матеріалів і комплектуючих															
	Силове навантаження	34	0,90	-	9,10	148	10	0,50	1	74	75	33	1	88	75	116
	Освітлювальне навантаження									7,2	12,5			7,3	12,7	14,7
	Всього по складу									81,2	87,9			95,1	88,2	129,7
Силова по ТП 5	164	0	...	36	1082	120	0,51	0,68	1,07	550	587	60	1,13	621,6	586,8	854,8
Освітлювальна по ТП 5										714	56			39,0	54,1	66,7
Всього на шинях 0,4 кВ по ТП 5										1264,4	642,8			660,5	640,9	920,3
Втрати в тр. ТП 5 (2,0x630,0)														2,8	40,3	40,4
Всього на шинях 10 кВ по ТП 5														663,3	681,2	950,8
Всього на стороні 0,4 кВ														2556,5	2413,3	3515,6
Втрати в тр-рах ТП 1-5														11,0	157,1	157,5
Всього на стороні 10 кВ														2567,5	2570,4	3633,0
Всього по фабриці														2567,5	2570,4	3633,0

Зм Арк № докум. Підпис Дата

Арк.

1.4. Графіки електричних навантажень

Для побудови графіків навантажень було використано табличний процесор Microsoft Excel. Візуалізація дозволяє оцінити зміну навантаження впродовж доби та виявити пікові значення.

Таблиця 1.4. Вихідні дані для побудови графіка активної потужності навантаження фабрики

Час доби	Робочий сезон		Вихідний сезон	
	Зима	Літо	Зима	Літо
1	1925,6	385,1	1925,6	385,1
2	1925,6	308,1	1925,6	385,1
3	1925,6	308,1	1925,6	385,1
4	1925,6	308,1	1925,6	385,1
5	1668,9	256,8	1668,9	333,8
6	2054,0	359,5	2054,0	410,8
7	2567,5	462,2	2567,5	513,5
8	2567,5	513,5	2567,5	513,5
9	2567,5	513,5	2310,8	462,2
10	2439,1	487,8	2310,8	462,2
11	2310,8	462,2	2310,8	462,2
12	2105,4	421,1	2054,0	410,8
13	1925,6	385,1	1155,4	231,1
14	2105,4	421,1	1155,4	231,1
15	2182,4	436,5	1155,4	231,1
16	2182,4	436,5	1155,4	231,1
19	2567,5	513,5	1155,4	231,1
18	2567,5	513,5	1155,4	231,1
19	2567,5	513,5	1155,4	231,1
20	2362,1	472,4	1155,4	231,1
21	2362,1	472,4	1155,4	231,1
22	1925,6	385,1	1155,4	231,1
23	1925,6	385,1	1155,4	231,1
24	1925,6	385,1	1155,4	231,1
W_{Σ}	52582,4	10105,7	39411,1	7882,2

Робочі дні (зимовий період):

- Обсяг споживання активної електроенергії за рік: $W_{3P} = 7729613 \text{ кВт} \cdot \text{год}$
- Обсяг споживання реактивної електроенергії за рік: $V_{3P} = 7379387 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Робочі дні (літній період):

- Річне споживання активної електроенергії: $W_{ЛР} = 1061096 \text{ кВт} \cdot \text{год}$
- Річне споживання реактивної електроенергії: $V_{ЛР} = 1054198 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Вихідні дні:

- Активне електроспоживання у зимовий період (річне значення):

$$W_{3B} = 2561723 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- Реактивне електроспоживання у зимовий період (річне значення):

$$V_{3B} = 2322356 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- Активне електроспоживання у літній період (річне значення):

$$W_{ЛB} = 378347 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- Реактивне електроспоживання у літній період (річне значення):

$$V_{ЛР} = 342994 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарне річне споживання електроенергії:

- Активна електроенергія:

$$W_P = W_{3P} + W_{ЛР} + W_{3B} + W_{ЛB} = 11730779,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

- Реактивна електроенергія:

$$V_P = V_{3P} + V_{ЛР} + V_{3B} + V_{ЛB} = 11098935,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

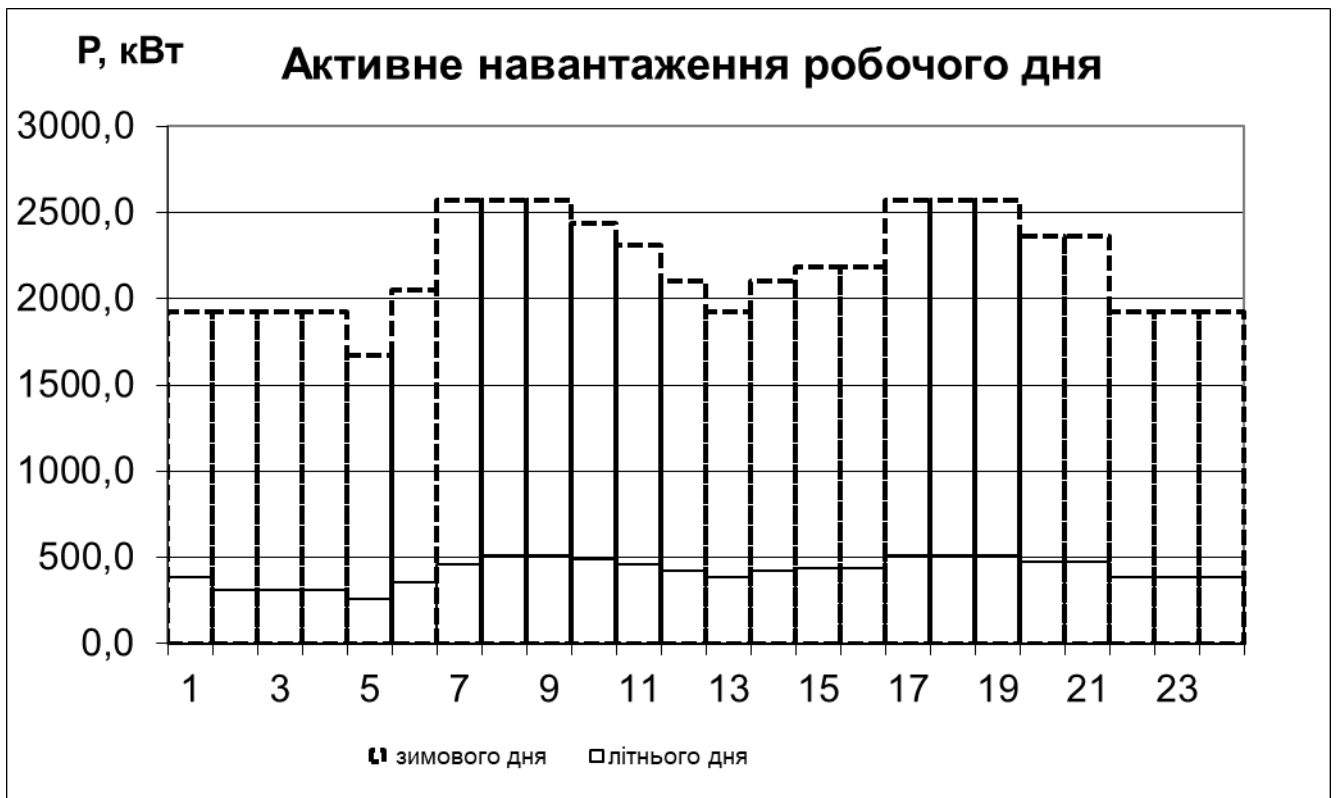


Рисунок 1.1. Графік зміни активної потужності впродовж робочої доби



Рисунок 1.2. Графік зміни активної потужності впродовж вихідної доби

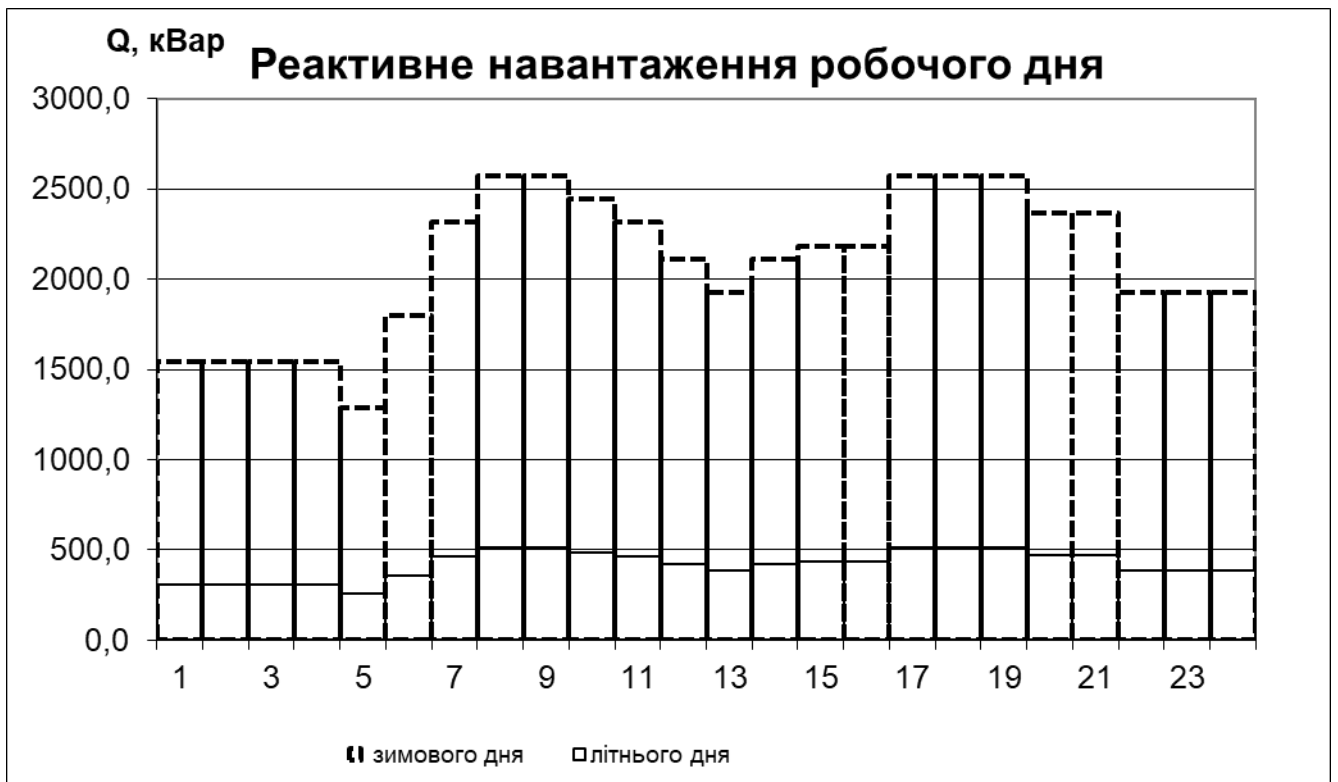


Рисунок 1.3. Динаміка реактивного електроспоживання впродовж робочої доби

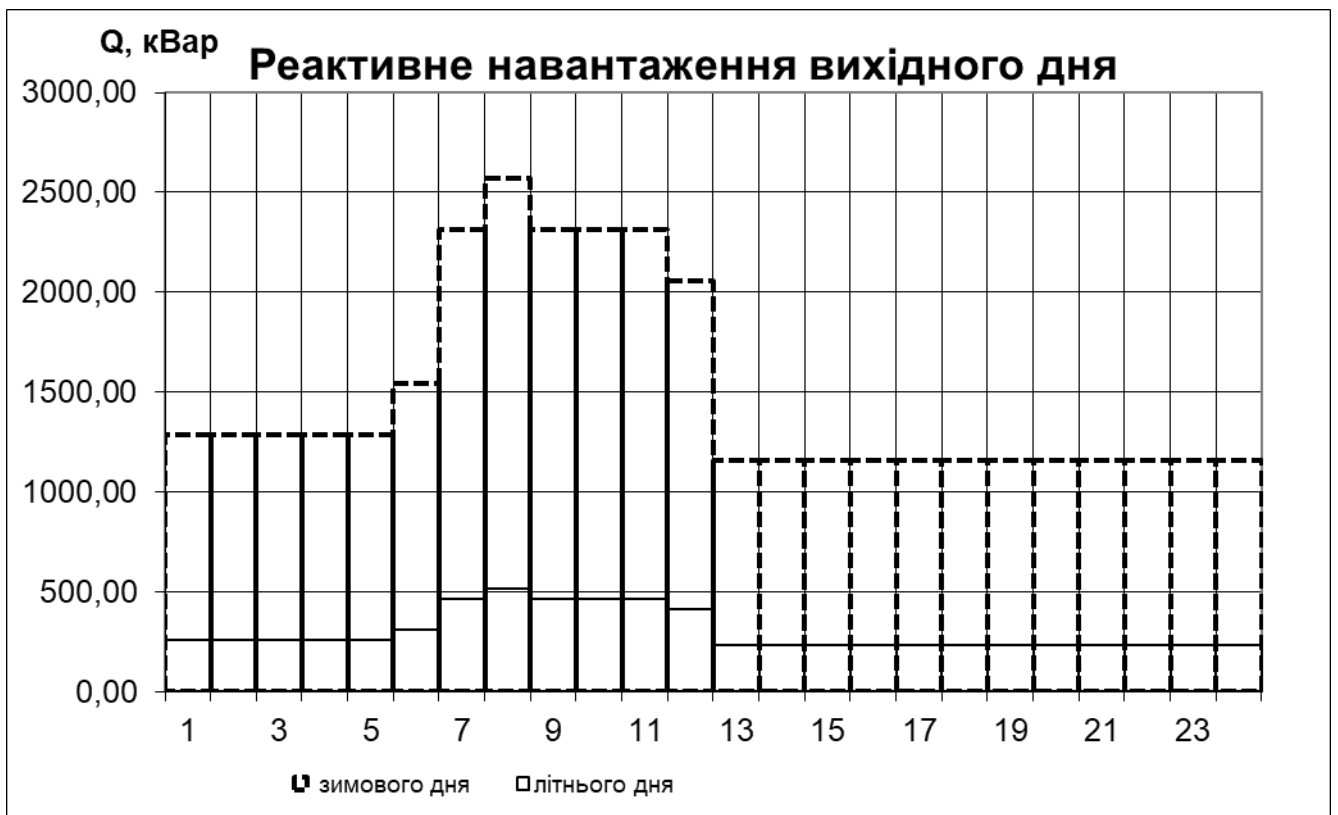


Рисунок 1.4. Динаміка реактивного електроспоживання впродовж вихідної доби

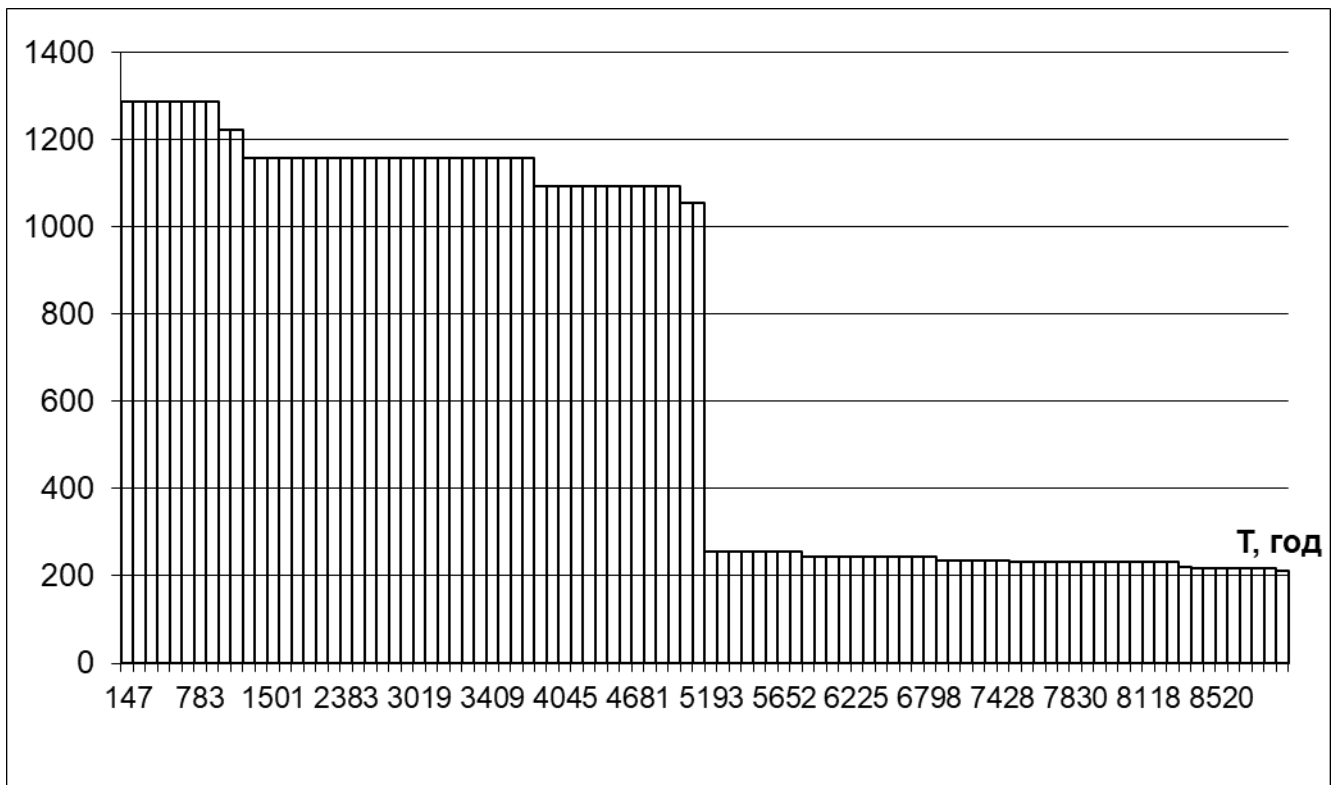


Рисунок 1.5. Тривалісна характеристика річного навантаження

Розрахункові показники:

$$T_M = \sqrt{\frac{W_P^2 + V_P^2}{S_P^2}} = \sqrt{\frac{11730779,1^2 + 11098935,8^2}{3633^2}} = 4445,1 \text{ год}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4445,1}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = 2831,3 \text{ год}$$

2. ТЕПЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1. Визначення теплових навантажень на опалення

Параметри зовнішнього повітря та кліматичні характеристики обрано відповідно до географічного розташування меблевої фабрики згідно з нормативними джерелами [8].

Розглянемо приклад визначення теплових навантажень на систему опалення для цеху оздоблення та складання:

$$Q_o^P = (1 + \mu) \cdot q_0 V_3 \cdot (t_{B.P} - t_{P.0}) = (1 + 0,25) \cdot 0,43 \cdot 39000 \cdot (18 - (-21)) = 817,54 \text{ кВт,}$$

де $\mu = 0,25$ - значення коефіцієнту інфільтрації для виробничих приміщень;

$V_3 = F_3 \cdot h_3 = 6500 \cdot 6 = 39000$ – зовнішній об'єм приміщення структурного підрозділу, м³;

$q_0 = 0,43$ – питома характеристика теплоспоживання, Вт/(м³·°C);

$t_{P.B} = 18$ – розрахункова температура повітря в приміщенні, °C;

$t_{P.0} = -21$ – температура зовнішнього повітря за розрахункових умов, °C.

У табл.2.1. подано розрахунки теплових навантажень для інших функціональних зон фабрики виконані за тією ж методикою.

Таблиця 2.1. Підсумкові значення теплових навантажень на систему опалення фабрики

№ з\п	Найменування структурного підрозділу фабрики	$F_3, \text{ м}^2$	$V_3, \text{ м}^3$	$q_0, \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C}$	$t_{P.B}, \text{ °C}$	$Q_o^P, \text{ кВт}$
1	2	3	5	6	7	8
1	Цех первинного оброблення деревини	6500	39000	0,43	18	817,54
2	Цех складання та оздоблення меблів	2200	13200	0,43	18	276,71

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження табл. 2.1.

1	2	3	5	6	7	8
3	Цех виготовлення плитних деталей	2650	15900	0,43	18	333,30
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	380	1520	0,3	18	22,23
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	2100	15750	0,9	20	726,47
6	Ремонтно-технічна дільниця	750	3000	0,64	18	93,6
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	580	2320	0,33	18	37,32
8	Пакувальньо-сортувальне відділення	970	5820	0,43	18	122,00
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	1200	7200	0,3	14	94,50
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	510	2040	0,3	18	29,84
11	Центр теплового забезпечення	740	8880	0,3	18	129,87
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	230	920	0,4	14	16,10
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	340	2040	0,3	18	29,84
14	Пункт пропуску та охорони	110	440	0,3	18	6,44
	Загалом					2735,74

2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію

Виконаємо визначення теплових навантажень, пов'язаних з вентиляцією, на прикладі цеху первинного оброблення деревини:

$$Q_B^P = q_B V_3 \cdot (t_{B,P} - t_{P,3}) = 0,465 \cdot 39000 \cdot (16 - (-9)) = 453,38 \text{ кВт},$$

де $q_B = 0,465$ – питомий показник теплоспоживання для вентиляційних потреб, Вт/(м³·°C); $t_{B,P} = 16$ °C – температура повітря всередині приміщення за

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектом, °С; $t_{p,з} = -9$ °С – температура повітря зовні, прийнята для розрахунку вентиляційної системи, °С.

Аналогічні розрахунки проведені для всіх інших приміщень меблевої фабрики згідно з прийнятими нормами. У таблиці 2.2 подано підсумкові значення.

Таблиця 2.2. Параметри теплових навантажень на вентиляцію для окремих підрозділів фабрики

№ з\п	Найменування структурного підрозділу фабрики	$F_3, \text{ м}^2$	$V_3, \text{ м}^3$	$q_B, \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°С}$	$t_{B,P}, \text{ °С}$	$Q_B^P, \text{ кВт}$
1	Цех первинного оброблення деревини	6500	39000	0,465	16	453,38
2	Цех складання та оздоблення меблів	2200	13200	0,465	16	153,45
3	Цех виготовлення плитних деталей	2650	15900	0,465	16	184,84
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	380	1520	0,23	14	8,04
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	2100	15750	0,7	18	297,68
6	Ремонтно-технічна дільниця	750	3000	0,7	16	52,50
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	580	2320	0,44	16	25,52
8	Пакувальню-сортувальне відділення	970	5820	0,465	16	67,66
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	1200	7200	0,233	14	38,58
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	510	2040	0,465	16	23,72
11	Центр теплового забезпечення	740	8880	0,7	14	142,97
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	230	920	0,7	14	14,81
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	340	2040	0,4	16	20,40
14	Пункт пропуску та охорони	110	440	0,4	18	4,75
Всього						1488,29

2.3. Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання

Проведемо прикладний розрахунок теплоспоживання для системи гарячого водопостачання одного з виробничих підрозділів меблевого підприємства — цеху первинного оброблення деревини (чисельність персоналу — 124 працівники, режим роботи — у дві зміни).

Орієнтовне середньотижневе теплове навантаження на ГВП у період опалювального сезону становить:

$$Q_{Г.З}^{СЕР.Т} = \frac{amc_B \cdot (t_{Г} - t_{Х})}{n_C} = \frac{40 \cdot 124 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{2 \cdot 8 \cdot 3600} = 36,08 \text{ кВт.}$$

У літній період середнє теплове навантаження системи гарячого водопостачання:

$$Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т} = Q_{Г.З.}^{СЕР.Т} \cdot \frac{t_{Г} - t_{Х.Л.}}{t_{Г} - t_{Х.З.}} \beta = 36,08 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1 = 18,04 \text{ кВт.}$$

Максимальне споживання теплоти для ГВП у холодну пору року:

$$Q_{Г.В.}^{\max} = \chi Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т} = 36,08 \cdot 2,4 = 86,59 \text{ кВт.}$$

У найінтенсивніший період літа:

$$Q_{Г.Л.}^{\max} = \chi Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т} = 18,04 \cdot 2,4 = 43,3 \text{ кВт.}$$

Аналогічні обчислення виконано для решти підрозділів фабрики. У таблиці 2.3 подано підсумкові результати розрахунків.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 2.3. Параметри теплового навантаження на ГВП для окремих підрозділів фабрики

№ з\п	Найменування структурного підрозділу фабрики	m	$Q_{\text{Г.З.}}^{\text{сер.т.}}$	$Q_{\text{Г.Л.}}^{\text{сер.т.}}$	$Q_{\text{Г.З.}}^{\text{max}}$	$Q_{\text{Г.Л.}}^{\text{max}}$
1	Цех первинного оброблення деревини	124	36,08	18,04	86,59	43,30
2	Цех складання та оздоблення меблів	53	15,42	7,71	37,01	18,51
3	Цех виготовлення плитних деталей	75	21,82	10,91	52,38	26,19
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	7	1,27	1,02	3,06	2,44
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	28	5,09	4,07	12,22	9,78
6	Ремонтно-технічна дільниця	16	2,91	2,33	6,98	5,59
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	7	1,27	1,02	3,06	2,44
8	Пакувальньо-сортувальне відділення	14	2,55	2,04	6,11	4,89
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	8	1,45	1,16	3,49	2,79
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	12	2,18	1,75	5,24	4,19
11	Центр теплового забезпечення	6	1,09	0,87	2,62	2,10
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	5	0,91	0,73	2,18	1,75
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	10	1,82	1,45	4,36	3,49
14	Пункт пропуску та охорони	3	0,55	0,44	1,31	1,05
Всього		368	94,42	53,54	226,61	128,49

У вигляді табл. 2.4 подано сумарні значення теплових навантажень для всіх структурних підрозділів меблевої фабрики, що визначено на підставі попередніх розрахунків.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 2.4. Підсумкові параметри теплових навантажень меблевої фабрики

№ з\п	Найменування структурного підрозділу фабрики	Q_o^p	Q_B^p	$Q_{ГВ}^p$	$Q_{г.з.}^{\max}$	Q_{Σ}
1	2	3	4	5	6	7
1	Цех первинного оброблення деревини	817,54	453,38	86,59	1357,51	1,17
2	Цех складання та оздоблення меблів	276,71	153,45	37,01	467,17	0,40
3	Цех виготовлення плитних деталей	333,30	184,84	52,38	570,52	0,49
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	22,23	8,04	3,06	33,33	0,03
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	726,47	297,68	12,22	1036,36	0,89
6	Ремонтно-технічна дільниця	93,60	52,50	6,98	153,08	0,13
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	37,32	25,52	3,06	65,90	0,06
8	Пакувально-сортувальне відділення	122,00	67,66	6,11	195,77	0,17
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	94,50	38,58	3,49	136,58	0,12
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	29,84	23,72	5,24	58,79	0,05
11	Центр теплового забезпечення	129,87	142,97	2,62	275,46	0,24
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	16,10	14,81	2,18	33,09	0,03
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	29,84	20,40	4,36	54,60	0,05
14	Пункт пропуску та охорони	6,44	4,75	1,31	12,50	0,011
Всього		2735,74	1488,29	226,61	4450,64	3,83

2.4. Графіки теплових навантажень

Розрахунок теплових витрат на опалення здійснено для двох характерних температур зовнішнього повітря – при значенні $t_3 = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ та при значенні $t_3 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_O = Q_O^P \left(\frac{t_{B.P} - t_3}{t_{B.P} - t_{P.O}} \right) = 817,54 \left(\frac{18 - 8}{18 + 21} \right) = 209,63 \text{ Гкал/год}$$

$$Q_O = Q_O^P \left(\frac{t_{B.P} - t_3}{t_{B.P} - t_{P.O}} \right) = 855,27 \left(\frac{18 + 25}{18 + 21} \right) = 943 \text{ Гкал/год}$$

Для формування річного графіка теплоспоживання за тривалістю було визначено кількість годин перебування зовнішнього повітря в межах $5 \text{ }^\circ\text{C}$ із урахуванням тривалості опалювального сезону для м. Черкаси, яка становить 6836 год (відповідно до табл. 3.5 [8]).

Агреговані дані теплового споживання подані в таблиці 2.5, графічне представлення – на рисунках 2.1 та 2.2, де зображено відповідно річний графік за тривалістю та місячний розподіл теплового навантаження.

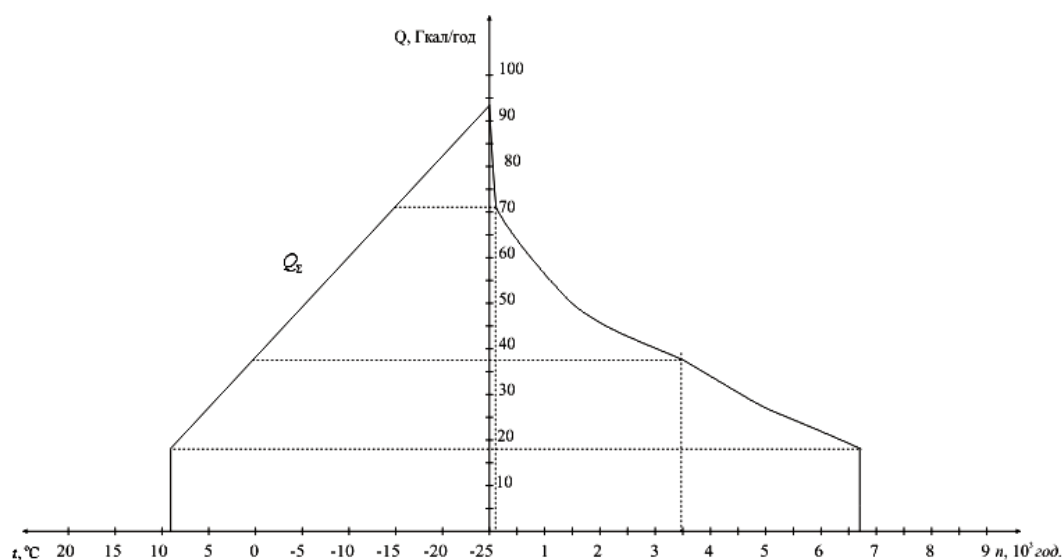


Рисунок 2.1. Крива теплоспоживання за тривалістю (теплове навантаження)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

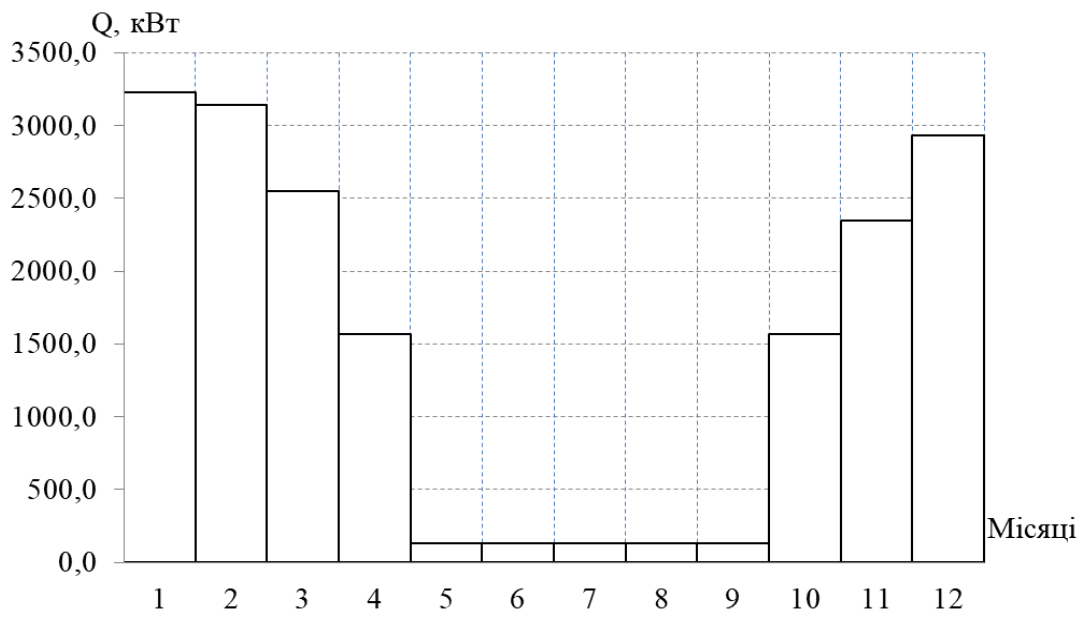


Рисунок 2.2. Графік споживання теплової енергії впродовж року помісячно

Таблиця 2.5. Середньогодинні показники витрати теплової енергії впродовж року помісячно

№	Найменування структурного підрозділу фабрики	$t_{p,}$ °C	$Q_{o,}^p$, кВт	$Q_{в,}^p$, кВт	$Q_{г.з,}$, кВт	$Q_{г.л,}$, кВт	Січ	Лют	Берез	Квіт	Трав	Черв	Лип	Серп	Верес	Жовт	Листоп	Груд
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Цех первинного оброблення деревини	18	817,5	453	86,6	43	989	962	781	483	43	43	43	43	43	483	721	898
2	Цех складання та оздоблення меблів	18	276,7	154	37,0	19	342	333	272	171	19	19	19	19	19	171	252	312
3	Цех виготовлення плитних деталей	18	333,3	185	52,4	26	420	409	336	214	26	26	26	26	26	214	311	383
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	18	22,2	8,0	3,1	2,4	24	23	19	12	2	2	2	2	2	12	18	22
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	20	726,5	298	12,2	9,8	737	717	583	362	10	10	10	10	10	362	538	670
6	Ремонтно-технічна дільниця	18	93,6	52,5	7,0	5,6	111	108	87	53	6	6	6	6	6	53	80	100
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	18	37,3	25,5	3,1	2,4	49	47	38	23	2	2	2	2	2	23	35	44
8	Пакувально-сортувальне відділення	18	122,0	67,7	6,1	4,9	141	137	110	65	5	5	5	5	5	65	101	127

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	14	94,5	38,6	3,5	2,8	91	88	67	32	3	3	3	3	3	32	60	80
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	18	29,8	23,7	5,2	4,2	45	43	35	22	4	4	4	4	4	22	33	41
11	Центр теплового забезпечення	18	129,9	143	2,6	2,1	209	203	161	93	2	2	2	2	2	93	148	188
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	14	16,1	14,8	2,2	1,7	24	23	18	9	2	2	2	2	2	9	16	22
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	18	29,8	20,4	4,4	3,5	41	40	32	20	3	3	3	3	3	20	30	37
14	Пункт пропуску та охорони	18	6,4	4,8	1,3	1,0	9	9	8	5	1	1	1	1	1	5	7	9
	Всього		2736	1488	227	128	3231	3144	2547	1565	128	128	128	128	128	1565	2348	2932

3. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Гідравлічне моделювання тепломережі здійснено згідно з методичними положеннями, наведеними у джерелі [8]. У табл. 3.1 подано підсумкові дані розрахунків.

Таблиця 3.1. Параметри гідравлічного розрахунку теплової мережі

№ ділянки	Розрахункова витрата води на ділянці G_d , кг/с	Розрахункова витрата води на ділянці $G_{d, т/год}$	Довжина ділянки l , м	Попередній розрахунок для R_0			Кінцевий розрахунок								
				Питомі втрати тиску R_0 , Па/м	Діаметр ділянки D_0 , мм	Матеріальна характеристика M_0 , м ²	Стандартний діаметр ділянки D^* , мм	Швидкість води на ділянці w , м/с	Питомі втрати тиску на ділянці R , Па/м	Еквівалентна довжина l_e , м	Приведена довжина $l_{пр}$, м	Втрати тиску на ділянці, Па	Втрати напору на ділянці, м	Сумарні втрати напору, м	
<i>Головна магістраль</i>															
0	13,98	50,3	5	-	-	-	80*2	0,57	62,5	3,81	8,8	546,0	0,057	0,057	
1	7,2	25,8	100	-	-	-	80*2	0,57	62,5	3,81	106	6447,4	0,674	0,674	
2	2,64	9,49	50	-	-	-	80*2	0,61	190,3	2,68	52,7	10025,0	1,048	1,722	
3	1,76	6,35	70	-	-	-	80*2	0,39	75,7	1,5	71,6	5397,8	0,564	2,287	
4	1,49	5,36	80	-	-	-	80*2	0,56	204,8	1,5	81,4	16606	1,736	4,023	
<i>Відгалудження</i>															
1-9	6,81	24,5	20	-	-	-	80*2	0,33	64,0	10,5	30,5	1950,1	0,204	1,926	
2-12	4,54	16,3	30	-	-	-	80*2	0,11	9,0	10,5	40,5	364,2	0,038	2,325	
2-13	0,87	3,14	10	-	-	-	80*2	0,22	31,2	10,5	20,5	639,1	0,067	4,090	
3-14	0,27	0,99	10	-	-	-	80*2	0,22	31,2	10,5	20,5	638,7	0,067	4,630	
4-15	0,69	2,48	20	-	-	-	80*2	0,11	9,0	10,5	30,5	274,2	0,029	4,597	
5-16	1,13	4,1	70	-	-	-	80*2	0,57	82,3	8,5	78,5	6460,6	0,676	1,350	
5-17	6,20	22,3	5	-	-	-	80*2	0,55	201	10,5	15,5	3109,5	0,325	1,676	
6-18	1,20	4,34	5	-	-	-	80*2	0,88	302	0	5,0	1510,0	0,158	1,508	
7-19	1,20	4,34	10	-	-	-	45*2	0,34	46	10,5	20,5	941,6	0,099	1,607	

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

3.2. Визначення теплової ізоляції

Розрахункова кількість теплової енергії, що передається в одиницю часу крізь послідовно розташовані теплотехнічні опори, визначається за формулою:

$$q = \frac{\tau - t_0}{R}$$

де q – питомі втрати тепла трубопровідної лінії, Вт/м;

τ – температура теплоносія, °С;

t_0 – температура зовнішнього середовища, °С;

R – загальний термічний опір ділянки теплообміну "теплоносій – навколишнє середовище", (м·°С)/Вт.

У табл.3.2. зводимо отримані значення теплових втрат.

Таблиця 3.2. Підсумкові дані втрат тепла через теплоізоляцію

№ з/П	∅ труб., мм	Розрахункова товщина пенополіуретану, мм	Опір захисного шару, (м·°С)/Вт	Сумарний опір трубопроводу, (м·°С)/Вт	Тепл. втр. под. трубопроводу, Вт/м	Тепл. втр. зворот. трубопроводу, Вт/м
1	100,0	32,5	0,013	2,7	84,51	31,01
2	65,0	29,0	0,018	3,4	94,51	35,49
3	40,0	31,5	0,021	4,9	385,14	148,59
4	32,0	25,0	0,026	4,9	816,96	315,19
5	25,0	20,0	0,033	5,0	3582,80	1383,87
6	20,0	20,0	0,035	5,7	3162,69	1230,41
7	15,0	20,0	0,038	6,7	2716,41	1064,68
8	10,0	20,0	0,042	8,2	2230,31	881,07
9	8,0	20,0	0,044	9,1	2024,17	802,35
10	6,0	20,0	0,045	10,3	1799,95	716,05
Всього					4963,93	1914,14

4. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ, МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ (ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІ) ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Для приміщення цеху первинного оброблення деревини виконується обчислення радіуса кола, площа якого у вибраному масштабі відповідає повній потужності навантаження даного структурного підрозділу. Формула має вигляд:

$$P_1 = \pi R_1^2 m = 893,75 \text{ кВА}.$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{P_P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{893,75}{3,14 \cdot 0,5}} = 23,85 \text{ мм},$$

де $m = 0,5$ – коефіцієнт масштабу в кВт/мм².

Обчислений радіус кола дозволяє графічно представити величину освітлювального навантаження на відповідній картограмі:

$$\alpha_1 = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^0}{\pi \cdot R_1^2 \cdot m} = \frac{74,88 \cdot 360^0}{3,14 \cdot 23,85^2 \cdot 0,5} = 30,16^\circ.$$

Після побудови умовних кол навантажень, на плані території підприємства встановлюється положення умовного центру електричного навантаження:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 172 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = 66 \text{ м}.$$

Аналогічні обчислення проводяться для інших виробничих приміщень підприємства. У табл.4.1. подано підсумкові значення.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 4.1. Дані для створення картограми електричних навантажень

№ з/п	Найменування структурного підрозділу	$P_{Рем}$, кВт	$P_{Росв}$, кВт	ΣP , кВт	R, мм	α , град	X, м	Y, м	P_x , кВт•м	P_y , кВт•м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Цех первинного оброблення деревини	818,87	74,88	893,75	23,85	30,16	280	49	250249,62	43793,68
2	Цех складання та оздоблення меблів	296,88	25,87	322,76	14,33	28,86	57	43	18397,08	13878,50
3	Цех виготовлення плитних деталей	166,37	35,62	201,99	11,34	63,48	113	44	22824,90	8887,57
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	371,00	2,04	373,04	15,41	1,97	168	85	62671,20	31708,64
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	177,38	28,22	205,60	11,44	49,42	76	13	15625,90	2672,85
6	Ремонтно-технічна дільниця	64,67	10,71	75,38	6,93	51,15	86	105	6482,77	7915,01
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	343,97	3,34	347,31	14,87	3,46	108	103	37510,01	35773,43
8	Пакувальньо-сортувальне відділення	21,70	11,87	33,57	4,62	127,31	49	104	1645,07	3491,57
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	87,75	7,34	95,09	7,78	27,80	69	106	6561,24	10079,59
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	80,53	6,07	86,60	7,43	25,23	249	71	21563,19	6148,54
11	Центр теплового забезпечення	132,96	5,68	138,64	9,39	14,76	167	104	23152,68	14418,43

Продовження табл.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	152,25	0,93	153,17	9,87	2,18	258	109	39518,80	16695,93
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	30,80	3,92	34,72	4,70	40,62	11	42	381,88	1458,11
14	Пункт пропуску та охорони	10,00	0,59	10,59	2,60	20,09	8	6	84,76	63,57
	Всього	2755	224,8	2979,9					506669,10	196985,43

Зм Арк

№ докum.

Підпи

Дата

Ар

Таблиця 4.2. Дані для створення картограми теплого навантаження меблевої фабрики

№ з/п	Найменування структурного підрозділу	Q_0^p кВт		Q_B^p кВт		$Q_{T.3.}^{max}$ кВт		Q_{Σ} кВт		R , мм	$\alpha_{B3}, ^\circ$	$\alpha_{T3}, ^\circ$	X_i, M	Y_i, M	$Q_{\Sigma} \cdot X_i$	$Q_{\Sigma} \cdot Y_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	Цех первинного оброблення деревини	817,54	453,38	86,59	1357,51	66	120	23	280	49	380101,6	66517,8				
2	Цех складання та оздоблення меблів	276,71	153,45	37,01	467,17	39	118	29	57	43	26628,5	20088,2				
3	Цех виготовлення плитних деталей	333,30	184,84	52,38	570,52	43	117	33	113	44	64468,3	25102,7				
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	22,23	8,04	3,06	33,33	10	87	33	168	85	5598,8	2832,7				
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	726,47	297,68	12,22	1036,36	128	103	4	76	13	78763,7	13472,7				
6	Ремонтно-технічна дільниця	93,60	52,50	6,98	153,08	49	123	16	86	105	13165,2	16073,8				
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	37,32	25,52	3,06	65,90	32	139	17	108	103	7117,0	6787,5				
8	Пакувально-сортувальне відділення	122,00	67,66	6,11	195,77	56	124	11	49	104	9592,7	20360,0				
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	94,50	38,58	3,49	136,58	47	102	9	69	106	9423,8	14477,1				
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	29,84	23,72	5,24	58,79	31	145	32	249	71	14638,1	4173,9				

Продовження табл.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	Центр теплового забезпечення	129,87	142,97	2,62	275,46	66	187	3	167	104	46001,3	28647,5
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	16,10	14,81	2,18	33,09	23	161	24	258	109	8538,3	3607,3
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	29,84	20,40	4,36	54,60	29	135	29	11	42	600,6	2293,2
14	Пункт пропуску та охорони	6,44	4,75	1,31	12,50	14	137	38	8	6	100,0	75,0
	Загалом	2735,74	1488,29	226,61	4450,64						664737,9	224509,4

Координати умовного центру:

$X_0 = 156 \text{ м}$

$Y_0 = 48 \text{ м}$

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Для забезпечення живлення підприємства з розрахунковим навантаженням у розмірі $S_p = 3633$ кВА можуть бути розглянуті два технічно доцільні варіанти:

- Варіант 1 — підключення через кабельну лінію 10 кВ із розміщенням центрального розподільчого пункту безпосередньо на території об'єкта;
- Варіант 2 — живлення від повітряної лінії напругою 35 кВ з додатковим влаштуванням головної знижувальної підстанції.

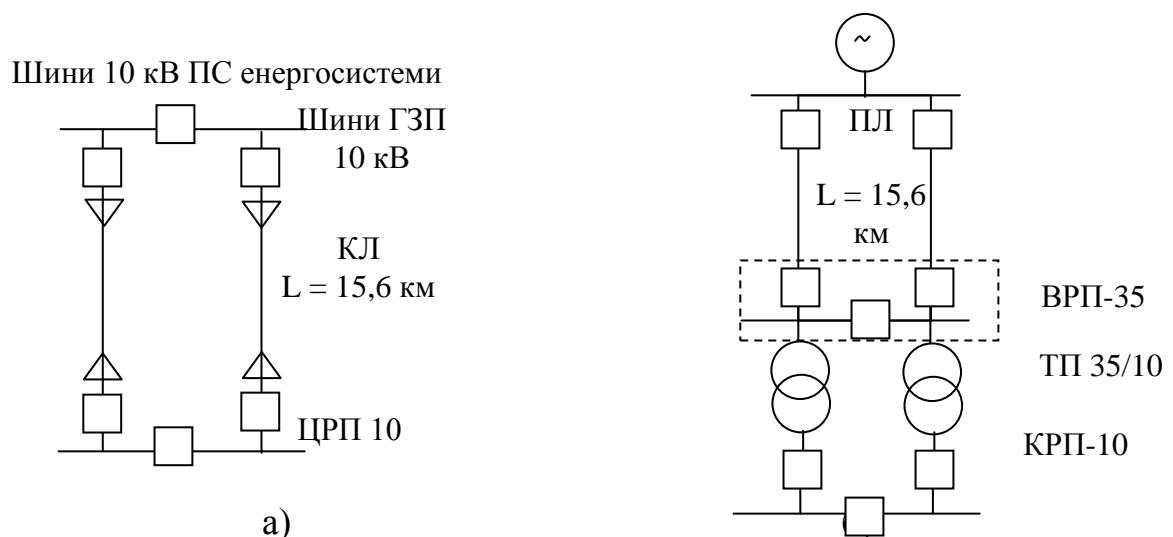


Рисунок 5.1. Схеми організації електропостачання підприємства:
а) КЛ 10 кВ із ЦРП; б) ПЛ 35 кВ з ГЗП

Живлення підприємства передбачається здійснити кабельною лінією напругою 10 кВ, яка підключена до розподільчих шин підстанції енергосистеми (варіант №1, рис. 5.1 а).

Струм для цієї лінії визначається за формулою:

$$I_P = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{3633}{\sqrt{3} \cdot 10} = 209,75 \text{ А.}$$

Для визначення площі перерізу струмопровідної жили КЛ використовується економічна густина струму:

$$F_{ЕК} = \frac{I_P}{j_{ЕК}} = \frac{209,75}{1,4} = 149,82 \text{ мм}^2$$

де $j_{ЕК} = 1,4$ - економічно доцільна густина струму (А/мм²) за нормативами для значення $T_M = 4445$ год [3].

У проєкті приймається кабель типу АСБ (3x150), що забезпечує тривале допустиме навантаження 246 А. Втрати активної потужності на 1 км траси становлять 20 кВт, а вартість прокладки 1 км — 53 тис. грн.

Коефіцієнт завантаження кабелю в умовах нормальної експлуатації:

$$K_3 = \frac{I_P}{n \cdot I_{ДОП}} = \frac{104,9}{246} = 0,43.$$

Допустимий довготривалий струм у випадку одночасного прокладання кількох кабелів в одній траншеї:

$$I'_{ДОП} = I_{ДОП} K_{II} = 246 \cdot 0,92 = 226,32 \text{ А};$$

де враховано коефіцієнт перевантаження K_{II} , рекомендований нормативними документами [3].

Визначаємо втрати потужності та електроенергії в кабельній лінії для $T_M = 4445$ год:

$$\Delta P_l = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 20 \cdot 31,2 \cdot 0,1849^2 = 115,38 \text{ кВт},$$

$$\Delta W_l = \Delta P_l \cdot \tau_{нб} = 115,38 \cdot 2831,2 = 326659,24 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Фінова оцінка втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W \cdot C_0 = 326659,24 \cdot 10,2 \cdot 10^{-3} = 3331,92 \text{ тис. грн.}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Визначення обсягів капітальних вкладень та розрахунків поточних витрат наведено у таблицях 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1. Оцінка інвестиційних витрат на реалізацію варіантів електропостачання

№ вар.	Назва елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	31,2	198	6177,6
	Траншея	км.	15,6	1125,1	17551,56
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	240,9	481,8
<i>Всього</i>					24210,96

Таблиця 5.2. Аналіз експлуатаційних витрат за обраними варіантами

№ вар	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	Pe_j , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	6177,6	5	308,88	5	308,88	617,76
	Траншея	17551,56	5	877,578	5	877,578	1755,156
	Шафи КРП серії КУ-10	481,8	15	72,27	5	24,09	96,36
<i>Всього</i>							2469,276

Розрахунки для варіанту №2 виконуємо за аналогічним підходом, результати зводимо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Порівняльна характеристика техніко-економічних параметрів варіантів

№ з/п	Стаття витрат	I	II
1	Інвестиційні витрати для реалізації кожного варіанту	24210,96	32663
2	Експлуатаційні (поточні) витрати	2469,276	3278,2
3	Сума вартості витрат електричної енергії	3331,92	1810,8
6	Загальні приведені витрати	8708,8912	9008,56

Оскільки розбіжність у приведених витратах між двома варіантами не є суттєвою, з урахуванням вищої надійності перевагу надаємо другому варіанту електропостачання меблевої фабрики.

5.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання

Для забезпечення внутрішнього електроживлення підприємства приймається рівень напруги 10 кВ.

Живлення цехового обладнання та системи освітлення здійснюється через розподільчу мережу з напругою 380/220 В. Зважаючи на виробничі особливості об'єкта, внутрішню мережу електропостачання передбачено виконати кабельною лінією напругою 10 кВ за радіальною схемою. Такий варіант вибору обумовлений вищим рівнем експлуатаційної надійності порівняно з магістральною топологією.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Ел. навантаження на рівнях 0,4 кВ та 10,0 кВ:

$$P_n = 2556 \text{ кВт},$$

$$Q_n = 2413 \text{ кВар}.$$

$$P_g = 2567 \text{ кВт},$$

$$Q_g = 2557 \text{ кВар}.$$

Значення втрат в трансформаторному обладнанні:

$$\Delta P_m = 11 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m = 157 \text{ кВар}.$$

Сумарне електричне навантаження меблевої фабрики:

$$P_p = 2567 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 2570 \text{ кВар}.$$

Передача реактивної потужності з боку енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_c = 2567 \cdot 0.15 = 385 \text{ кВар}.$$

Обсяг реактивної потужності, що потребує компенсації:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 2570 - 385 = 2185 \text{ кВар}.$$

Доцільна кількість силових трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_3 P_{ном}} = \frac{2567}{0.7 \cdot 630} \approx 8 \text{ шт.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Порівняємо декілька варіантів для різної кількості силових трансформаторів.

Варіант 1: визначимо обсяг реактивної потужності, що може бути переданий із мережі 10 кВ до низьковольтної мережі 0,4 кВ для $N = N_0$.

Передана реактивна потужність

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{ном})^2 - P_n} = \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 2578^2} = 1298 \text{ кВар.}$$

Розрахунок необхідної потужності компенсувальних пристроїв (КП) у мережі напругою до 1 кВ виконується за балансом потужностей на шинах трансформаторної підстанції:

$$Q_{кн} = Q_n - Q_n = 2578 - 1298 = 1300 \text{ кВар.}$$

Після розрахунків визначається необхідна сумарна реактивна потужність для встановлення на стороні 0,4 кВ.

Таблиця 6.1. Розміщення компенсуючих пристроїв у низьковольтній мережі

№ варіанту	Q_1 , кВар	$Q_{кн}$, кВар	$Q_{кв}$, кВар
1	593,85	2133,65	207,07
2	1697,32	1030,18	1310,54
3	2407,93	319,57	2021,15

Приймаємо до встановлення БК: 166 кВар - 3 шт; 200 кВар - 2 шт; 100 кВар - 1 шт; 150 кВар - 2 шт.

Втрати потужності в низьковольтному обладнанні компенсації:

$$\Delta P_{кн} = 0,0045 Q_{кн} = 0,0045 \cdot 1298 = 5,84 \text{ кВт.}$$

Втрати потужності у високовольтних блоках компенсації:

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3. Уточнені значення електричних навантажень після впровадження компенсації реактивної потужності

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			P сумарна	m	K _и	cosφ	tgφ	Середнє		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						P _{ср1} кВт	Q _{ср1} квар			P _{р1} кВт	Q _{р1} квар	S _{р1} кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №1,2 (3,0x630,0)																	
Цех первинного оброблення деревини																	
1	Силове навантаження	195	1	-	66	1732	51	0,40	0,60	1,3	693	924	52	1	819	924	1234
	Освітлювальне навантаження									78,0	37,8			74,9	36,3	83,2	
	Всього по цеху									770,8	961,5			893,7	960,0	1311,6	
Цех збирання фурнітури та механізмів																	
2	Силове навантаження	17	2	-	10	111	5	0,60	0,80	0,8	67	50	17	1	81	50	95
	Освітлювальне навантаження									7,1	12,4			6,1	10,5	12,1	
	Всього по цеху									73,9	62,5			86,6	60,6	105,7	
Блок технічного кондиціонування та вентиляції																	
3	Силове навантаження	14	2	-	42	224	26	0,50	0,80	0,8	112	84	11	1	152	84	174
	Освітлювальне навантаження									1,4	0,7			0,9	0,4	1,0	
	Всього по блоку									113,6	84,8			153,2	84,6	175,0	
	Силова по ТП 1,2	226	1	...	66	2068	51	0,42	0,64	1,21	871,8	1058,0	63	1,16	1008,1	1058,0	1461,4
	Освітлювальна по ТП 1,2									86,5	50,8			81,9	47,2	94,5	
	Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2									958,3	1108,8			1090,0	1105,2	1552,3	
	КП 0,4 кВ														-498,0		
	Втрати в тр-рах ТП 1,2 (3,0x630,0)														4,3	64,3	64,4
	На шинах 10 кВ по ТП 1,2														1094,3	671,5	1283,9

Продовження табл. 6.3

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП №3 (2,0x630,0)																
Цех складання та оздоблення меблів																
1	Силове навантаження	55	1	-	58	562	83	0,4	0,8	0,75	169	19	1	297	169	341
	Освітлювальне навантаження									30,82	14,94			25,9	12,5	28,7
	Всього по цеху									255,6	183,5			322,8	181,1	370,1
Цех виготовлення плитних деталей																
2	Силове навантаження	54	2	-	30	319	14	0,40	0,65	1,17	149	21	1	166	149	223
	Освітлювальне навантаження									37,1	18,0			35,6	17,2	39,6
	Всього по цеху									164,7	167,1			202,0	166,4	261,7
Будівля адміністративно-сервісного управління																
3	Силове навантаження	128	0	-	3	253	16	0,70	0,80	0,8	133	128	1	177	133	222
	Освітлювальне навантаження									29,4	14,2			28,2	13,7	31,4
	Всього по АПБ									206,8	147,3			205,6	146,7	252,6
Пункт пропуску та охорони																
4	Силове навантаження	10	1	-	9	148	10	0,50	0,70	1,0	75	33	1	88	75	116
	Освітлювальне навантаження									0,9	0,4			0,60	0,30	0,7
	Всього по прохідній									74,8	75,9			88,3	75,7	116,4
Силова по ТП 3		238	0	...	58	1282	290	0,47	0,75	0,87	526,3	44	1,17	705,5	526,3	880,2
Освітлювальна по ТП 3										98,2	47,6			90,3	43,7	100,3
Всього на шинях 0,4 кВ по ТП 3										701,9	573,8			795,9	570,0	978,9
КП 0,4 кВ															-300,0	
Втрати в тр-рах ТП 3 (2,0x630,0)														2,8	40,0	40,1
Всього на шинях 10 кВ по ТП 3														798,6	310,0	856,7

Продовження табл. 6.3

2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП №4 (1Х630)																
Ділянка утилізації виробничих відходів																
1	Силове навантаження	28	1	-	38	530	32	0,70	0,80	371	278	28	1	371	278	464
	Освітлювальне навантаження									3,0	1,5			2,0	1,0	2,3
	Всього по ділянці									374,0	279,7			373,0	279,2	466,0
	Силова по ТП 4	28	1	...	38	530	32	0,7	0,8	371,0	278,3	28	1,00	371,0	278,3	463,8
	Освітлювальна по ТП 4									3,0	1,5			2,0	1,0	2,3
	На шинах 0,4 кВ по ТП 4									374,0	279,7			373,0	279,2	466,0
	КП 0,4 кВ														-100,0	
	Втрати в тр-рах ТП 4 (1,0х630,0)													1,2	12,5	12,6
	Всього на шинах 10 кВ по ТП 4													374,2	191,8	420,5
ТП №5(2,0Х630,0)																
Станція компресійно-конденсаційних процесів																
1	Силове навантаження	58	0,8	-	36	496	45	0,60	0,70	298,4	304,5	28	1	344	304	459
	Освітлювальне навантаження									4,6	8,0			3,3	5,8	6,7
	Всього по цеху									302,2	311,6			347,3	309,4	465,1
Центр теплового забезпечення																
2	Силове навантаження	24	2,1	-	16	189	8	0,6	0,7	114	116	24	1	133	116	176
	Освітлювальне навантаження									5,91	10,34			5,7	9,8	11,4
	Всього по центру									119,6	126,2			138,6	125,8	187,2
Ремонтно-технічна діляниця																
3	Силове навантаження	41	0,3	-	18	218	60	0,20	0,50	44	76	24	1	65	76	99
	Освітлювальне навантаження									10,5	5,1			10,7	5,2	11,9
	Всього по ділянці									54,1	80,6			75,4	80,7	110,4

Продовження табл. 6.3

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	Пакувально-сортувальне відділення															
	Силове навантаження	7	1,0	-	5	31	5	0,70	0,80	0,8	16	7	1	22	18	28
	Освітлювальне навантаження									11,6	20,2			11,9	20,6	23,7
	Всього по відділенню									33,3	36,4			33,6	38,5	51,1
5	Центральний склад матеріалів і комплектуючих															
	Силове навантаження	34	0,90	-	9,10	148	10	0,50	0,70	1	74	33	1	88	75	116
	Освітлювальне навантаження									7,2	12,5			7,3	12,7	14,7
	Всього по складу									81,2	87,9			95,1	88,2	129,7
	Силова по ТП 5	164	0	...	36	1082	120	0,51	0,68	1,07	587	60	1,13	621,6	586,8	854,8
	Освітлювальна по ТП 5									714	56			39,0	54,1	66,7
	Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 5									1264,4	642,8			660,5	640,9	920,3
	КП 0,4 кВ														-400,0	
	Втрати в тр. ТП 5 (2,0x630,0)													2,8	40,3	40,4
	Всього на шинах 10 кВ по ТП 5													663,3	281,2	720,4
	Всього по фабриці на стороні 0,4 кВ													2556,5	2413,3	3515,6
	КП 0,4 кВ														-	
	Втрати в тр-рах ТП 1-5													11,0	157,1	157,5
	КП 10 кВ														-900,0	
	Всього по фабриці 10 кВ													2567,5	372,4	2594,3
	Всього по фабриці													2567,5	372,4	2594,3

7. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

7.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Проводимо визначення необхідної трансформаторної потужності для кожної цехової ТП. Для ТП №1:

Вибираємо номінальну потужність трансформаторного обладнання:

$$S_{TP} = \frac{S_p}{K_z \cdot (n-1)} = \frac{1283,9}{1,4 \cdot 2} = 458,5 \text{ кВА.}$$

Відповідно до стандартного ряду типорозмірів, приймаємо трансформатор типу ТМ з номіналом 630/10 кВА.

Розрахунок коефіцієнта завантаження трансформатора у штатному режимі експлуатації:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{TP}} = \frac{1283,9}{3 \cdot 630} = 0,679.$$

Подібні розрахункові дії виконуються і для решти трансформаторних підстанцій підприємства. Узагальнені результати розміщено у таблиці 7.1, а в таблиці 7.2 - перевірку відповідності параметрів ТП.

7.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

У вигляді таблиці 7.3 подано інформацію щодо складу обладнання та запропонованих місць встановлення трансформаторних підстанцій.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 7.1. Розподіл трансформаторних підстанцій за розташуванням і характеристиками

№ підстанції	Кількість одиниць	S_n , кВА	Маркування	K_3	$S_{ном} > S_p/K2$	$S_{ном} > S_p/K1$	Конструктивне виконання підстанції
1	2	855,92	ТМ-630-10/0,4	0,679	793	611	Вбудована
2	1	427,96		0,679	396	306	Вбудована
3	2	856,68		0,680	793	612	Вбудована
4	1	420,48		0,667	389	300	Вбудована
5	2	720,43		0,572	667	515	Вбудов.

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

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання

На основі структурної розрахункової моделі системи електропостачання (див. рис. 8.1) виконується побудова відповідної схеми заміщення, зображеної на рис. 8.2 нижче.

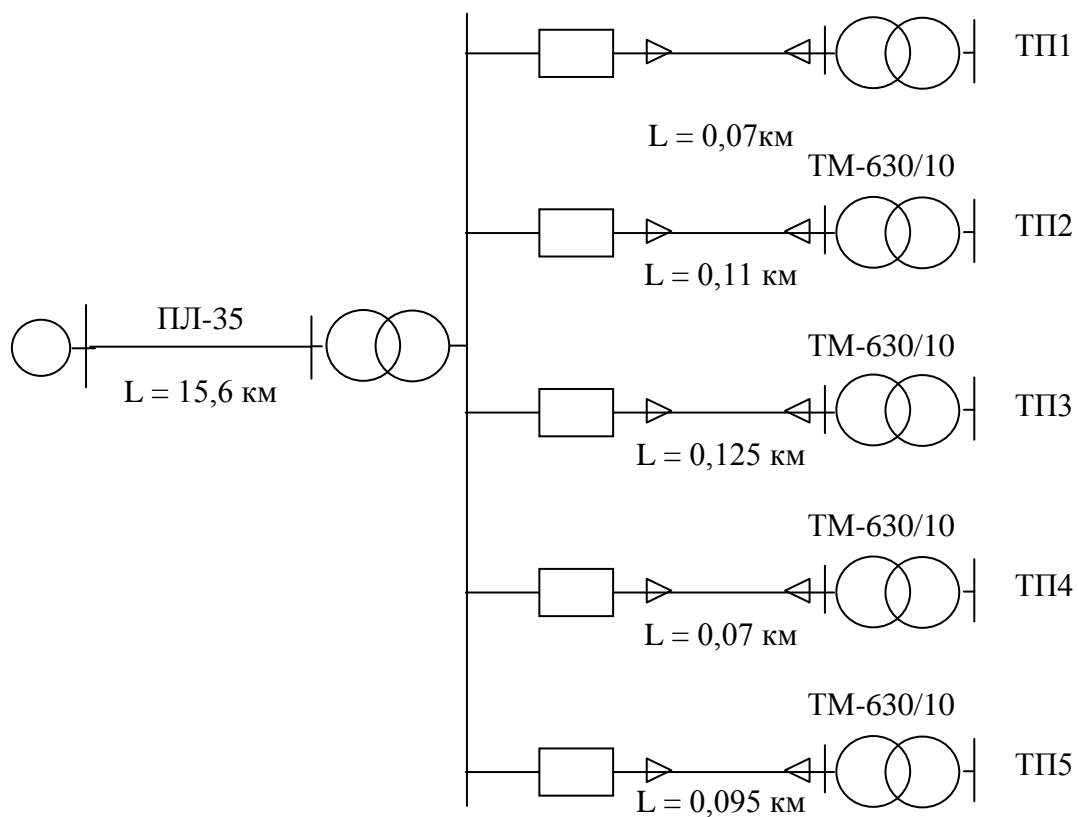


Рисунок 8.1. Зовнішній вигляд розрахункової схеми

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

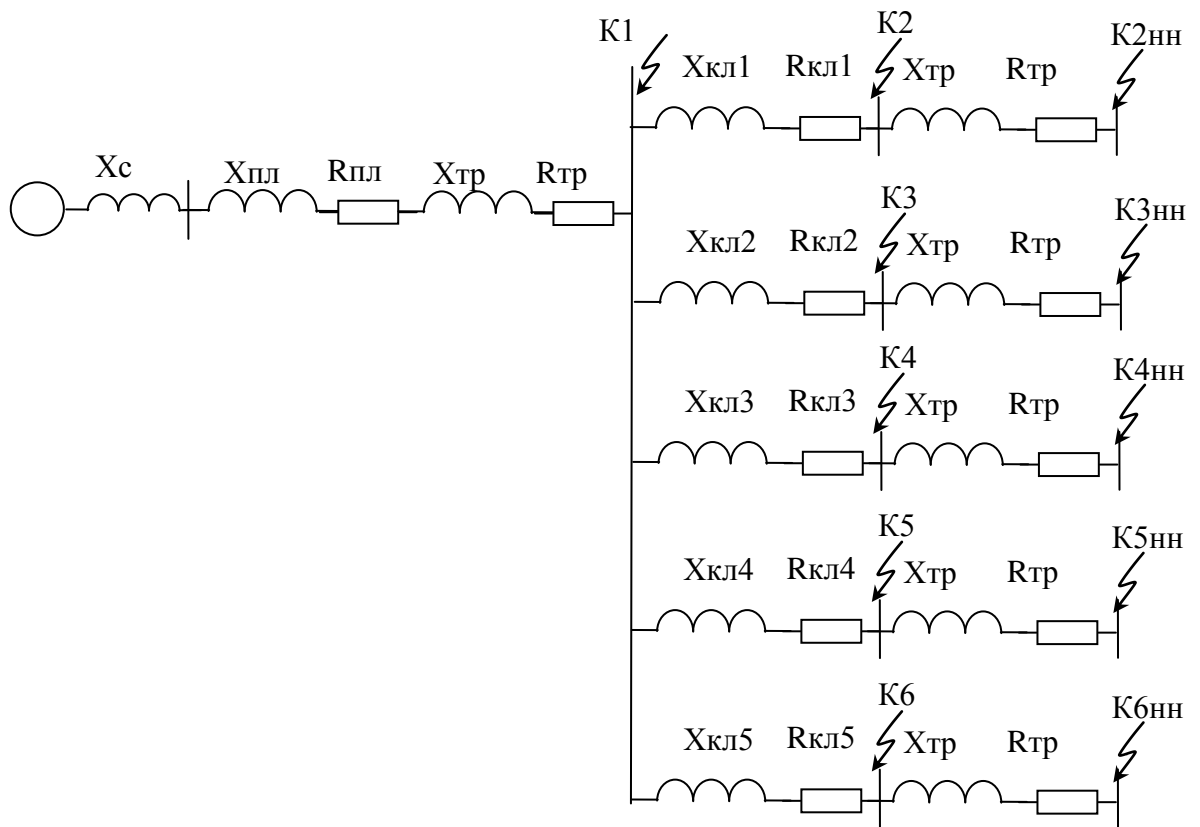


Рисунок 8.2. Еквівалентна схема заміщення

Виконуємо визначення опорів елементів схеми заміщення:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{37^2}{100} = 13,69 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_c}{25} = \frac{13,69}{25} = 0,55 \text{ Ом}$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,249 \cdot 15,6 = 3,8844 \text{ Ом}$$

$$X_l = x_0 \cdot l = 0,427 \cdot 15,6 = 6,66 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{23,5 \cdot 10,5^2}{2500^2} \cdot 10^3 = 0,41 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{6,5 \cdot 10,5^2}{2500} \cdot 10 = 2,87 \text{ Ом}$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Розрахунок надперехідних складових струмів, сталої часу, ударних коефіцієнтів та відповідного значення струму:

$$I''_{K0} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 20,83} = 1,03 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{20,35}{314 \cdot 4,434} = 0,0146 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0146}} = 1,504$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial 0}I''_{K0} = \sqrt{2} \cdot 1,504 \cdot 1,03 = 2,19 \text{ кА}$$

Значення опорів до відповідних точок:

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 20,35 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 1,639 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 4,4344 \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,357 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 20,83 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 1,678 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 1,639 + 2,87 = 4,509 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,357 + 0,41 = 0,767 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,767^2 + 4,509^2} = 4,574 \text{ Ом}$$

Відповідні значення надперехідних складових струмів, сталої часу, ударних коефіцієнтів та значення струму:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,574} = 1,33 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{4,509}{314 \cdot 0,767} = 0,0187 \text{ с}$$

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0187}} = 1,586$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,586 \cdot 1,33 = 2,98 \text{ кА}$$

З метою наступного обчислення струмів короткого замикання необхідно здійснити підбір кабельних з'єднань до цехових підстанцій та високовольтного обладнання. Проводимо підбір кабелю від шин НН ГЗП до ТП-1. Решта кабельних ліній обираються за аналогічним принципом. У вигляді табл. 8.1. подано дані щодо вибору кабельних мереж 10 кВ заводської системи електропостачання.

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1601,6}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 46,23 \text{ А}$$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{46,23}{1,4} = 33,02 \text{ мм}^2$$

$$B_{\kappa} = I_{K1}''^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 1,33^2 (0,525 + 0,0187) = 0,96 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{0,96} \cdot 10^3 = 10,42 \text{ мм}^2$$

Для заданих умов обрано кабель 3×ААШВ–10 (3×35 мм²).

Параметри кабелю:

$$r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$$

$$x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$$

$$I_{дон} = 80 \text{ А}$$

Визначаємо повні опори:

$$R_{\kappa л} = r_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,89 \cdot 0,07 = 0,062 \text{ Ом}$$

$$X_{\kappa л} = x_0 \cdot l_{\kappa л} = 0,095 \cdot 0,07 = 0,007 \text{ Ом}$$

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{к7} = 4,509 + 0,007 = 4,516 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{к7} = 0,767 + 0,062 = 0,829 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,829^2 + 4,516^2} = 4,591 \text{ Ом}$$

Відповідні значення надперехідних складових струмів, сталої часу, ударних коефіцієнтів та значення струму:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,591} = 1,32 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{4,516}{314 \cdot 0,829} = 0,0173 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0173}} = 1,561$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,561 \cdot 1,32 = 2,91 \text{ кА}$$

Відповідні параметри цехового трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном}}^2} = \frac{6,5 \cdot 10,5^2}{630^2} \cdot 10^3 = 1,806 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{630} \cdot 10 = 9,625 \text{ Ом}$$

Значення опорів, зведених до сторони 0,4 кВ:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{\text{тр}}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (4,516 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0205 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{\text{тр}}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (0,829 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0038 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0038^2 + 0,0205^2} = 0,0208 \text{ Ом}$$

Відповідні значення надперехідних складових струмів, сталої часу, ударних коефіцієнтів та значення струму:

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$I_{K3}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0208} = 11,1 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0205}{314 \cdot 0,0038} = 0,0172 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0172}} = 1,559$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,559 \cdot 11,1 = 24,47 \text{ кА}$$

Таблиця 8.1. Характеристики КЛ 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1, 2	0,07	0,89	0,095	0,062	0,007
3	0,11	1,24	0,101	0,136	0,011
4,5	0,125	1,24	0,101	0,155	0,013
6	0,07	1,24	0,101	0,087	0,007
7, 8	0,095	1,24	0,101	0,118	0,01

Таблиця 8.2. Оцінка параметрів струмів короткого замикання

№ точки к.з.	R , Ом	X , Ом	I_k'' , кА	T_a , с	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$, кА
0	4,4344	20,3500	1,03	0,0146	1,504	2,19
1	0,7670	4,5090	1,33	0,0187	1,586	2,98
2	0,8290	4,5160	1,32	0,0173	1,561	2,91
3	0,0038	0,0205	11,10	0,0172	1,559	24,47
4	0,9030	4,5200	1,32	0,0159	1,533	2,86
5	0,0039	0,0205	11,05	0,0167	1,549	24,21
6	0,9220	4,5220	1,31	0,0156	1,527	2,83

8.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Для ілюстрації підходу проведемо підбір кабельної лінії (КЛ) для трансформаторної підстанції ТП1. Розрахункова потужність, що припадає на ТП1, становить:

$$S_p = 1601,6 \text{ кВА.}$$

Розрахований робочий струм визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{\text{ср.ном}}} = \frac{1601,6}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 46,23 \text{ А}$$

Приймаємо значення допустимої струмової густини:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}} = \frac{46,23}{1,4} = 33,02 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо термічний імпульс, що діє на провідник:

$$B_k = I_{\text{КЛ}}^2 (t_{\text{р.з. min}} + T_a) = 1,33^2 (0,525 + 0,0187) = 10,42 \text{ кА}^2\text{с}$$

З урахуванням термостійкості обчислюємо мінімально допустимий переріз кабелю:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{0,96} \cdot 10^3 = 10,42 \text{ мм}^2$$

На основі отриманих значень обирається кабельна лінія типу 3хААШв-10 (3×35 мм²). Перевіряємо відповідність кабелю за умовами довготривалого струмового навантаження:

$$I_p = 46,23 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{\text{дон}} = 0,92 \cdot 80 = 73,6 \text{ А}$$

Також перевіряється придатність КЛ до експлуатації в умовах короткочасного аварійного навантаження:

$$I_{\text{ав}} = 92,46 \text{ А} \leq K_{\text{ан}} \cdot K_n' \cdot I_{\text{дон}} = 1,25 \cdot 1 \cdot 80 = 100 \text{ А}$$

Аналогічно виконано підбір інших кабельних ліній. У табл. 8.3. наведено узагальнені результати обґрунтування типу кабелів, що доцільно використати для високовольтної мережі.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 8.3 Обґрунтування типу кабелів для високовольтної мережі

№ КЛ	n , шт	S_p , МВА	I_p , А	$I_{p,ав.}$, А	$F_{ев}^2$, мм ²	$B_{к2}$, кА ² с	F_{min}^2 , мм ²	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	K_n	$K_n I_{доп}$, А	$K_{ан}$	K_n	$K_{ан} K_n I_{доп}$, А
1, 2, 3	2	1601,6	46,23	92,46	33,02	0,96	10,5	ААШВ - 2(3х 35)	80	0,92	73,6	1,25	1	100
4, 5	2	1004,9	29,01	58,02	20,72	0,96	10,5	ААШВ - 2(3х 25)	65	0,92	59,8	1,25	1	81,25
6	2	474,5	13,7	27,4	9,79	0,96	10,5	ААШВ - 2 (3х 25)	65	0,92	59,8	1,25	1	81,25
7, 8	2	420,48	12,14	24,28	8,67	0,96	10,5	ААШВ - 2(3х 25)	65	0,92	59,8	1,25	1	81,25

8.3. Вибір електрообладнання

Для секції високої напруги (35 кВ) передбачено використання вакуумного вимикача серії ВРС-35. Деталізовані характеристики та параметри вимикачів наведено у додатку А, таблиця А.1.

На стороні низької напруги (від головної розподільчої підстанції до трансформаторних підстанцій) обрано вакуумні вимикачі ВР1-10-20/630 виробництва РЗВА. Їх технічні параметри подано в додатку А, таблиця А.2. Ці пристрої використовуються в комплектних розподільчих установках серії КУ-10Ц і відповідають вимогам міжнародного стандарту якості ISO 9001.

Підбір вимикачів для фідерів 10 кВ, що йдуть до трансформаторних підстанцій, представлено в таблиці А.3 додатку А.

Для комутації на високій стороні ГРП використано роз'єднувачі РНДЗ 1-35/1000. Їх технічні характеристики узагальнено в таблиці А.4 того ж додатку.

Щоб запобігти пошкодженню обладнання підстанції від атмосферних і внутрішніх перенапруг, передбачено встановлення розрядників на вводах силових трансформаторів, які підключені до повітряних ліній.

На стороні 35 кВ застосовується розрядник типу ВРС-35. Для захисту на стороні 10 кВ передбачено встановлення розрядника типу РВО-10У1 із такими параметрами: номінальна напруга $U_{ном} = 10$ кВ, робочий діапазон напруги 26–30,5 кВ, імпульсна стійкість $t = 8$ мкс, струм $I = 3000$ А.

Вибір трансформаторного обладнання для потреб внутрішнього споживання підстанції. Потужність споживачів визначена та подана в таблиці А.5 додатку А.

Розрахункове навантаження визначається за формулою з врахуванням коефіцієнт попиту:

$$S_p = k_{II} \cdot S_{ВІ\max} = 0,70 \cdot 31,4 = 21,981 \text{ кВт},$$

Для забезпечення надійності електропостачання передбачено встановлення двох силових трансформаторів типу ТМ-25/10 (ваховуючи

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

можливість у подальшому розширення підприємства та під'єднання нових споживачів до підстанції, що проектується):

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{21,981}{2 \cdot 25} = 0,44.$$

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

9. ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

9.1. Актуальність використання відновлювальних джерел на підприємствах деревообробної промисловості

Меблева фабрика є комплексним виробничим підприємством, що спеціалізується на виготовленні меблів із масиву деревини та плитних матеріалів (ДСП, МДФ тощо). Виробничий процес включає багатоетапну технологію, яка охоплює первинну обробку сировини, виготовлення окремих деталей, складання конструкцій, оздоблення, пакування та зберігання готової продукції. Для забезпечення безперебійної роботи підприємства функціонують різноманітні структурні підрозділи, такі як цех первинного деревооброблення, цехи виготовлення плитних деталей, компресорна станція, блок вентиляції та кондиціонування, центр теплового забезпечення, ремонтно-технічна дільниця тощо. Всі ці складові формують складну систему енергоспоживання з високим рівнем навантаження, що суттєво впливає на загальні витрати підприємства.

За останні роки в Україні спостерігається стійка тенденція до зростання тарифів на електроенергію та традиційні види палива — у середньому на 10–15% щорічно. Для промислових споживачів це означає значне збільшення собівартості продукції та зниження конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Зокрема, в деревообробній промисловості частка енергетичних витрат може досягати 15–25% від загальних операційних витрат. У випадку меблевих фабрик, де використовуються енергомісткі технології сушіння деревини, шліфування, фарбування, а також системи вентиляції і компресії, цей показник часто є ще вищим.

Одночасно з економічними викликами, підприємства все більше орієнтуються на екологічні стандарти та вимоги сталого розвитку, що диктують необхідність зменшення викидів парникових газів і зниження

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

негативного впливу на навколишнє середовище. Відповідно до міжнародних досліджень, деревообробна промисловість є одним із суттєвих джерел викидів CO₂ через використання викопного палива і електроенергії, виробленої на теплових електростанціях. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища, середній рівень викидів CO₂ у деревообробній галузі становить приблизно 0,4–0,7 кг на кВт·год спожитої енергії.

Враховуючи специфіку виробництва меблевої фабрики, важливо відзначити, що вона має значний потенціал для впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Зокрема:

- **Біомаса.** Виробничий процес забезпечує постійний вихід великої кількості деревних відходів — тирси, тріски, обрізків, які зазвичай становлять до 25–30% від загальної маси обробленої сировини. Використання цих відходів як палива для котелень чи міні-ТЕЦ дає змогу не лише знизити витрати на традиційні енергоносії, а й розв'язати проблему утилізації відходів. За попередніми оцінками, використання біомаси може забезпечити до 40% потреб підприємства у тепловій енергії.

- **Сонячна енергетика.** Загальна площа дахів і відкритих територій на фабриці складає близько 1200 м², що потенційно дозволяє встановити сонячну електростанцію потужністю до 150 кВт. З урахуванням середньорічної інсоляції регіону (близько 1100 кВт·год/м²) і коефіцієнта корисної дії фотомодулів (близько 75%), така СЕС може генерувати приблизно 120–130 тис. кВт·год електроенергії на рік. Це дозволить знизити споживання електроенергії від мережі на 15–20%, особливо у денний період.

- **Вітрова енергетика.** Враховуючи кліматичні умови регіону, вітрова енергетика поки що є менш перспективною для підприємства через недостатню середню швидкість вітру (менше 4 м/с). Проте в окремих випадках можливе використання малих вітрових установок для забезпечення автономних енергетичних потреб (наприклад, освітлення або вентиляції на віддалених ділянках).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Впровадження ВДЕ має також низку важливих переваг, що виходять за межі простої економії:

- **Енергетична незалежність.** Підприємство зможе частково звільнитися від коливань тарифів на зовнішні енергоресурси, підвищити надійність енергопостачання та знизити ризики простоїв виробництва через перебої в електромережі.

- **Екологічна відповідальність та імідж.** Використання чистих джерел енергії покращує екологічні показники діяльності підприємства, що важливо для отримання «зелених» сертифікатів і доступу до ринків зі строгими екологічними вимогами. Це також підвищує довіру споживачів і партнерів.

- **Державна підтримка.** В Україні діють програми грантової та кредитної підтримки для підприємств, які інвестують у енергоефективність і ВДЕ. Впровадження таких рішень дозволяє отримати часткове фінансування і знизити початкові інвестиційні витрати.

Таким чином, враховуючи високий рівень енергоспоживання меблевої фабрики, наявність великих обсягів біомаси і можливості використання сонячної енергії, інтеграція відновлювальних джерел енергії у систему енергопостачання підприємства є одним із найбільш ефективних та перспективних напрямів модернізації. Це сприятиме не лише зменшенню експлуатаційних витрат, а й підвищенню загальної стійкості та екологічної безпеки виробництва, що є ключовими чинниками розвитку сучасних промислових підприємств.

9.2. Розрахунок раціонального кута нахилу геліоколекторів для м. Кропивницький

Одним із найважливіших параметрів, що впливають на ефективність роботи геліосистеми, є правильний вибір кута нахилу панелей. Від цього параметра залежить кількість сонячного випромінювання, яка надходить на

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

поверхню колектора протягом доби, місяця або року. Географічна широта м. Кропивницький: $\phi = 48,5^{\circ}$. Враховуючи цей факт, визначимо значення оптимального кута нахилу панелей:

$$\beta_{опт} = \phi \cdot 0,76 + 3,1 = 48,5 \cdot 0,76 + 3,1 = 39,96.$$

Максимальна генерація влітку (менший кут через високе положення Сонця):

$$\beta_{літо} = \phi - 10^{\circ} = 48,5^{\circ} - 10^{\circ} = 38,5^{\circ}$$

Максимальна генерація взимку (більший кут через низьке Сонце):

$$\beta_{зима} = \phi + 15^{\circ} = 48,5^{\circ} + 15^{\circ} = 63,5^{\circ}$$

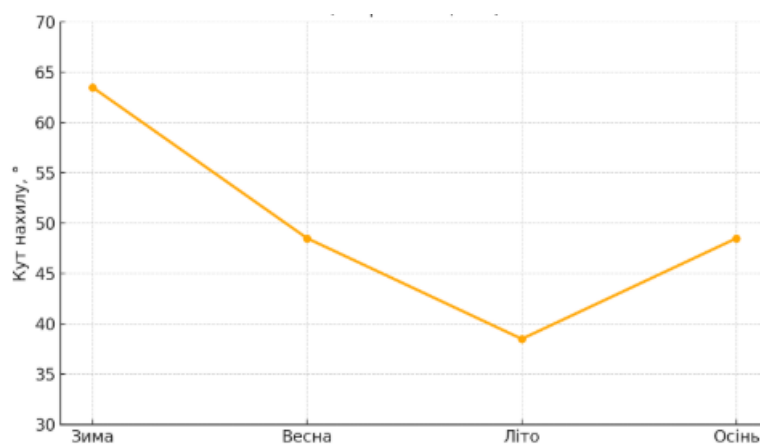


Рисунок 9.1. Залежність оптимального кута нахилу геліоколекторів від пори року для м. Кропивницький

Для умов м. Кропивницький, якщо геліоколектори працюватимуть цілий рік, оптимальним є кут нахилу $39,96^{\circ}$. Якщо ж система буде орієнтована на сезонну роботу, доцільно змінювати кут у відповідності до цілей: зменшувати до $38,5^{\circ}$ влітку або збільшувати до $63,5^{\circ}$ взимку. У разі використання систем з можливістю змінного кута нахилу (наприклад, з ручним або автоматичним регулюванням), можна досягти ще більшої ефективності.

Для обґрунтування доцільності застосування сонячних колекторів на території м. Кропивницький було проаналізовано середньорічний розподіл сонячної потужності та інсоляції.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

На рис. 9.2 зображено середньодобову глобальну сонячну радіацію (GHI), яка сягає максимуму у червні–липні (6.5–6.6 кВт·год/м²/день) і мінімуму взимку (1.0–1.2 кВт·год/м²/день). Це свідчить про потенційно високу ефективність використання геліосистем у весняно-літній період для м. Кропивницький. На рис. 9.3 подано річну криву інсоляції — кумулятивної сонячної енергії за місяць. Дані підтверджують доцільність оптимізації кута нахилу панелей відповідно до сезонних змін сонячної активності.

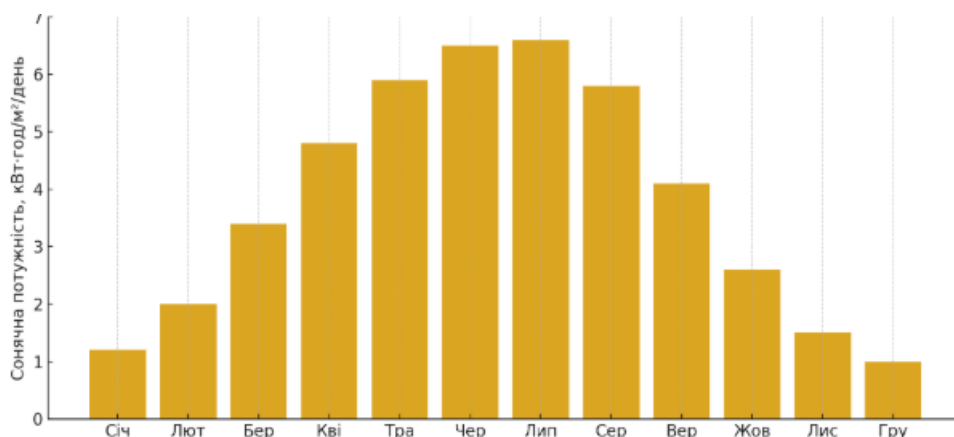


Рисунок 9.2. Графік розподілу сонячної потужності (GHI) впродовж року для м. Кропивницький

На графіку зображено середньодобові значення глобальної сонячної радіації за кожен місяць, які є основою для оцінки ефективності використання сонячних колекторів.

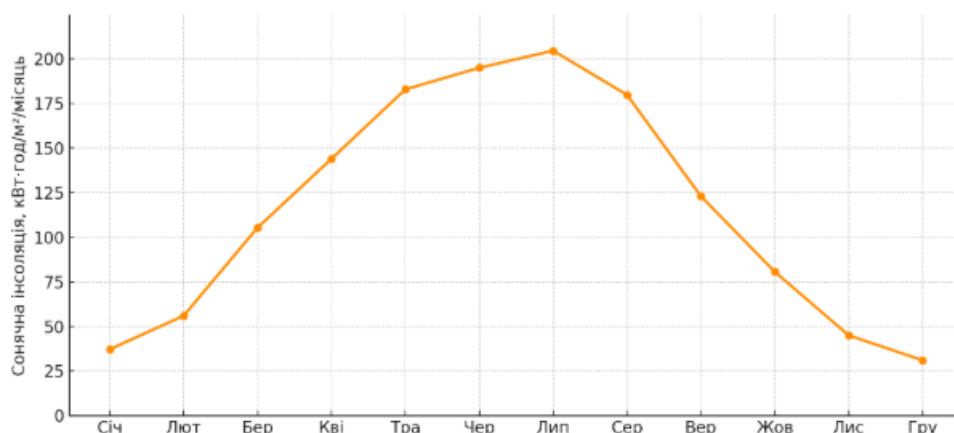


Рисунок 9.3. Графік розподілу сонячної інсоляції впродовж року для м. Кропивницький

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Графік демонструє зміну сумарної сонячної енергії, що надходить на одиницю площі поверхні за кожен місяць року, що дозволяє обґрунтувати доцільність встановлення сонячних систем.

9.3. Визначення теплових навантажень та нормативної витрати води на ГВП

Розрахувати обсяг теплової енергії, необхідної для забезпечення потреб підприємства у гарячій воді, а також визначити нормативну витрату води для системи гарячого водопостачання (ГВП).

Нормативна витрата гарячої води залежить від кількості споживачів (працівників, технологічного обладнання), типу підприємства та характеру використання води.

Проведемо прикладний розрахунок теплоспоживання для системи гарячого водопостачання одного з виробничих підрозділів меблевого підприємства — цеху первинного оброблення деревини (чисельність персоналу — 124 працівники, режим роботи — у дві зміни).

Орієнтовне середньотижневе теплове навантаження на ГВП у період опалювального сезону становить:

$$Q_{Г.З}^{СЕР.Т} = \frac{atmc_B \cdot (t_{Г} - t_{Х})}{n_C} = \frac{40 \cdot 124 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{2 \cdot 8 \cdot 3600} = 36,08 \text{ кВт.}$$

У літній період середнє теплове навантаження системи гарячого водопостачання:

$$Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т.} = Q_{Г.З.}^{СЕР.Т.} \cdot \frac{t_{Г} - t_{Х.Л.}}{t_{Г} - t_{Х.З.}} \beta = 36,08 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 1 = 18,04 \text{ кВт.}$$

Максимальне споживання теплоти для ГВП у холодну пору року:

$$Q_{Г.В.}^{\max} = \chi Q_{Г.}^{СЕР.Т.} = 36,08 \cdot 2,4 = 86,59 \text{ кВт.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

У найінтенсивніший період літа:

$$Q_{г.л.}^{max} = \chi Q_{г.л.}^{сер.т.} = 18,04 \cdot 2,4 = 43,3 \text{ кВт}$$

Аналогічні обчислення виконано для решти підрозділів фабрики. У табл. 9.1 подано підсумкові результати розрахунків.

Таблиця 9.1. Параметри теплового навантаження на ГВП для окремих підрозділів та фабрики загалом

№ з\п	Найменування структурного підрозділу фабрики	m	$Q_{г.з.}^{сер.т.}$	$Q_{г.л.}^{сер.т.}$	$Q_{г.з.}^{max}$	$Q_{г.л.}^{max}$
1	Цех первинного оброблення деревини	124	36,08	18,04	86,59	43,30
2	Цех складання та оздоблення меблів	53	15,42	7,71	37,01	18,51
3	Цех виготовлення плитних деталей	75	21,82	10,91	52,38	26,19
4	Ділянка утилізації виробничих відходів	7	1,27	1,02	3,06	2,44
5	Будівля адміністративно-сервісного управління	28	5,09	4,07	12,22	9,78
6	Ремонтно-технічна дільниця	16	2,91	2,33	6,98	5,59
7	Станція компресійно-конденсаційних процесів	7	1,27	1,02	3,06	2,44
8	Пакувально-сортувальне відділення	14	2,55	2,04	6,11	4,89
9	Центральний склад матеріалів і комплектуючих	8	1,45	1,16	3,49	2,79
10	Цех збирання фурнітури та механізмів	12	2,18	1,75	5,24	4,19
11	Центр теплового забезпечення	6	1,09	0,87	2,62	2,10
12	Блок технічного кондиціонування та вентиляції	5	0,91	0,73	2,18	1,75
13	Ділянка виготовлення пакувальної тари	10	1,82	1,45	4,36	3,49
14	Пункт пропуску та охорони	3	0,55	0,44	1,31	1,05
Всього		368	94,42	53,54	226,61	128,49

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9.4. Визначення параметрів та підбір геліоколектора

Для системи гарячого водопостачання (ГВП) рекомендується виконувати розрахунок параметрів і вибір геліоколектора за такою послідовністю:

1. Визначити необхідну потужність геліоколектора, щоб забезпечити потреби у гарячій воді. Для цього слід врахувати обсяг споживання гарячої води в будівлі та середню температуру, до якої нагрівається вода у бойлері.

2. Підібрати геліоколектор, що відповідає необхідній потужності. При цьому важливо звернути увагу на такі характеристики, як ККД, розміри, тип конструкції і правильне розташування щодо сонця.

3. Обчислити кількість геліоколекторів, які будуть потрібні для повного задоволення потреб у гарячій воді, використовуючи інформацію про середньоденну сонячну інсоляцію для регіону, де планується монтаж системи.

4. Визначити найбільш ефективний кут нахилу і орієнтацію геліоколекторів для максимального збору сонячної енергії.

5. Провести економічний аналіз вартості встановлення і подальшої експлуатації системи на основі геліоколекторів і порівняти ці показники з альтернативними джерелами теплової енергії.

Для прикладу було обрано плоский сонячний колектор моделі ATMOSFERA, здатний забезпечити до 5000 літрів гарячої води впродовж доби, відповідно до інформації, наведеної в [11]. Детальніше ознайомимось із комплектацією цього геліоколектора (див. рисунок 9.3). На рис. 9.4 наведено річний тепловий вихід геліоколекторної системи за умови її встановлення у Центральному регіоні України (м. Кропивницький).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

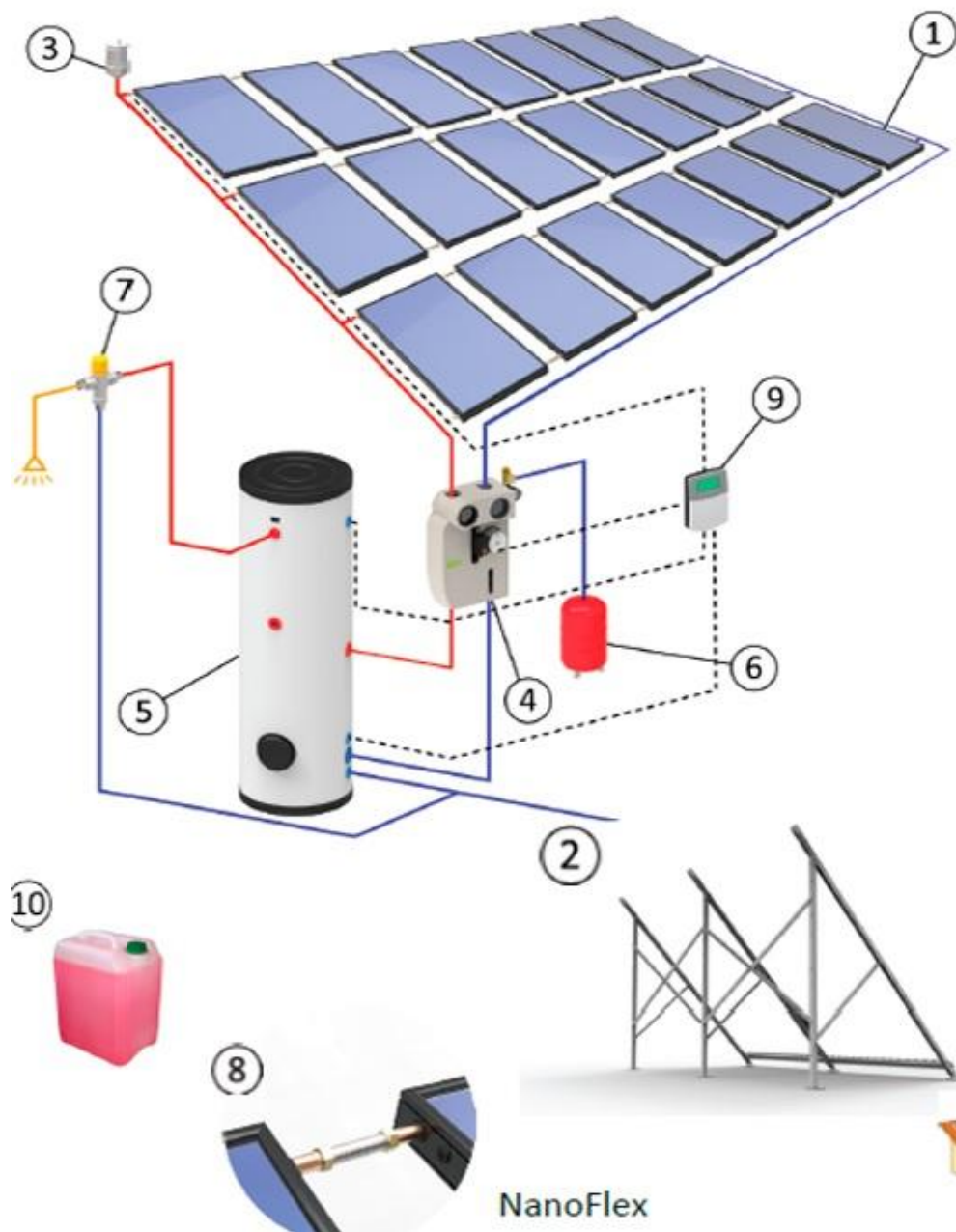


Рисунок 9.4. Елементи геліоколекторної установки: колекторна сонячна панель (1), монтажні кріплення (2), повітряний трубопровід із запірною арматурою (3), насосна станція (4), збірний бак (5) і компенсаційний резервуар (6), опорний кронштейн (7) для ємності (6), гнучкі з'єднання NanoFlex (8), регулятор геліосистем (9), робоча рідина геліоустановки (10)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

9.5. Економічне обґрунтування впровадження сонячних колекторів

Аналіз економічної доцільності встановлення системи сонячних колекторів базується на сучасних ринкових пропозиціях та враховує актуальні ціни на обладнання і монтажні роботи станом на 2025 рік.

Таблиця 9.2. Кошторис впровадження геліоколекторної системи

№	Найменування робіт/обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Заг. варт., грн
1	Плоский сон.колектор преміум-класу	1	1 350 000	1 350 000
2	Пуско-налагоджувальні роботи	1	15 000	15 000
3	Проектування та монтажні роботи	1	25 000	25 000
	Разом, K_{Σ}			1 390 000

Загальний обсяг капітальних вкладень сягає:

$$K_{\Sigma} = 1\,350\,000 + 15\,000 + 25\,000 = 1\,390\,000 \text{ грн}$$

На сьогоднішній день на виробничому об'єкті функціонує традиційна система підігріву води, що використовує власне джерело водопостачання. Холодна вода з артезіанської свердловини, розташованої на промисловій території, попередньо нагрівається до температури 60°C для забезпечення потреб гарячого водопостачання.

Для визначення вартості природного газу, необхідного для нагрівання 1 м³ холодної води з початковою температурою 10°C, розраховуємо необхідну кількість теплової енергії:

$$Q = mc_B \cdot \Delta t = 4,18 \cdot 1000 \cdot (60 - 10) = 209\,000 \text{ кДж}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Теплотворна здатність природного газу становить 36 000 кДж/м³.
Порівняння з розрахунковим навантаженням системи ГВП:

- $Q_{розр} = 209\ 000$ кДж
- $Q_{газу} = 36\ 000$ кДж/м³

Умова $Q_{розр} > Q_{газу}$ виконується, що підтверджує технічну можливість реалізації проекту.

Характеристика котельного обладнання

На території підприємства у Центрі теплового забезпечення встановлено паровий котел марки ДКВР-4-13ГМ. На рис. 9.5 наведена технологічна схема котельного господарства, що включає наступні основні вузли.

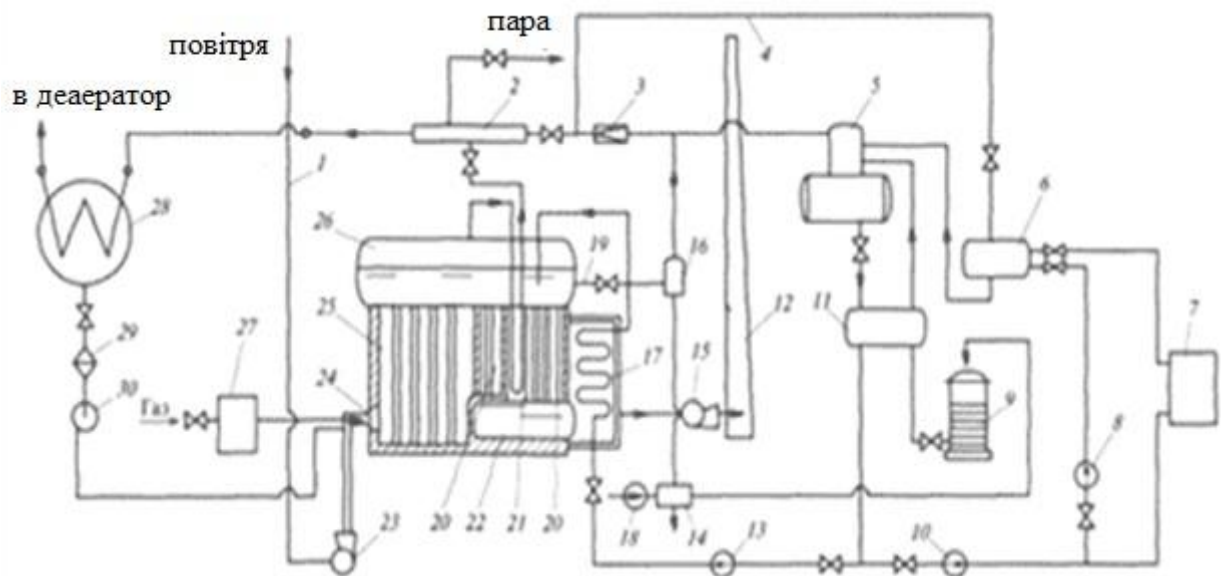


Рисунок 9.5. Основні елементи котельної установки

Система подачі палива:

- Підігрівне мазутосховище з паровим обігрівом (28)
- Система фільтрації мазуту (29)
- Циркуляційні насоси подачі палива (30)
- Пальникові пристрої з автоматичним запалюванням (24)

Котельний агрегат:

- Топкова камера з випаровувальними поверхнями (25)
- Верхній і нижній барабани (26) та (22)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

- Конвекційні теплообмінні поверхні (20)
- Пароперегрівальний пристрій (21)
- Водяний економайзер для підігріву живильної води (17)

Система повітропостачання та димовидалення:

- Повітряно-газовий короб для подачі повітря (1)
- Дуттєвий вентилятор (23)
- Димосос для відведення продуктів згоряння (15)
- Димова труба (12)

Система водопідготовки та живлення:

- Деаераційна установка для видалення кисню (5)
- Система хімічної водопідготовки (9)
- Живильний насос (13)
- Підживлюючий насос (10)
- Охолоджувач деаерованої води (11)

Система теплопостачання:

- Пароводяний теплообмінник (6)
- Циркуляційний насос теплової мережі (8)
- Розподільчий паровий колектор (2)
- Редукційно-охолоджувальна установка (3)

Система продувки котла:

- Розширювач безперервної продувки (16)
- Трубопровід відведення продувочної води (19)
- Насос продувочного контуру (18)
- Підігрівач сирі води (14)

Принцип роботи котельної установки

Мазут зберігається в обігрівному резервуарі та через систему очищення подається до пальників, де відбувається його змішування з повітрям та спалювання. Повітря для горіння надходить з верхньої зони котельної через дуттєвий вентилятор.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Утворена в котлі пара збирається в загальному паровому колекторі та розподіляється між споживачами. Частина пари після дроселювання в редукційній установці направляєється в деаератор для видалення корозійно-активних газів.

Для виробництва гарячої води використовується пароводяний бойлер, що отримує пару з основного парового колектора. Мережна вода циркулює через бойлер за допомогою циркуляційного насоса та подається до споживачів.

Система водопідготовки забезпечує необхідну якість живильної води через деаерацію, хімічне очищення та попередній підігрів в економайзері.

Технічні характеристики котельної:

- Загальна теплова потужність установки: 3,9 Гкал/год
- Тип котла: ДКВР-4-13ГМ
- Вид палива: мазут/природний газ
- Система автоматичного регулювання: так

Мінімальний обсяг природного газу, необхідний для нагрівання 1 м³ води за допомогою котельної установки ДКВР-4-13ГМ із значенням ККД 80%, розраховується наступним чином:

$$Q_{\text{ГАЗУ}} = \frac{Q_{\text{НВ}}}{Q_{\text{ГАЗУ}} \cdot \eta} = \frac{209000}{36000 \cdot 0,8} = 7,26 \text{ м}^3.$$

При поточній вартості природного газу для промислових споживачів 16 334,44 грн за 1 тис. м³, розрахункова вартість підігріву 1 м³ води становить:

$$C_{\text{ГАР В}} = N_{\text{ГАЗУ}} \cdot C_{\text{ГАЗУ}} = 7,26 \cdot 16,33 = 118,56 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ХОЛ В}} = 0$ грн (на території підприємства наявна власна свердловина).

Річна вартість енергоресурсів для забезпечення гарячого водопостачання:

$$C_{\text{РІЧ}} = V_{\text{СПОЖ}} \cdot n_{\text{РОБ}} \cdot C_{\text{ПІДІГРІВ}} = 7351 \cdot 118,56 = 871549 \text{ грн/рік,}$$

$$B_{\text{ХОЛ В}} = 0 \text{ грн}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де $V_{СПОЖ}$ - добове споживання гарячої води, м³;

n - загальна кількість робочих днів у році.

Розмір очікуваної річної економії від впровадження геліосистеми:

$$\Delta E = B_{ГАР В} - B_{ХОЛ В} = 871549 - 0 = 871549 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності капітальних вкладень визначається як відношення первісних інвестицій до річної економії:

$$T_{OK} = \frac{K_{\Sigma}}{\Delta E} = \frac{1390000}{871549} = 1,6 \text{ року}$$

У табл. 9.3 наведені ключові економічні індикатори запропонованого проєкту.

Таблиця 9.3. Ключові економічні індикатори проєкту

Характеристика заходу	Значення показника
Назва проєкту	Впровадження геліоколекторної системи для ГВП
Капітальні інвестиції, грн	1 390 000
Річна економія газу, м ³	7 351
Річна грошова економія, грн	871 549
Період окупності, років	1,6
Екологічний ефект	Зменшення викидів CO ₂ на 15,2 т/рік

Проведений аналіз технічної та економічної доцільності впровадження геліоколекторної системи для мебельної фабрики демонструє високу ефективність даного рішення.

Основні переваги проєкту:

1. Географічна доцільність - кліматичні умови м. Кропивницький сприятливі для використання сонячної енергії протягом більшої частини року
2. Технічна реалізованість - розміщення геліоколекторів на покрівлі адміністративно-побутового корпусу забезпечить безперебійне постачання гарячої води для санітарно-гігієнічних потреб персоналу
3. Економічна ефективність - короткий термін окупності (1,6 року) робить проєкт фінансово привабливим

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4. Екологічні переваги - річне скорочення споживання природного газу на 7 351 м³ сприятиме зменшенню екологічного навантаження

Очікувані результати реалізації:

- Зниження операційних витрат на енергоносії на 871 549 грн щорічно
- Підвищення енергетичної незалежності підприємства
- Покращення екологічного іміджу компанії
- Стабілізація витрат на гаряче водопостачання незалежно від коливань цін на газ

Враховуючи поточну тенденцію зростання тарифів на природний газ та державну підтримку альтернативної енергетики, впровадження геліоколекторної системи є стратегічно обґрунтованим рішенням для довгострокового розвитку підприємства.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра з проектування системи енергопостачання меблевої фабрики було вирішено комплекс завдань щодо забезпечення підприємства електричною та тепловою енергією.

Основні результати роботи:

1. Розраховано електричні навантаження меблевої фабрики для мереж до 1000 В і вище 1000 В, включаючи силові та освітлювальні навантаження. Побудовано графіки електричних навантажень для оптимізації режимів роботи.

2. Визначено теплові навантаження на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання з урахуванням специфіки виробництва. Побудовано графіки теплових навантажень.

3. Виконано проектування теплових мереж з гідравлічним розрахунком та визначенням теплової ізоляції для мінімізації втрат при транспортуванні теплоносія.

4. Побудовано картограму навантажень та обґрунтовано оптимальне розміщення центральної розподільної установки та джерел теплопостачання.

5. Проведено техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання, визначено напруги живлення та схему приєднання до зовнішніх мереж.

6. Розраховано компенсацію реактивної потужності з визначенням типу, кількості та місць встановлення компенсуючих пристроїв для підвищення енергоефективності.

7. Спроектовано трансформаторні підстанції з обґрунтуванням кількості та потужності трансформаторів, їх компоновки та розміщення.

8. Виконано розрахунки струмів короткого замикання та здійснено вибір електрообладнання і струмопровідних пристроїв за умовами надійності та електробезпеки.

9. Досліджено можливості використання відновлювальних джерел енергії - розраховано параметри геліоколекторної системи для гарячого

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

водопостачання з терміном окупності 1,6 року та річною економією 871 549 грн.

Розроблена система енергопостачання меблевої фабрики є технічно обґрунтованою та економічно доцільною. Запропоновані рішення забезпечують надійне електро- та теплопостачання підприємства з можливістю майбутнього розширення виробництва.

Впровадження компенсації реактивної потужності та геліоколекторної системи дозволить знизити експлуатаційні витрати на енергоносії та зменшити екологічне навантаження.

Результати роботи можуть бути використані для робочого проектування системи енергопостачання меблевої фабрики та аналогічних промислових об'єктів.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.]; Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

2. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств: ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 2015–10–28]. – К.: Мінрегіон, 2016. – 83 с. – (Національний стандарт України).

3. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.

4. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання: навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

6. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.

7. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

8. Енергетичний інжиніринг та менеджмент : в 3-х ч. Ч. 1. Проектування ефективних енергетичних систем / П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков, І.В. Савеленко; під редакцією Заслуженого працівника освіти

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 156 с.

9. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний від 2011–11–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. – (Національний стандарт України).

10. Офіційний сайт Мінфіну: тарифи на газ для непобутових споживачів. Детальніше за посиланням: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/gas/prom/2023-05-01/>

11. Інтернет-магазин «Теплота»: Плоский сонячний колектор, пакетна пропозиція. Детальніше за посиланням: https://teplota.ua/shop/ploskiy-solnechniy-kollektor-atmosfera-dlya-gvs_-paketnoe-predlozhenie-5000-1_-goryachey-vodyi-v-sutki-13045p.html

12. Офіційний сайт «Вулкан-Теплоенерго»: технічні характеристики парових котлів ДКВР. Детальніше за посиланням: http://vulkanenergo.com.ua/ru/kotly/kotli_parovie_dkvr.html?gclid=EAJaIQobChMI2aaotJ_o_gIVyvxRCh3_GwkWEAAAYAiAAEgKq3PD_BwE

13. Внутрішній водопровід та каналізація: ДБН В.2.5-64:2012 . – [Чинний від 2013–03–01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України: 2013. – 105 с. – (Національний стандарт України).

14. Podolets R. Current state and main potential sources of threats for the energy security of Ukraine / R. Podolets, O. Diachuk, B. Serebrennikov // Integrated modeling of food, energy and water security management for sustainable social, economic and environmental developments / ed. by Zagorodny A.G., Yermoliev Y.M. – Kyiv: "Academperiodyka" UNAS, 2013. – p. 289-307.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Додаток А. Допоміжні розрахунки для вибору високовольтного обладнання

Таблиця А.1. Вибір параметрів вимикачів 35 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$71.1 \text{ А} < 1000 \text{ А}$
Номінальний струм динамічної стійкості: - симетричний (ефективне значення); - асиметричний (максимальне значення);	$I'' \leq I_{дин.ст}$	$3.2 \text{ кА} < 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq \sqrt{2} \cdot 1.8 I_{дин.ст}$	$0.14 \text{ кА} < (\sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 20) \text{ кА}$ $0.14 \text{ кА} < 2.82 \text{ кА}$
Номінальний струм відключення: - симетричний; - асиметричний;	$I_{нт} \leq I_{відкл}$	$3.2 \text{ кА} < 20 \text{ кА}$
	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{відкл}$	$2.386 \text{ кА} < (\sqrt{2} \cdot 0.35 \cdot 49) \text{ кА}$ $2.386 \text{ кА} < 19.799 \text{ кА}$
Номінальний тепловий імпульс	$B_k \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	$21.1 < 1600$

Таблиця А.2. Вибір вимикачів на вводі 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані ВР1-10-20/630У2
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.маx} \leq I_{ном}$	$I_{роб.маx} = 255,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{н\tau} \leq I_{відклном}$	$I_{н\tau} = 8,77 \text{ кА}$	$I_{відклном} = 20 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot (1 + \beta_{ном}) \cdot I_{відкл}$	$\sqrt{2} \cdot I_{н\tau} + i_{a\tau} = 4,5 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot (1 + \beta_{ном}) \cdot I_{відкл} = 39,48 \text{ кА}$
$I'' \leq I_{дин.ст}$	$I'' = 8,77 \text{ кА}$	$I_{дин.ст} = 20 \text{ кА}$
$i_{y\delta} \leq i_{дин.ст}$	$i_{y\delta} = 14,9 \text{ кА}$	$i_{дин.ст} = 52 \text{ кА}$
$B_{к} \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	$B_{к} = 80,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тн}^2 \cdot t_{тн} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця А.3. Вибір вимикачів на лініях 10 кВ до ТП

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{роб.маx} \leq I_{ном}$	$I_{роб.маx} = 36,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{н\tau} \leq I_{відклном}$	$I_{н\tau} = 8,1 \text{ кА}$	$I_{відклном} = 20 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot (1 + \beta_{ном}) \cdot I_{відкл}$	$\sqrt{2} \cdot I_{н\tau} + i_{a\tau} = 4,22 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot (1 + \beta_{ном}) \cdot I_{відкл} = 39,48 \text{ кА}$
$I'' \leq I_{дин.ст}$	$I'' = 8,21 \text{ кА}$	$I_{дин.ст} = 20 \text{ кА}$
$i_{y\delta} \leq i_{дин.ст}$	$i_{y\delta} = 13,79 \text{ кА}$	$i_{дин.ст} = 52 \text{ кА}$
$B_{к} \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	$B_{к} = 69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тн}^2 \cdot t_{тн} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблиця А.4 Вибір роз'єднувачів на стороні 35 кВ

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
35 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ
67,6 А	$I_{роб.мах} \leq I_{ном}$	1000 А
6,8 кА	$i_{уд} \leq i_{дин.ст}$	63 кА
21,1 кА ² · с	$B_k \leq I_{тн}^2 \cdot t_{тн}$	2500 кА ² · с

Таблиця А.5. Вибір потужності споживачів ВП

№ з/п	Споживачі	Встановле на потужніст ь, кВт	Кількість, шт	cos φ	$P_{ВП}^{max}$, кВт
1	2	3	4	5	6
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів	1	2	0.85	2/0.85=2.35
2	Пристрої підігріву вимикачів 35 кВ	1.75	2	1	3.5
3	Обігрів комірок КРП – 10 кВ	1	13	1	13
4	Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	5.5	1	1	5.5
5	Зовнішнє освітлення	4.5	1	1	4.5
6	Споживання опер. колами	2.5	1	1	2.5
Всього					31.4

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата