

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

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Проектування системи енергопостачання заводу
деревних плит»

Виконав здобувач вищої освіти

ІІ курсу, групи ЕЕ–23мб

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Олег ГЕРАСИМОВ

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2026 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 ПЛІШКОВ

« » 2026 р.

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

Герасимова Олега Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи енергопостачання заводу деревних плит.
Design of a power supply system for a wood-based panel factory

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 29.05.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є проектування надійної, безпечної та економічно доцільної системи електропостачання підприємства з виробництва деревних плит 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>	16.04.26	
2	<i>Теплові навантаження в системі теплопостачання</i>	20.04.26	
3	<i>Теплові мережі системи теплопостачання</i>	27.04.26	
4	<i>Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання</i>	04.05.26	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	10.05.26	
6	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	15.05.26	
7	<i>Трансформаторні підстанції</i>	18.05.26	
8	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	25.05.26	
9	<i>Спеціальний розділ</i>	28.05.26	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	28.05.26	
11	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	28.05.26	

Дата видачі завдання

«13» квітня 2026 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«13» квітня 2026 р.

Підпис здобувача _____

Олег ГЕРАСИМОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 78 с.; 20 рис.; 32 табл.; 13 джерел

Герасимов О.С. Проектування системи енергопостачання заводу деревних плит. – Рукопис.

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

У роботі проведено техніко-економічне обґрунтування варіантів зовнішнього живлення підприємства, виконано детальні розрахунки електричних навантажень силових агрегатів та освітлювальних мереж, а також визначено параметри теплових навантажень технологічних ліній пресування. Розраховано оптимальні параметри пристроїв компенсації реактивної потужності, проведено перевірку електрообладнання на стійкість до струмів короткого замикання та вибрано сучасну комутаційну апаратуру і засоби цифрового обліку. У спеціальному розділі досліджено перспективи створення гібридної системи енергозабезпечення на базі дахової фотоелектричної станції та термомасляної установки, що працює на деревних відходах. Таке рішення дозволяє забезпечити значний рівень енергетичної автономності та декарбонізації виробничого циклу.

Результати проектування мають практичну цінність для підприємств деревообробної галузі та можуть бути впроваджені при реконструкції енергосистем промислових об'єктів із високою енергоемністю. Запропонована методика енергетичного симбіозу сонячної генерації та біоенергетики є універсальною для підвищення конкурентоспроможності сучасних виробництв.

Ключові слова: енергопостачання, деревні плити, енергоефективність, відновлювані джерела енергії, фотоелектрична станція, біомаса, енергетична автономність

ABSTRACT

Qualification work: 78 p.; 20 fig.; 32 tables; 13 sources

Herasymov O.S. Design of a power supply system for a wood-based panel factory. – 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, 2026.

The study provides a techno-economic feasibility assessment of external power supply options for the enterprise, including detailed calculations of electrical loads for power equipment and lighting networks, as well as the determination of thermal load parameters for the technological pressing lines. Optimal parameters for reactive power compensation devices are calculated, the electrical equipment is verified for short-circuit withstand capability, and modern switchgear along with digital metering devices are selected. A dedicated section investigates the prospects of implementing a hybrid energy supply system based on a rooftop photovoltaic plant and a biomass-fired thermal oil heater utilizing wood waste. Such a solution ensures a significant level of energy autonomy and the decarbonization of the production cycle.

The design results hold practical value for the wood-processing industry and can be implemented in the reconstruction of power systems at highly energy-intensive industrial facilities. The proposed methodology of energy symbiosis between solar generation and bioenergy is universally applicable for enhancing the competitiveness of modern manufacturing.

Keywords: power supply, wood panels, energy efficiency, renewable energy sources, photovoltaic plant, biomass, energy autonomy.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП	9
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	11
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	11
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	25
2.1. Визначення теплових навантажень на опалення	25
2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію	26
2.3. Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання.....	28
2.4. Графіки теплових навантажень.....	30
3. Теплові мережі системи теплопостачання	34
3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі	34
3.2. Визначення теплової ізоляції	35
4. Картограма електричних та теплових навантажень, місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції) та джерел теплопостачання.....	37
5. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства	40
5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	40
5.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	42

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	О. Герасимов				Проектування системи енергопостачання заводу деревних плит Design of a power supply system for a wood-based panel factory			Літ.	Аркуш
Перевір.	К. Петрова								Аркушів
Н.контр.	К. Петрова				ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб				
Затв.	П. Плешков								

6.	Компенсація реактивної потужності	43
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	43
6.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	44
7.	Трансформаторні підстанції	51
7.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	51
7.2.	Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій.....	53
8.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електро-установок та силових мереж системи електропостачання.....	54
8.1.	Розрахунок струмів КЗ	54
8.2.	Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж	56
8.3.	Вибір електрообладнання	60
9.	Комплексне обґрунтування та методика впровадження гібридної системи енергозабезпечення на базі сонячної генерації та біомаси	63
9.1.	Концепція енергетичного симбіозу ресурсів заводу деревних плит.....	63
9.2.	Техніко-економічний розрахунок параметрів гібридної системи енергозабезпечення.....	66
	ВИСНОВКИ.....	75
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	77

						Арк.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Скор. / Позн.	Розшифрування
ВДЕ	Відновлювані джерела енергії
ГВП	Гаряче водопостачання
ДБН	Державні будівельні норми
ДСП	Деревностружкова плита
ЕЕ	Електрична енергія
КЗ	Коротке замикання
ККД	Коефіцієнт корисної дії
КЛ	Кабельна лінія
МДФ	Деревноволокниста плита середньої щільності (від англ. Medium Density Fibreboard)
ПЛ	Повітряна лінія електропередачі
ПУЕ	Правила улаштування електроустановок
РП	Розподільний пункт
ТЕ	Теплова енергія
ТП	Трансформаторна підстанція
УКРП	Установка компенсації реактивної потужності (конденсаторна установка)
ФЕС	Фотоелектрична станція (сонячна електростанція)
DPP	Простий термін окупності інвестицій (від англ. Discounted Payback Period)
ESG	Екологічне, соціальне та корпоративне управління (від англ. Environmental, Social, and Corporate Governance)
PR	Коефіцієнт експлуатаційної продуктивності ФЕС (від англ. Performance Ratio)
Се	Тариф на електричну енергію, грн/кВт·год
cosφ	Коефіцієнт потужності
Egen	Розрахункова річна генерація електроенергії, кВт·год
Pp	Розрахункова активна потужність підприємства, кВт
Qрік	Річне споживання теплової енергії, ГДж
Wp	Номінальна (пікова) потужність одного фотомодуля, Вт

						Арк.

ВСТУП

Ця кваліфікаційна робота присвячена розробці комплексної та енергоефективної системи енергозабезпечення підприємства деревообробної галузі, зокрема заводу з виробництва деревних плит.

У процесі дослідження проведено аналіз можливих схем живлення об'єкта, виконано детальний розрахунок силових та освітлювальних електричних навантажень, а також визначено потребу підприємства в тепловій енергії. Здійснено вибір силових трансформаторів, установок для компенсації реактивної потужності, апаратів захисту та комутаційного обладнання з обов'язковою перевіркою елементів мережі на термічну та динамічну стійкість до струмів короткого замикання. У спеціальному розділі роботи розглядається можливість підвищення енергонезалежності підприємства за рахунок впровадження відновлюваних джерел енергії — зокрема, використання відходів деревообробки (біомаси) для когенерації або покриття теплових потреб виробництва.

Технологічний процес підприємства: Завод спеціалізується на виготовленні сучасних плитних матеріалів, які є базовою сировиною для меблевої промисловості та будівельного сектору. Виробничий цикл охоплює всі стадії глибокої переробки деревини: від подрібнення круглого лісу та технологічних дров, сушіння стружки до змішування її зі сполучними смолами, формування килима, гарячого пресування і форматної обрізки готових плит.

Технологічний процес є високоавтоматизованим і потребує безперебійного постачання як електричної енергії (для приводів потужних рубильних машин, гідравлічних пресів, компресорів), так і теплової (для нагрівання плит преса та роботи сушильних камер). Теплова енергія на підприємстві генерується у власній котельні з термомасляними установками.

До складу підприємства входять наступні інфраструктурні та виробничі об'єкти: головний виробничий цех (пресування); цех підготовки сировини (рубильні машини); цех сушіння та сортування стружки; блок насосних агрегатів та водопідготовки; будівля заводууправління з побутовими приміщеннями;

						Арк.

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Розрахунок електричних навантажень (ЕН) підприємства виконуємо за загальноприйнятим методом впорядкованих діаграм (коефіцієнта максимуму) відповідно до настанов з проектування систем електропостачання промислових підприємств [2].

Детальну методику розрахунку розглянемо на прикладі найбільш енергоємного підрозділу заводу деревних плит — *головного виробничого цеху (пресування)*. Вихідні дані для розрахунку (згідно з технологічним завданням):

- кількість встановлених електроприймачів (ЕС): $n = 194$ шт.;
- сумарна номінальна потужність: $\sum P_H = 1953 \text{ кВт}$;
- максимальна потужність одного приймача: $P_{H.\max} = 63 \text{ кВт}$;
- довідкові коефіцієнти: $K_B = 0,45$.

$$P_{CM} = K_B \cdot \sum P_H = 0,45 \cdot 1953 = 879 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 879 \cdot 1,17 = 1027 \text{ квар.}$$

Визначаємо ефективну кількість електроприймачів у цеху $n_{E\Phi}$:

$$n_{E\Phi} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H.\max}} = \frac{2 \cdot 1953}{63} = 62.$$

Знаходимо розрахункові електричні навантаження головного виробничого цеху (пресування): $P_P = \sum P_{CM} \cdot K_M = 879 \cdot 1,15 = 1008 \text{ кВт}$; $Q_P = \sum Q_{CM} = 1027 \text{ квар.}$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{1008^2 + 1027^2} = 1439 \text{ кВА.}$$

Аналогічним чином, із застосуванням наведених вище формул, виконуємо розрахунки для решти цехів, підрозділів та загалом по заводу. У таблиці 1.1. наведено зведені результати розрахунків.

						Арк.

Назва групи споживачів	n	Р одного		P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розр. навантаження		
		min	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Головний виробничий цех (пресування)	194	1,5	63	1953	42	0,5	0,65	1,17	879	1027	62	1,15	1008	1027	1439
Цех підготовки сировини (рубильні машини)	61	0,7	112	789	160	0,4	0,78	0,80	331	266	14	1,37	453	266	526
Цех сушіння та сортування стружки	82	0,2	16	360	80	0,4	0,72	0,96	137	132	45	1,21	165	132	211
Блок насосних агрегатів та водопідготовки	46	1,1	88	581	80	0,7	0,82	0,70	418	292	13	1,00	418	292	510
Будівля заводууправління з побутовими приміщеннями	125	0,1	2,2	249	22	0,7	0,85	0,62	162	100	125	1,00	162	100	190
Ремонтно-механічна майстерня	41	0,6	18,6	303	31	0,2	0,55	1,52	67	101	33	1,38	92	101	137
Цех компресорної установки	64	0,8	35,2	488	44	0,6	0,74	0,91	303	275	28	1,00	303	275	409
Відділення пакування	8	1,5	3	18	2	0,7	0,82	0,70	12	9	8	1,00	12	9	15
Склад допоміжних матеріалів та запчастин	44	1	9	139	9	0,5	0,72	0,96	72	70	31	1,18	85	70	110
Клейове відділення	19	1,8	10,8	114	6	0,6	0,78	0,80	66	53	19	1,20	80	53	96
Котельня (термомасляна установка)	30	0,5	16,5	228	33	0,7	0,75	0,88	148	131	28	1,00	148	131	198
Очисні споруди	14	1,5	42	204	28	0,6	0,78	0,80	112	90	10	1,33	149	99	179
Цех форматної обрізки плит	6	2,5	15	47	6	0,7	0,85	0,62	31	19	6	1,00	31	21	37
В'їзна група з постом охорони	4	0,9	1,1	4	1	0,5	0,7	1,22	2	2	4	1,68	3	3	4
Всього по підприємству	738	0,1	112	5477	1120	0,50	0,73	0,94	2740	2567	98	1,10	3016	2567	3960

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

Визначення потужності, необхідної для живлення систем штучного освітлення, виконаємо методом питомої потужності. Алгоритм обчислень продемонстровано на прикладі *головного виробничого цеху (пресування)*.

Номінальна (встановлена) потужність освітлювальних приладів цеху розраховується за формулою:

$$P_B = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 13 \cdot 6550 \cdot 10^{-3} = 85,2 \text{ кВт},$$

де $p_0 = 13 \text{ Вт/м}^2$ — питома потужність освітлення для даного типу виробничих приміщень; $F = 6550 \text{ м}^2$ — робоча площа цеху.

Розрахункове активне навантаження освітлювальної мережі знаходимо з урахуванням коефіцієнта попиту ($K_{II} = 0,85$) та коефіцієнта, що враховує втрати в пускорегулювальній апаратурі світильників ($K_1 = 1,15$):

$$P_p = K_{II} \cdot K_1 \cdot P_B = 0,85 \cdot 1,15 \cdot 85,2 = 83,2 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження визначаємо на основі нормативного коефіцієнта потужності для обраного типу джерел світла ($\cos \varphi = 0,92$, що відповідає $\tan \varphi = 0,43$):

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi = 83,2 \cdot 0,43 = 35,5 \text{ кВар}.$$

Повна розрахункова потужність системи освітлення цеху становитиме:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{83,2^2 + 35,5^2} = 90,5 \text{ кВА}$$

Обчислення освітлювальних навантажень для решти виробничих, адміністративних будівель та території деревообробного заводу виконано за ідентичною методикою. У таблицю 1.2 зведено підсумкові результати.

						Арк.

Таблиця 1.2. Відомість розрахунку навантажень робочого освітлення підприємства

Найменування	F , м²	P_0 , Вт/м²	P_B , кВт	Q_B , квар	K_{II}	K_1	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
Головний виробничий цех (пресування)	6550	13	85,2	36,3	0,85	1,15	0,92	0,43	83,2	35,5	90,5
Цех підготовки сировини (рубильні машини)	2250	11	24,8	10,5	0,85	1,15	0,92	0,43	24,2	10,3	26,3
Цех сушіння та сортування стружки	2650	14	37,1	15,8	0,85	1,15	0,92	0,43	36,3	15,4	39,4
Блок насосних агрегатів та водопідготовки	410	6	2,5	1,0	0,95	1,1	0,92	0,43	2,6	1,1	2,8
Будівля заводу управління з побутовими приміщеннями	2100	18	37,8	16,1	0,85	1,15	0,92	0,43	36,9	15,7	40,2
Ремонтно-механічна майстерня	840	14	11,8	5,0	0,95	1,15	0,92	0,43	12,8	5,5	14,0
Цех компресорної установки	630	8	5,0	7,7	0,95	1,15	0,55	1,52	5,5	8,4	10,0
Відділення пакування	950	15	14,3	21,6	0,95	1,15	0,55	1,52	15,6	23,6	28,3
Склад допоміжних матеріалів та запчастин	1200	6	7,2	10,9	0,95	1,15	0,55	1,52	7,9	11,9	14,3
Клейове відділення	550	14	7,7	11,7	0,95	1	0,55	1,52	7,3	11,1	13,3
Котельня (термомасляна установка)	780	8	6,2	9,5	0,85	1,15	0,55	1,52	6,1	9,3	11,1
Очисні споруди	280	6	1,7	0,7	0,65	1,1	0,92	0,43	1,2	0,5	1,3
Цех форматної обрізки плит	380	16	6,1	2,6	0,85	1,15	0,92	0,43	5,9	2,5	6,5
В'їзна група з постом охорони	120	18	2,2	0,9	0,65	1,1	0,92	0,43	1,5	0,7	1,7
Освітлення території заводу	72500	0,2	14,5	22,0	0,55	1,1	0,55	1,52	8,8	13,3	16,0
Всього по підприємству			264	172					256	165	316

						Арк.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

Для визначення розрахункових навантажень на високовольтній стороні (10 кВ) підприємства необхідно до сумарних навантажень на шинах 0,4 кВ додати втрати активної та реактивної потужності безпосередньо в силових трансформаторах.

Продемонструємо алгоритм обчислення втрат на прикладі трансформаторної підстанції ТП №1,2, де (згідно з розрахунками) передбачено встановлення трьох трансформаторів типу ТМ-630/10.

Обчислюємо втрати потужності у трьох трансформаторах:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 3 \cdot (1,31 + 7,6 \cdot 0,9^2) = 22,4 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = n \cdot \left(\frac{I_K}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 3 \cdot \left(\frac{2,0}{100} \cdot 630 + \frac{5,500}{100} \cdot 630 \cdot 0,9^2 \right) = 122,0 \text{ квар.}$$

Отже, сумарні розрахункові навантаження для ТП №1,2 становитимуть:

$$P_{10} = P_{0,4} + \Delta P_T = 1286,3 + 22,4 = 1308,7 \text{ кВт;}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_T = 1217,6 + 122,0 = 1339,6 \text{ квар;}$$

$$S_{10} = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2} = \sqrt{1308,7^2 + 1339,6^2} = 1872,8 \text{ кВА.}$$

Аналогічні математичні обчислення виконано для всіх інших цехових підстанцій (ТП №3, №4, №5) з урахуванням їхніх індивідуальних коефіцієнтів завантаження. У вигляді таблиці 1.3 подано розгорнуті результати розрахунків навантажень по вузлах та загалом по підприємству з виготовлення деревних плит (як на стороні 0,4 кВ, так і на стороні 10 кВ).

						Арк.

Таблиця 1.3. Відомість електричних навантажень підприємства в мережі понад 1 кВ з виробництва деревних плит

№	Назва групи споживачів	n	Р одного			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
			mi	...	max						$P_{CM},$ кВТ	$Q_{CM},$ квар			$P_P,$ кВТ	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №1,2 (3х630)																	
1	Головний виробничий цех (пресування)																
	Силове навантаження	194	2	-	63	1953	42	0,5	0,7	1,2	879	1027	62	1	1008	1027	1439
	Освітлювальне навантаження										85,2	36,3			83,2	35,5	90,5
	Всього по цеху										964,0	1063,8			1091,1	1062,9	1523,3
2	Клейове відділення																
	Силове навантаження	19	2	-	11	114	6	0,6	0,8	0,8	66	53	19	1	80	53	96
	Освітлювальне навантаження										7,7	11,7			7,3	11,1	13,3
	Всього по цеху										73,8	64,7			87,0	64,2	108,1
3	Очисні споруди																
	Силове навантаження	14	2	-	42	204	28	0,6	0,8	0,8	112	90	10	1	149	99	179
	Освітлювальне навантаження										1,7	0,7			1,2	0,5	1,3
	Всього по очисній										113,9	90,7			150,6	99,5	180,6
Всього силова по ТП 1,2		227	2	...	63	2271	42	0,47	0,67	1,11	1057,2	1170,6	72	1,13	1194,5	1170,6	1672,5
Всього освітлювальна по ТП 1,2											94,5	48,7			91,8	47,1	103,1
Всього для 0,4 кВ по ТП 1,2											1151,7	1219,2			1286,3	1217,6	1771,2
Всього для 10 кВ по ТП 1,2															1308,7	1339,6	1872,8
ТП №3 (2х630)																	
1	Цех підготовки сировини (рубильні машини)																
	Силове навантаження	61	1	-	112	789	160	0,42	0,78	0,80	331	266	14	1	453	266	526
	Освітлювальне навантаження										24,8	10,5			24,2	10,3	26,3
	Всього по цеху										356,1	276,4			477,6	276,2	551,7

Зм																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Зм																		
	Арк																	
№ док.																		
	докум.																	
Підпис																		
	Дата																	
Арк.	ТП №5(2х630)																	
	1	Цех компресорної установки																
		Силове навантаження	64	0,8	-	35	488	44	0,6	0,7	0,9	303	275	28	1	303	275	409
		Освітлювальне навантаження										5,0	7,7			5,5	8,4	10,0
		Всього по цеху										307,6	282,7			308,1	283,4	418,6
	2	Котельня (термомасляна установка)																
		Силове навантаження	30	0,5	-	17	228	33	0,7	0,8	0,9	148	131	28	1	148	131	198
		Освітлювальне навантаження										6,2	9,5			6,1	9,3	11,1
		Всього по котельні										154,4	140,2			154,3	140,0	208,3
	3	Ремонтно-механічна майстерня																
		Силове навантаження	41	0,6	-	19	303	31	0,2	0,6	1,5	67	101	33	1	92	101	137
		Освітлювальне навантаження										11,8	5,0			12,8	5,5	14,0
Всього по майстерні											78,4	106,2			105,0	106,7	149,7	
4	Відділення пакування																	
	Силове навантаження	8	1,5	-	3	18	2	0,7	0,8	0,7	12	9	8	1	12	9	15	
	Освітлювальне навантаження										14,3	21,6			15,6	23,6	28,3	
	Всього по відділенню										26,5	30,2			27,8	33,0	43,2	
5	Склад допоміжних матеріалів та запчастин																	
	Силове навантаження	44	1,0 0	-	9,00	139	9	0,5	0,7	1,0	72	70	31	1	85	70	110	
	Освітлювальне навантаження										7,2	10,9			7,9	11,9	14,3	
	Всього по складу										79,5	80,6			93,3	81,6	124,0	
Всього силова по ТП 5		187	1	...	35	1176	70	0,51	0,72	0,97	602	585	67	1,12	674,6	585,1	893,0	
Всього освітлювальна по ТП 5											902	55			47,9	58,7	75,7	
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 5											1503,8	639,8			722,5	643,8	967,7	
Всього на шинах 10 кВ по ТП 5															729,9	707,7	1016,7	

[illegible]

1.4. Графіки електричних навантажень

Формування добових профілів навантаження є необхідним етапом для оцінки режимів роботи енергосистеми заводу та визначення обсягів річного енергоспоживання. Розрахункові операції та візуалізація даних виконані за допомогою засобів обчислювальної техніки (MS Excel). Для відображення реальної ситуації на підприємстві з виготовлення деревних плит використано характерні добові зрізи для зимового та літнього періодів, що враховують як робочі, так і вихідні дні.

Таблиця 1.4 — Динаміка активного навантаження підприємства

Год.доби	Робочий день (Зима)	Робочий день (Літо)	Вихідний день (Зима)	Вихідний день (Літо)
1	2295	459	2295	459
2	2295	459	2295	459
3	2295	459	2295	459
4	2295	459	2295	459
5	1989	397,8	1989	397,8
6	2448	489,6	2448	489,6
7	3060	612	3060	612
8	3060	612	3060	612
9	3060	612	2754	550,8
10	2907	581,4	2754	550,8
11	2754	550,8	2754	550,8
12	2509,2	501,8	2448	489,6
13	2295	459	1377	275,4
14	2509,2	501,8	1377	275,4
15	2601	520,2	1377	275,4
16	2601	520,2	1377	275,4
17	3060	612	1377	275,4
18	3060	612	1377	275,4
19	3060	612	1377	275,4
20	2815,2	563	1377	275,4
21	2815,2	563	1377	275,4
22	2295	459	1377	275,4
23	2295	459	1377	275,4
24	2295	459	1377	275,4
W_{Σ}	62668,8	12533,6	46971	9394,2

Таблиця 1.5. Добова енергетична характеристика реактивної потужності (Q , квар)

Год.доби	Робочий день (Зима)	Робочий день (Літо)	Вихідний день (Зима)	Вихідний день (Літо)
1	1717,4	343,5	1431,2	286,2
2	1717,4	343,5	1431,2	286,2
3	1717,4	343,5	1431,2	286,2
4	1717,4	343,5	1431,2	286,2
5	1431,2	286,2	1431,2	286,2
6	2003,7	400,7	1717,4	343,5
7	2576,2	515,2	2576,2	515,2
8	2862,4	572,5	2862,4	572,5
9	2862,4	572,5	2576,2	515,2
10	2719,3	543,9	2576,2	515,2
11	2576,2	515,2	2576,2	515,2
12	2347,2	469,4	2289,9	458
13	2146,8	429,4	1288,1	257,6
14	2347,2	469,4	1288,1	257,6
15	2433	486,6	1288,1	257,6
16	2433	486,6	1288,1	257,6
19	2862,4	572,5	1288,1	257,6
18	2862,4	572,5	1288,1	257,6
19	2862,4	572,5	1288,1	257,6
20	2633,4	526,7	1288,1	257,6
21	2633,4	526,7	1288,1	257,6
22	2146,8	429,4	1288,1	257,6
23	2146,8	429,4	1288,1	257,6
24	2146,8	429,4	1288,1	257,6
V_{Σ}	55902,6	11180,5	39787,7	7957,5

$$P = 3060 \text{ кВт}$$

$$Q = 2862,4 \text{ квар}$$

$$S = 4190,1 \text{ кВА}$$

						Арк.

Сумарні витрати активної та реактивної електроенергії за рік (W_p та V_p)

складають:

$$W_p = (147 \cdot 62668,8) + (105 \cdot 12533,8) + (65 \cdot 46971,0) + (48 \cdot 9394,2) = 14032399,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$V_p = (147 \cdot 55902,6) + (105 \cdot 11180,5) + (65 \cdot 39787,7) + (48 \cdot 7957,5) = 12359795,2 \text{ квар} \cdot \text{год.}$$

Визначення технічних параметрів графіка

$$T_M = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{14032399,2^2 + 12359795,2^2}}{4190,1} = 4462,7 \text{ год.}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4462,7}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2848,8 \text{ год.}$$



Рисунок 1.1. Добовий графік активного навантаження підприємства (типова робоча доба)



Рисунок 1.2. Хронологічний графік активної потужності у вихідні та святкові дні.



Рисунок 1.3. Добова зміна споживання реактивної потужності в робочий період.



Рисунок 1.4. Графік реактивного навантаження заводу протягом вихідної доби

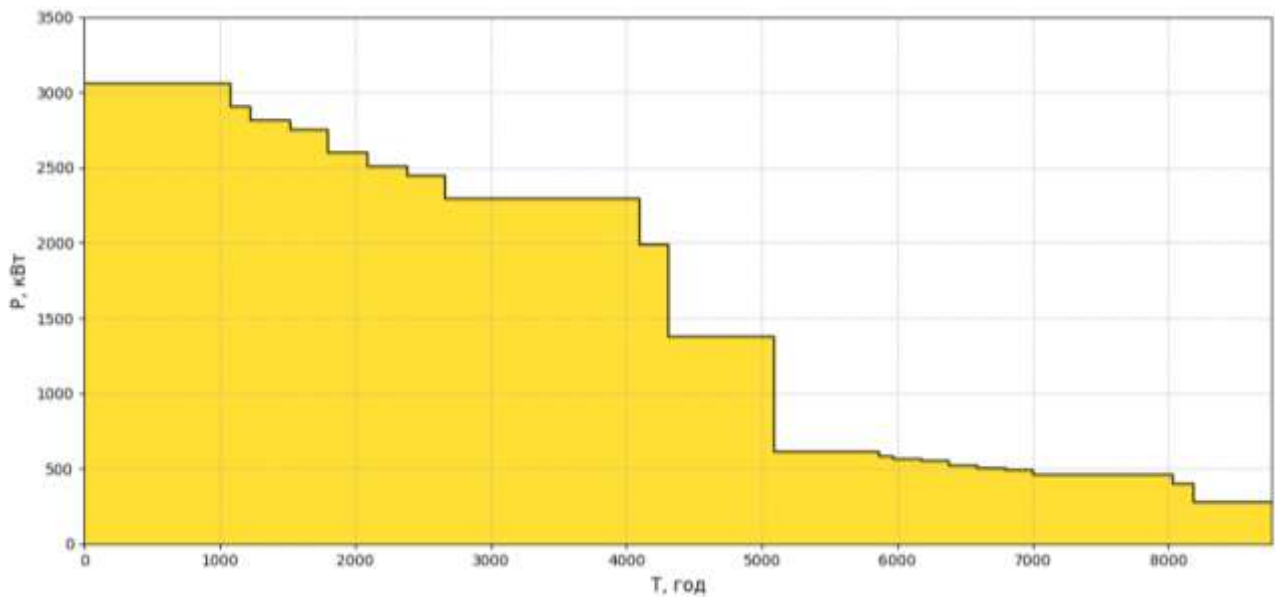


Рисунок 1.5. Впорядкована діаграма тривалості річного навантаження заводу деревних плит.

2. ТЕПЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1. Визначення теплових навантажень на опалення

Вихідні кліматичні параметри для проєктування систем теплопостачання, зокрема розрахункова температура зовнішнього повітря, обрані відповідно до державних будівельних норм (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010) для географічного регіону розташування деревообробного заводу (м. Кропивницький) [8].

Алгоритм обчислення витрат теплової енергії, необхідної для компенсації тепловтрат будівлі, розглянемо на прикладі найбільш габаритного об'єкта — головного виробничого цеху (пресування). Максимальне теплове навантаження на опалення обчислюється за формулою:

$$Q_o^P = (1 + \mu) \cdot q_0 V_z \cdot (t_{B,P} - t_{P,0}) \frac{(1 + 0,25) \cdot 0,43 \cdot 39300 \cdot (18 - (-20))}{1000} = 802,70 \text{ кВт},$$

де застосовано такі розрахункові величини:

- $\mu = 0,25$ - нормативний коефіцієнт інфільтрації, який враховує додаткові втрати тепла на нагрівання холодного повітря, що проникає через нещільності огорожувальних конструкцій та відкривання воріт;
- $V = F \cdot h = 6550 \cdot 6 = 39300 \text{ м}^3$ - зовнішній будівельний об'єм цеху;
- $q_0 = 0,43 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ - тепла (опалювальна) характеристика даної будівлі;
- $t_{P,B} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ — нормована розрахункова температура повітря всередині робочої зони приміщення;
- $t_{P,0} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ — розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування опалення у м. Кропивницький.

За ідентичним математичним алгоритмом було визначено максимальну потребу в тепловій енергії для підтримання температурного режиму в усіх інших цехах, складах та адміністративних приміщеннях підприємства. У таблиці 2.1 надано зведені результати обчислень.

						Арк.

Таблиця 2.1. Теплове навантаження систем опалення підрозділів заводу деревних плит (м. Кропивницький)

№ з/п	Найменування підрозділу	$F_3, \text{м}^2$	$h_3, \text{м}$	$V_3, \text{м}^3$	$q_0, \text{Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	$t_{p.b.}, ^\circ\text{C}$	$Q_o^p, \text{кВт}$
1	Головний виробничий цех (пресування)	6550	6	39300	0,43	18	802,70
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	2250	6	13500	0,4	16	243,00
3	Цех сушіння та сортування стружки	2650	6	15900	0,4	18	302,10
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	410	4	1640	0,3	18	23,37
5	Будівля заводу управління з побутовими прим.	2100	7,5	15750	0,85	20	669,38
6	Ремонтно-механічна майстерня	840	4	3360	0,6	18	95,76
7	Цех компресорної установки	630	4	2520	0,35	18	41,90
8	Відділення пакування	950	6	5700	0,43	18	116,42
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	1200	6	7200	0,3	14	91,80
10	Клейове відділення	550	4	2200	0,45	18	47,03
11	Котельня (термомасляна установка)	780	12	9360	0,3	18	133,38
12	Очисні споруди	280	4	1120	0,4	14	19,04
13	Цех форматної обрізки плит	380	6	2280	0,35	18	37,91
14	В'їзна група з постом охорони	120	4	480	0,3	18	6,84
Всього							2630,62

2.2. Визначення теплових навантажень на вентиляцію

Специфіка деревообробного виробництва (зокрема, наявність деревного пилу та випарів сполучних смол) вимагає інтенсивного повітрообміну. Витрати теплової енергії на підігрів припливного зовнішнього повітря у холодний період року становлять значну частку в загальному тепловому балансі

						Арк.

підприємства. Методику обчислення вентиляційних тепловтрат продемонстровано на прикладі *Головного виробничого цеху (пресування)*.

Потреба в теплоті для вентиляційної системи розраховується за формулою:

$$Q_B^P = q_B V_3 \cdot (t_{B,P} - t_{P,3}) = \frac{0,465 \cdot 39300 \cdot (16 - (-9))}{1000} = 456,86 \text{ кВт},$$

Обчислення витрат теплової енергії на вентиляцію для решти будівель та інфраструктурних об'єктів заводу виконано за ідентичним алгоритмом. У табл. 2.2 надано систематизовані результати обчислень.

Таблиця 2.2. Потреба в тепловій енергії для систем припливної вентиляції підрозділів заводу

№ з\п	Найменування підрозділу	F_3 , м ²	h_3 , м	V_3 , м ³	q_B , Вт/м ³ · °С	$t_{B,P}$, °С	Q_B^P , кВт
1	Головний виробничий цех (пресування)	6550	6	39300	0,48	16	471,60
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	2250	6	13500	0,5	16	168,75
3	Цех сушіння та сортування стружки	2650	6	15900	0,48	16	190,80
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	410	4	1640	0,25	14	9,43
5	Будівля заводоуправління з побутовими прим.	2100	7,5	15750	0,65	18	276,41
6	Ремонтно-механічна майстерня	840	4	3360	0,68	16	57,12
7	Цех компресорної установки	630	4	2520	0,45	16	28,35
8	Відділення пакування	950	6	5700	0,45	16	64,13
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	1200	6	7200	0,25	14	41,40
10	Клейове відділення	550	4	2200	0,55	16	30,25
11	Котельня (термомасляна установка)	780	12	9360	0,75	14	161,46
12	Очисні споруди	280	4	1120	0,72	14	18,55
13	Цех форматної обрізки плит	380	6	2280	0,42	18	25,86
14	В'їзна група з постом охорони	120	4	480	0,45	18	5,83
Всього							1549,9

2.3. Визначення теплових навантажень на гаряче водопостачання

Теплові навантаження на систему гарячого водопостачання (ГВП) визначено на прикладі найбільш численного підрозділу — Головного виробничого цеху (пресування). Згідно з вихідними даними, кількість виробничого персоналу становить 128 осіб, а графік роботи підприємства — двозмінний.

Середньозмінне теплове навантаження на ГВП в опалювальний (зимовий) період визначається за формулою:

$$Q_{Г.З}^{СЕР.Т} = \frac{amc_B \cdot (t_{Г} - t_{Х})}{n_C} = \frac{160 \cdot 128 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5)}{28 \cdot 3600} = 74,5 \text{ кВт}.$$

Середня витрата теплоти на потреби ГВП у літній (неопалювальний) період року обчислюється з урахуванням підвищення температури холодної води влітку (до $t_{Х.Л.} = 15^{\circ}C$) та коефіцієнта сезонної зміни водоспоживання ($\beta = 0,582$):

$$Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т} = Q_{Г.З.}^{СЕР.Т} \cdot \frac{t_{Г} - t_{Х.Л.}}{t_{Г} - t_{Х.З.}} \cdot \beta = 74,5 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,582 = 34,7 \text{ кВт}.$$

Оскільки на промислових підприємствах розбір гарячої води має яскраво виражений піковий характер (масове відвідування душових протягом години після закінчення зміни), максимальне теплове навантаження на ГВП для цехів приймається рівним середньозмінному (коефіцієнт нерівномірності $\chi = 1$):

$$Q_{Г.З.}^{\max} = \chi Q_{Г.З.}^{СЕР.Т} = 1 \cdot 74,5 = 74,5 \text{ кВт}.$$

$$Q_{Г.Л.}^{\max} = \chi Q_{Г.Л.}^{СЕР.Т} = 1 \cdot 34,7 = 34,7 \text{ кВт}.$$

У таблиці 2.3 систематизовано та наведено кінцеві розрахункові значення теплових навантажень на систему гарячого водопостачання для всіх інших структурних підрозділів заводу; у 2.4. - обчислені значення теплового навантаження розглянутого об'єкту.

						Арк.

Таблиця 2.3. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче ВП

№ з\п	Найменування підрозділу	m	$Q_{Г.З.}^{сер.т.}$	$Q_{Г.Л.}^{сер.т.}$	$Q_{Г.З.}^{max}$	$Q_{Г.Л.}^{max}$
1	Головний виробничий цех (пресування)	128	74,5	34,7	74,5	34,7
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	54	31,4	14,6	31,4	14,6
3	Цех сушіння та сортування стружки	70	40,7	19,0	40,7	19,0
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	7	2,5	1,2	2,5	1,2
5	Будівля заводу управління з побутовими прим.	34	12,4	5,8	29,7	13,8
6	Ремонтно-механічна майстерня	16	5,8	2,7	5,8	2,7
7	Цех компресорної установки	5	2,9	1,4	2,9	1,4
8	Відділення пакування	14	8,1	3,8	8,1	3,8
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	11	4,0	1,9	4,0	1,9
10	Клейове відділення	14	8,1	3,8	8,1	3,8
11	Котельня (термомасляна установка)	6	2,2	1,0	2,2	1,0
12	Очисні споруди	5	1,8	0,8	1,8	0,8
13	Цех форматної обрізки плит	8	4,7	2,2	4,7	2,2
14	В'їзна група з постом охорони	3	1,1	0,5	2,6	1,2
Всього		375	200,3	93,3	219,2	102,0

Таблиця 2.4. Зведене теплове навантаження

№ з\п	Найменування підрозділу	Q_o^p	Q_B^p	$Q_{ГВ}^p$	$Q_{Г.З.}^{max}$	Q_{Σ}
1	2	3	4	5	6	7
1	Головний виробничий цех (пресування)	802,70	471,60	74,49	1348,79	1,16
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	243,00	168,75	31,43	443,18	0,38
3	Цех сушіння та сортування стружки	302,10	190,80	40,74	533,64	0,46
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	23,37	9,43	2,55	35,35	0,03
5	Будівля заводу управління з побутовими прим.	669,38	276,41	29,68	975,47	0,84

Продовження табл.2.4						
1	2	3	4	5	6	7
6	Ремонтно-механічна майстерня	95,76	57,12	5,82	158,70	0,14
7	Цех компресорної установки	41,90	28,35	2,91	73,15	0,06
8	Відділення пакування	116,42	64,13	8,15	188,69	0,16
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	91,80	41,40	4,00	137,20	0,12
10	Клейове відділення	47,03	30,25	8,15	85,42	0,07
11	Котельня (термомасляна установка)	133,38	161,46	2,18	297,02	0,26
12	Очисні споруди	19,04	18,55	1,82	39,41	0,03
13	Цех форматної обрізки плит	37,91	25,86	4,66	68,42	0,06
14	В'їзна група з постом охорони	6,84	5,83	2,62	15,29	0,013
Всього		2630,62	1549,93	219,17	4399,72	3,78

2.4. Графіки теплових навантажень

Основою для розробки річного графіка теплового навантаження за часом (графіка Россандера) є аналіз динаміки споживання теплоти залежно від сезонних коливань температури навколишнього середовища.

Для побудови залежності визначаємо поточні годинні витрати теплової енергії на опалення по всьому підприємству (за середньозваженої температури робочої зони $t_{в.р.} \approx 18^\circ \text{C}$) у момент початку та завершення опалювального сезону, тобто при температурі зовнішнього повітря $t_3 = +8^\circ \text{C}$:

$$Q_{o(+8)} = Q_O^P \left(\frac{t_{B.P} - t_3}{t_{B.P} - t_{P.O}} \right) = 2630,6 \cdot \left(\frac{18 - 8}{18 - (-20)} \right) = 2630,6 \cdot \frac{10}{38} = 692,3 \text{ кВт.}$$

Розрахунок пікових годинних витрат при екстремальному зниженні зовнішньої температури до рівня розрахункової для систем опалення ($t_3 = -20^\circ \text{C}$ для м. Кропивницький):

$$Q_{o(-20)} = Q_O^P \left(\frac{t_{B.P} - t_3}{t_{B.P} - t_{P.O}} \right) = 2630,6 \text{ кВт.}$$

Важливим параметром для інтегральної оцінки енергоспоживання є тривалість стояння температур зовнішнього повітря. Згідно з актуальними нормами будівельної кліматології, для географічної зони розташування підприємства (м. Кропивницький) нормативна тривалість опалювального періоду становить $n_0 = 4248$ годин на рік. Ця константа використовується як базова межа для відокремлення сезонних навантажень (опалення та вентиляція) від цілорічних (ГВП).

Візуалізацію добових режимів споживання теплової енергії та інтегральну криву річного навантаження підприємства за тривалістю наведено на рисунках 2.1 та 2.2.

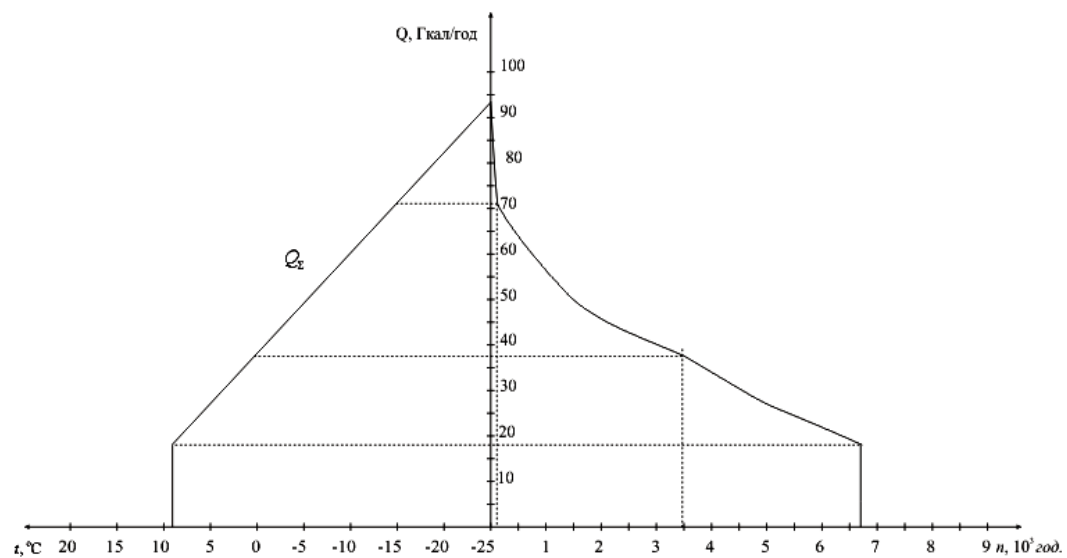


Рисунок 2.1. Інтегральний графік теплового навантаження підприємства за тривалістю (крива Россандера)

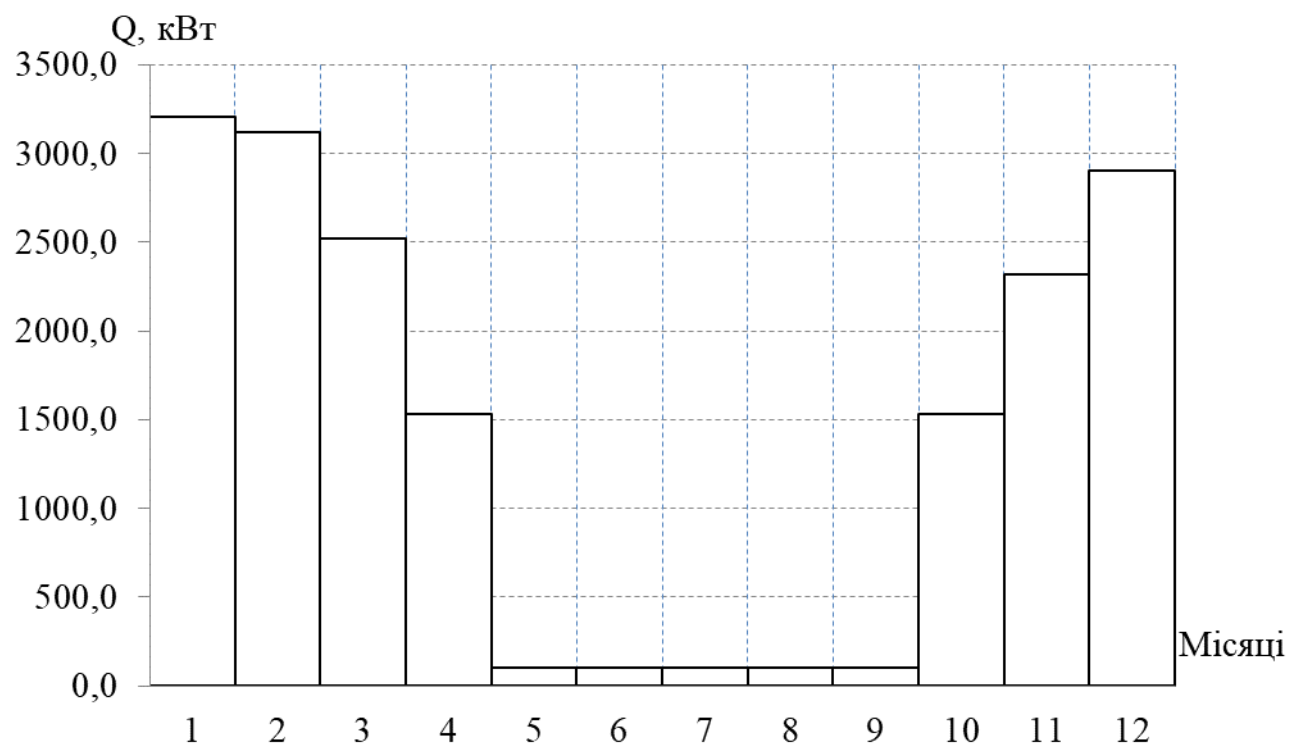


Рисунок 2.2. Гістограма помісячного розподілу витрат теплової енергії
впродовж календарного року

№	Назва підрозділу	t _{р.} , °C	Q _о ^р , кВт	Q _в ^р , кВт	Q _{г.з.} , кВт	Q _{г.л.} , кВт	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	Головний виробничий цех (пресування)	18	802,7	471,6	74,5	34,7	984	957	775	474	35	35	35	35	35	474	714	893
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	16	243,0	168,8	31,4	14,6	323	314	250	145	15	15	15	15	15	145	229	291
3	Цех сушіння та сортування стружки	18	302,1	190,8	40,7	19,0	395	384	313	196	19	19	19	19	19	196	290	359
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	18	23,4	9,4	2,5	1,2	25	25	20	13	1	1	1	1	1	13	18	23
5	Будівля заводууправління з побутовими прим.	20	669,4	276,4	29,7	13,8	699	681	557	353	14	14	14	14	14	353	516	637
6	Ремонтно-механічна майстерня	18	95,8	57,1	5,8	2,7	115	112	90	54	3	3	3	3	3	54	83	104
7	Цех компресорної установки	18	41,9	28,4	2,9	1,4	54	52	42	25	1	1	1	1	1	25	39	49
8	Відділення пакування	18	116,4	64,1	8,1	3,8	136	133	107	64	4	4	4	4	4	64	98	123
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	14	91,8	41,4	4,0	1,9	92	89	68	33	2	2	2	2	2	33	61	81
10	Клейове відділення	18	47,0	30,3	8,1	3,8	64	62	51	33	4	4	4	4	4	33	47	58
11	Котельня (термомасляна установка)	18	133,4	161,5	2,2	1,0	227	220	175	101	1	1	1	1	1	101	160	204
12	Очисні споруди	14	19,0	18,5	1,8	0,8	29	28	21	11	1	1	1	1	1	11	19	25
13	Цех форматної обрізки плит	18	37,9	25,9	4,7	2,2	51	49	40	25	2	2	2	2	2	25	37	46
14	В'їзна група з постом охорони	18	6,8	5,8	2,6	1,2	12	12	10	7	1	1	1	1	1	7	9	11
Всього			2631	1550	219	102	3205	3118	2519	1532	102	102	102	102	102	1532	2319	2906

3. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1. Гідравлічний розрахунок теплової мережі

Проектування конфігурації теплових мереж заводу з виготовлення деревних плит та їхній гідравлічний розрахунок здійснено на базі розробленого генерального плану об'єкта. Джерелом теплопостачання слугує власна твердопаливна/термомасляна котельня, від якої теплоносієм транспортується до виробничих і адміністративних будівель.

Розрахунковий температурний графік мережі прийнято на рівні $115 / 70^{\circ}\text{C}$. Витрата мережної води на кожній розрахунковій ділянці (G_d , т/год) обчислюється на основі сумарного максимального теплового навантаження споживачів, підключених до цієї ділянки, за формулою:

$$G_d = \frac{3,6 \cdot Q_{\Sigma}}{c \cdot (t_1 - t_2)}$$

де використано:

- Q_{Σ} — сумарне теплове навантаження споживачів на ділянці, кВт;
- $c = 4,19$ кДж/(кг·°C) — питома масова теплоємність води;
- $t_1; t_2$ — температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах відповідно (115°C та 70°C).

Головною метою гідравлічного розрахунку є визначення оптимальних стандартних діаметрів трубопроводів, за яких швидкість руху води не перевищує нормативних значень (до 1,5 м/с), а питомі лінійні втрати тиску знаходяться в межах техніко-економічного оптимуму (до 150 Па/м). Також враховуються еквівалентні втрати тиску на місцеві опори (засувки, повороти, компенсатори), що визначаються через приведену довжину ділянки.

Розрахункова схема мережі розбита на головну магістраль та тупикові відгалуження до окремих цехів. Результати обчислень гідравлічних параметрів для подавального трубопроводу зведено у таблицю 3.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 — Гідравлічний розрахунок ділянок теплової мережі підприємства з вироблення деревних плит

№ ділянки (від-до)	Навантаження ділянки Q, кВт	Витрата теплоносія G, т/год	Фактична довжина L, м	Приведена довжина Lпр, м	Діаметр стандартний D×S, мм	Швидкість води v, м/с	Питомі втрати R, Па/м	Втрати тиску ΔР, Па
Головна магістраль								
1 (Котельня – Вузол 1)	4380,15	83,67	45	63	159×4,5	1,22	114,5	7213
2 (Вузол 1 – Вузол 2)	3046,09	58,18	55	77	133×4,0	1,15	118,2	9101
3 (Вузол 2 – Головний вир. цех)	1334,06	25,48	30	42	89×3,5	0,98	105,4	4427
Відгалудження від Вузла 1								
4 (Вузол 1 – АБК та В'їзна група)	1011,41	19,32	75	105	76×3,0	0,92	110,6	11613
Відгалудження від Вузла 2								
5 (Вузол 2 – Цех сушіння стружки)	527,68	10,08	40	56	57×3,0	0,81	95,3	5337
6 (Вузол 2 – Цех підгот. сировини)	431,37	8,24	35	49	57×3,0	0,65	72,1	3533
7 (Вузол 2 – Блок допоміжних цехів)	752,66	14,37	65	91	76×3,0	0,71	85,4	7771

3.2. Визначення теплової ізоляції

Для забезпечення енергоефективності транспортування теплоносія та дотримання нормативних вимог щодо безпеки експлуатації, усі ділянки теплової мережі підлягають обов'язковій тепловій ізоляції. У даному проєкті передбачається використання сучасних труб, попередньо ізольованих пінополіуретаном (ППУ) в поліетиленовій оболонці для безканального підземного прокладання. Інтенсивність розсіювання теплової енергії (питомі теплові втрати) через багат шарову циліндричну стінку ізольованого трубопроводу в стаціонарному режимі визначається за основним рівнянням теплопередачі:

$$q_l = \frac{t_m - t_0}{R_\Sigma}$$

де:

- q_l - лінійна щільність теплового потоку (питомі теплові втрати), Вт/м;

								Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

- t_m - розрахункова температура теплоносія (для подавального трубопроводу $\tau_1 = 115^\circ \text{C}$, для зворотного $\tau_2 = 70^\circ \text{C}$);
- t_0 - розрахункова температура навколишнього середовища (приймається середня температура ґрунту на глибині закладання теплотраси $t_0 = +5^\circ \text{C}$);
- R_Σ - повний термічний опір системи «теплоносій – стінка труби – ізоляція – ґрунт», $(\text{m}^\circ \text{C}) / \text{Вт}$.

Розрахунок термічного опору та відповідних теплових втрат виконано для всіх діаметрів трубопроводів, які були визначені на етапі гідравлічного розрахунку (див. п. 3.1). Товщина ізоляційного шару підібрана відповідно до вимог ДБН В.2.5-39:2008 «Теплові мережі» для забезпечення нормативного рівня втрат.

Результати обчислень лінійних теплових втрат для магістралей та відгалужень зведено до таблиці 3.2.1.

Таблиця 3.2 Теплотехнічні характеристики ізольованих трубопроводів теплової мережі

№	Зовнішній діаметр труби D_z , мм	Температура ґрунту t_0 , $^\circ \text{C}$	Товщина шару ізоляції (ППУ), мм	Питомі теплові втрати подавального трубопроводу q_1 , Вт/м	Питомі теплові втрати зворотного трубопроводу q_2 , Вт/м
1	159	+5	50	85,4	50,5
2	133	+5	50	76,2	45
3	89	+5	40	62,1	36,7
4	76	+5	40	56,8	33,6
5	57	+5	40	48,3	28,5

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

Картограма електричних навантажень є наочним інструментом для просторової оптимізації системи електропостачання підприємства. Вона являє собою план заводу, на який нанесені кола, площі яких пропорційні розрахунковим потужностям відповідних цехів. Кожне коло розділене на сектори, що відображають частку силового та освітлювального навантажень.

Масштаб для побудови електричної картограми приймаємо $m = 0,5$ кВт/мм². Алгоритм обчислень продемонстровано на прикладі найбільшого споживача — *головного виробничого цеху (пресування)*.

Радіус кола, що відповідає повній активній розрахунковій потужності цеху

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m_e}} = \sqrt{\frac{1091,1}{3,14 \cdot 0,5}} = 26,4 \text{ мм.}$$

Кут сектора, що відповідає освітлювальному навантаженню ($P_{осв} = 83,2$ кВт):

$$\alpha_{осв} = \frac{P_{осв} \cdot 360^\circ}{\pi \cdot R_1^2 \cdot m_e} = \frac{83,2 \cdot 360^\circ}{3,14 \cdot 26,4^2 \cdot 0,5} = 27,5^\circ.$$

Координати центру електричних навантажень (ЦЕН), який є теоретично найкращим місцем для розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП), визначаються як координати центру мас:

$$X_{ЦЕН} = \frac{\sum (P_{pi} \cdot X_i)}{\sum P_{pi}} = \frac{588365,02}{3366,3} = 174,8 \text{ м;}$$

$$Y_{ЦЕН} = \frac{\sum (P_{pi} \cdot Y_i)}{\sum P_{pi}} = \frac{216869,39}{3366,3} = 64,4 \text{ м.}$$

Усі результати для інших підрозділів підприємства систематизовано у табл. 4.1.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Зм	
Арк	
№ докум.	
Підпис	
Дата	
Арк.	

Таблиця 4.1. Відомість параметрів для побудови електричної картограми заводу

№ з/п	Найменування цеху або відділення	$P_{P_{cил}}$, кВт	$P_{P_{ocв}}$, кВт	ΣP_p , кВт	R, мм	α , град	X, м	Y, м	P_x , кВт•м	P_y , кВт•м
1	Головний виробничий цех (пресування)	1007,9	83,2	1091,1	26,4	27,5	290	48	315882,58	52374,31
2	Цех підготовки сировини (рубильні машини)	453,4	24,2	477,6	17,4	18,2	58	44	27700,22	21013,96
3	Цех сушіння та сортування стружки	165,3	36,3	201,6	11,3	64,8	112	43	22574,25	8666,90
4	Блок насосних агрегатів та водопідготовки	418,3	2,6	420,9	16,4	2,2	167	86	70288,75	36196,60
5	Будівля заводууправління з побутовими приміщеннями	161,9	36,9	198,8	11,2	66,9	77	14	15307,56	2783,19
6	Ремонтно-механічна майстерня	92,2	12,8	105,0	8,2	44,0	85	104	8927,41	10922,94
7	Цех компресорної установки	302,6	5,5	308,1	14,0	6,4	107	104	32963,08	32038,88
8	Відділення пакування	12,2	15,6	27,8	4,2	201,5	48	105	1334,79	2919,85
9	Склад допоміжних матеріалів та запчастин	85,5	7,9	93,3	7,7	30,3	70	105	6533,39	9800,09
10	Клейове відділення	79,7	7,3	87,0	7,4	30,3	250	70	21743,61	6088,21
11	Котельня (термомасляна установка)	148,2	6,1	154,3	9,9	14,2	168	105	25922,33	16201,46
12	Очисні споруди	149,4	1,2	150,6	9,8	2,9	257	108	38714,80	16269,25
13	Цех форматної обрізки плит	30,6	5,9	36,5	4,8	58,6	12	43	437,92	1569,21
14	В'їзна група з постом охорони	3,4	1,5	4,9	1,8	113,4	7	5	34,33	24,52
	Освітлення території заводу		8,8	8,8	2,4	360,0	0	0	0,00	0,00
	Сума по заводу	3110	255,9	3366,3					588365,02	216869,39

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

5.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Для забезпечення надійного електропостачання деревообробного підприємства із розрахунковою потужністю $S_p = 4190,1$ кВА при віддаленості від джерела живлення на $L = 8$ км, розглядаються два альтернативні варіанти:

- Варіант №1: Дволанцюгова кабельна лінія (КЛ) напругою 10 кВ.
- Варіант №2: Дволанцюгова повітряна лінія (ПЛ) напругою 35 кВ зі спорудженням головної знижувальної підстанції (ГЗП) 35/10 кВ.

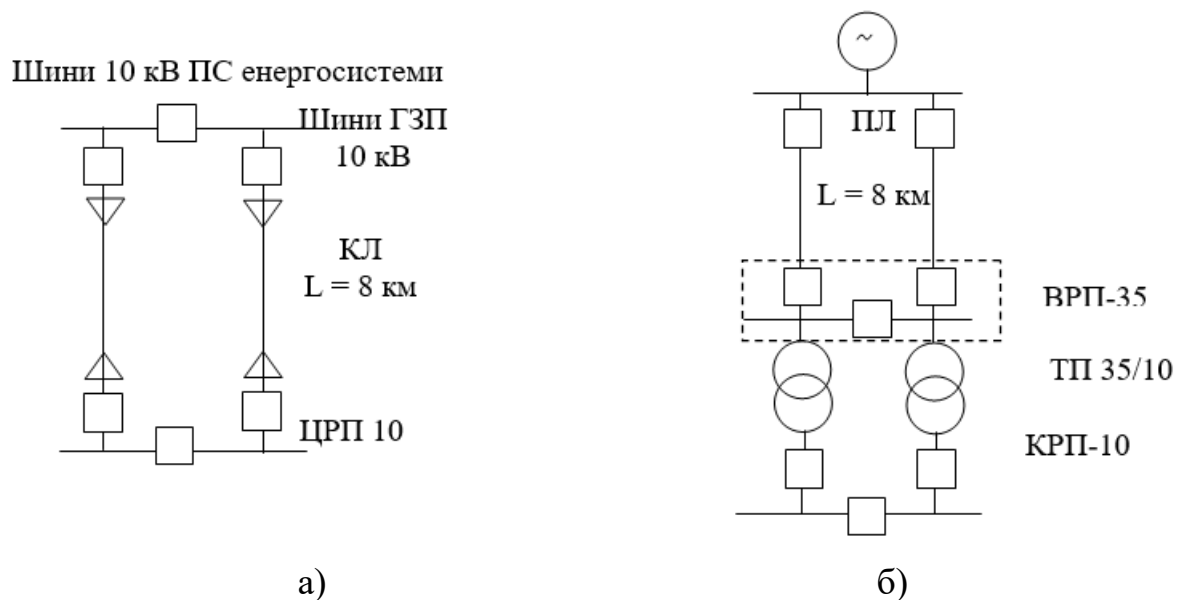


Рисунок 5.1. Схематичне представлення досліджуваних конфігурацій зовнішнього електропостачання підприємства: а) варіант із КЛ 10 кВ; б) варіант із ПЛ 35 кВ та ГЗП

Аналітичний розрахунок Варіанта №1 (КЛ 10 кВ)

Електропостачання реалізується кабелями 10 кВ. Розрахунковий струм лінії в нормальному режимі становить:

$$I_{p1} = \frac{4190,1}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 115,2 \text{ А.}$$

						Арк.

Згідно з критерієм економічної густини струму та технічними вимогами щодо надійності, прийнято до прокладання кабель марки ААШв 3×120 ($R_0 = 0,258 \text{ Ом/км}$), що забезпечує необхідний запас за пропускнуою здатністю.

Річні втрати ЕЕ в мережі 10 кВ довжиною 8 км (при $\tau = 2848,7 \text{ год}$):

$$\Delta P_{л1} = 2 \cdot \frac{3 \cdot I_{p1}^2 \cdot R_0 \cdot L}{1000} = 2 \cdot \frac{3115,2^2 \cdot 0,2588}{1000} = 164,3 \text{ кВт.}$$

$$\Delta W_{л1} = 164,3 \cdot 2848,7 = 468041 \text{ кВт·год.}$$

Вартість річних втрат енергії за тарифом 2-го класу ($C_{10} = 8,6 \text{ грн/кВт·год}$):

$$C_{vtr1} = 468041 \cdot 8,6 \cdot 10^{-3} = 4025,2 \text{ тис. грн.}$$

Аналітичний розрахунок Варіанта №2 (ПЛ 35 кВ + ГЗП)

При використанні напруги 35 кВ струмове навантаження на провід АС-50 ($R_0 = 0,590 \text{ Ом/км}$) становить $I_{p2} = 34,6 \text{ А}$.

Сумарні річні втрати в повітряних лініях та силових трансформаторах ГЗП (2хТМН-2500/35) складають:

$$\Delta W_{\Sigma 2} = \Delta W_{л2} + \Delta W_m = 36235 + 183352 = 219587 \text{ кВт·год.}$$

Оцінка вартості втрат при живленні за 1-м класом напруги ($C_{35} = 7,3 \text{ грн/кВт·год}$):

$$C_{vtr2} = 219587 \cdot 7,3 \cdot 10^{-3} = 1603,0 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 5.1. Кошторисна вартість будівництва об'єктів (K_j), тис. грн.

Складові системи електропостачання	Варіант 1 (10 кВ)	Варіант 2 (35 кВ)
Зовнішні мережі (КЛ або ПЛ, 16 км кола)	13600	11200
Розподільчі пристрої (РП-10 / ВРП-35)	1200	1950
Трансформаторне обладнання 35/10 кВ	—	4600
Пусконаладжувальні та загальнобудівельні роботи	2400	1800
Сумарні капіталовкладення (K)	17200	19550

						Арк.

Таблиця 5.2 — Щорічні експлуатаційні витрати (C_j), тис. грн.

Стаття витрат	Варіант 1	Варіант 2
Витрати на амортизацію та ремонт (~4%)	688	782
Оплата втрат електроенергії (C_{vtr})	4025,2	1603
РАЗОМ поточні витрати (C)	4713,2	2385

Таблиця 5.3 — Техніко-економічне порівняння варіантів проектування

Показник енергоефективності	Варіант 1 (10 кВ)	Варіант 2 (35 кВ)
Капітальні інвестиції (K), тис. грн.	17200	19550
Щорічні витрати (C), тис. грн.	4713,2	2385
Приведені витрати ($Z=0,15 \cdot K+C$)	7293,2	5317,5

Застосування напруги 35 кВ для живлення заводу з виробництва деревних плит є найбільш раціональним рішенням. Попри вищі початкові витрати на трансформаторне обладнання, Варіант №2 дозволяє знизити щорічні витрати на 2,3 млн грн завдяки меншим технологічним втратам та нижчому тарифу для 1-го класу напруги. Приведені витрати за цим варіантом є на 27% меншими, ніж при живленні 10 кВ. До подальшої розробки приймається Варіант №2.

5.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання

Враховуючи результати попереднього техніко-економічного аналізу та прийняте рішення щодо спорудження власної ГЗП 35/10 кВ, розподіл електричної енергії між виробничими об'єктами підприємства здійснюється на напрузі 10 кВ. Такий рівень напруги дозволяє ефективно транспортувати потужність до віддалених цехових підстанцій із мінімальними падіннями напруги в лініях. Для безпосереднього живлення силових електроприводів та освітлювальних приладів передбачено перетворення енергії на рівень 380/220 В безпосередньо в центрах навантажень підрозділів.

						Арк.

З огляду на специфіку деревообробних процесів, що характеризуються високою концентрацією обладнання та вимогами до безперервності виробництва, внутрішня мережа 10 кВ проєктується за радіальною топологією. Використання кабельних ліній (КЛ), прокладених за радіальним принципом, має суттєві переваги над магістральними схемами:

- *Надійність*: пошкодження на одній лінії призводить до відключення лише одного вузла, не впливаючи на роботу всього заводу.
- *Гнучкість керування*: можливість швидкої локалізації аварійних ділянок та спрощення автоматизації мережі.
- *Зручність експлуатації*: полегшення проведення ремонтних робіт та планового обслуговування без необхідності масових вимкнень споживачів.

Така конфігурація системи внутрішнього електропостачання забезпечує стійкість технологічного циклу підприємства та відповідає сучасним нормам проєктування промислових об'єктів.

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

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

Визначення необхідного обсягу компенсації базується на зведеному навантаженні підприємства на стороні 0,4 кВ, яке становить: $P_H = 3060,0$ кВт;

$$Q_H = 2862,4 \text{ кВар}.$$

Орієнтовні втрати в цехових трансформаторах:
 $\Delta P_m = 55,2$ кВт; $\Delta Q_m = 320,5$ кВар.

Сумарне навантаження заводу з урахуванням втрат у трансформаторах складе:

$$P_p = 3060,0 + 55,2 = 3115,2 \text{ кВт}; \quad Q_p = 2862,4 + 320,5 = 3182,9 \text{ кВар}.$$

						Арк.

Відповідно до вимог енергопередавальної організації, цільовий тангенс кута втрат у точці приєднання має становити $\operatorname{tg}\varphi_c = 0,15$. Реактивна потужність, яку дозволено споживати з енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi_c = 3115,2 \cdot 0,15 = 467,3 \text{ кВар.}$$

Загальний обсяг реактивної потужності, що підлягає обов'язковій компенсації на підприємстві:

$$Q_{\text{req}} = Q_p - Q_e = 3182,9 - 467,3 = 2715,6 \text{ кВар.}$$

Визначаємо теоретично мінімальну кількість цехових трансформаторів потужністю $S_{\text{ном}} = 630 \text{ кВА}$ за умови оптимального завантаження ($K_z = 0,7$):

$$N_0 = \frac{P}{K_z \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{3060,0}{0,7 \cdot 630} \approx 8 \text{ шт.}$$

(Приймаємо 8 одиниць для забезпечення надійності та парного резервування на двотрансформаторних підстанціях).

6.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для вибору оптимального техніко-економічного рішення порівняємо три варіанти комплектації трансформаторного парку: $N = N_0 = 8$; $N = N_0 + 1 = 9$; $N = N_0 + 2 = 10$.

Аналіз варіанта 1 ($N_0 = 8$ трансформаторів):

Максимальна реактивна потужність, яка може бути пропущена через 8 трансформаторів із мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ без їх перевантаження:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{\text{ном}})^2 - P^2} = \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3060^2} = 1755,9 \text{ квар.}$$

Необхідна потужність низьковольтних конденсаторних установок (БСК 0,4 кВ):

$$Q_{k,0,4} = Q_H - Q_n = 2862,4 - 1755,9 = 1106,5 \text{ кВар.}$$

Приймаємо до встановлення батареї загальною потужністю 1100 кВар.

Необхідна потужність високовольтних конденсаторних установок (БСК 10 кВ):

						Арк.

$$Q_{k.10} = Q_{req} - Q_{k.0,4} = 2715,6 - 1100 = 1615,6 \text{ кВар.}$$

Приймаємо до встановлення дві високовольтні установки по 800 кВар (всього 1600 кВар). Розподіл низьковольтних БСК між цеховими підстанціями здійснено пропорційно до їх реактивного навантаження (Таблиця 6.1).

Таблиця 6.1. Локалізація низьковольтних компенсуючих пристроїв

Номер ТП	Підключені підрозділи	Рр, кВт	Qр, кВар	Потужність БСК Q _{k.0,4} , кВар	Залишкове Q, кВар	Sфактичне, кВА	Kz
ТП-1, 2	Головний виробничий цех	1007,9	950,2	400	550,2	1148,4	0,91
ТП-3	Цех підготовки сировини	453,4	425	200	225	506,2	0,8
ТП-4	Сушіння, очисні, насосні	733	690,5	250	440,5	854,8	0,68
ТП-5	АБК, майстерні, склади	865,7	796,7	250	546,7	1023,7	0,81
Разом	По всьому підприємству	3060	2862,4	1100	1762,4	—	—

Для обґрунтування *Варіанта 1* визначимо фінансові витрати.

Додаткові втрати активної потужності:

- У трансформаторах: $\Delta P_{np} = \frac{Q_{k.0,4}^2 \cdot \Delta P_k}{N \cdot S_{nom}^2} = \frac{1100^2 \cdot 12,2}{8 \cdot 630^2} = 4,65 \text{ кВт.}$
- У низьковольтних БСК: $\Delta P_{k.n} = 0,0045 \cdot 1100 = 4,95 \text{ кВт.}$
- У високовольтних БСК: $\Delta P_{k.v} = 0,003 \cdot 1600 = 4,80 \text{ кВт.}$

Капітальні інвестиції в обладнання (КТП + БСК):

$$K_{КТП} = 8 \cdot 650 = 5200 \text{ тис. грн; } K_{k.0,4} = 2750 \text{ тис. грн; } K_{k.10} = 2400 \text{ тис. грн.}$$

Приведені розрахункові витрати за Варіантом 1:

$$Z_1 = E_n (K_{k.0,4} + K_{k.10} + K_{КТП}) + (\Delta P_{np} + \Delta P_{k.n} + \Delta P_{k.v}) \cdot C_0 \cdot \tau$$

$$Z_1 = 0,12 \cdot (2750 + 2400 + 5200) + (14,4) \cdot 8,6 \cdot 2848,7 \cdot 10^{-3} = 1242,0 + 352,8 = 1594,8 \text{ тис. грн.}$$

Аналогічні розрахунки проведено для збільшеної кількості трансформаторів ($N = 9$ та $N = 10$). Порівняльні результати зведено до таблиці 6.2.

						Арк.

Таблиця 6.2. Економічне порівняння конфігурацій системи компенсації

Показник	Варіант 1 (N=8)	Варіант 2 (N=9)	Варіант 3 (N=10)
Потужність БСК 0,4 кВ, кВар	1100	350	0
Потужність БСК 10 кВ, кВар	1600	2400	2700
Допустима генер. з мережі Q _с , кВар	467,3	467,3	467,3
Сумарні приведені витрати (3), тис. грн.	1594,8	1785,2	2120,4

Аналіз таблиці 6.2 демонструє, що мінімум приведених витрат забезпечує *Варіант №1* (N = 8 трансформаторів). Встановлення додаткових трансформаторів (Варіанти 2 і 3) призводить до необґрунтованого зростання капіталовкладень.

Загальні результати оптимізації електричних навантажень підприємства з урахуванням обраної системи компенсації реактивної потужності інтегровано у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3. Зведена відомість розрахункових електричних навантажень з урахуванням компенсації

Найменування вузла	P _p , кВт	Q _p , кВар (до комп.)	S _p , кВА (до комп.)	Потужність БСК Q _к , кВар	Q _{залишкове} , кВар (після комп.)	S _{нове} , кВА (після комп.)	cosφ (після)
Шини 0,4 кВ (сумарно)	3060	2862,4	4190,1	-1100	1762,4	3531,5	0,86
Втрати в ТП (8x630)	55,2	320,5	325,2	—	320,5	—	—
Шини 10 кВ	3115,2	2082,9	3746,4	-1600	482,9	3152,4	0,98
Вихід у систему	3115,2	482,9	3746,4	-2700	482,9	3152,4	0,98

Таблиця 6.3. Повна зведена відомість розрахункових електричних навантажень з урахуванням компенсації

№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє		n_E	K_M	Розрахункове навантаження		
			min	...	max						$P_{CM},$ кВт	$Q_{CM},$ квар			$P_P,$ кВт	$Q_P,$ квар	$S_P,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ТП №1,2 (3х630)																	
1	Головний виробничий цех (пресування)																
	Силове навантаження	194	2	-	63	1953	42	0,5	0,7	1,2	879	1027	62	1	1008	1027	1439
	Освітлювальне навантаження										85,2	36,3			83,2	35,5	90,5
	Всього по цеху										964,0	1063,8			1091,1	1062,9	1523,3
2	Клейове відділення																
	Силове навантаження	19	2	-	11	114	6	0,6	0,8	0,8	66	53	19	1	80	53	96
	Освітлювальне навантаження										7,7	11,7			7,3	11,1	13,3
	Всього по цеху										73,8	64,7			87,0	64,2	108,1
3	Очисні споруди																
	Силове навантаження	14	2	-	42	204	28	0,6	0,8	0,8	112	90	10	1	149	99	179
	Освітлювальне навантаження										1,7	0,7			1,2	0,5	1,3
	Всього по очисній										113,9	90,7			150,6	99,5	180,6
Всього силова по ТП 1,2		227	2	...	63	2271	42	0,47	0,67	1,11	1057,2	1170,6	72	1,13	1194,5	1170,6	1672,5
Всього освітлювальна по ТП 1,2											94,5	48,7			91,8	47,1	103,1
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2											1151,7	1219,2			1286,3	1217,6	1771,2
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																-400,0	
Втрати в тр-рах ТП 1,2 (3х630), Кз=0,9															22,4	122,0	124,0
Всього на шинах 10 кВ по ТП 1,2															1308,7	939,6	1611,1

Зм	
Арк	
№ докум.	
Підпис	
Дата	
Арк.	

Продовження Табл. 6.3.

ТП №3 (2х630)																	
1	Цех підготовки сировини (рубильні машини)																
	Силове навантаження	61	1	-	112	789	160	0,42	0,78	0,80	331	266	14	1	453	266	526
	Освітлювальне навантаження										24,8	10,5			24,2	10,3	26,3
	Всього по цеху										356,1	276,4			477,6	276,2	551,7
2	Цех сушіння та сортування стружки																
	Силове навантаження	82	0	-	16	360	80	0,38	0,72	0,96	137	132	45	1	165	132	211
	Освітлювальне навантаження										37,1	15,8			36,3	15,4	39,4
	Всього по цеху										173,9	147,7			201,6	147,3	249,6
3	Будівля заводууправління з побутовими приміщеннями																
	Силове навантаження	125	0	-	2	249	22	0,7	0,9	0,6	162	100	125	1	162	100	190
	Освітлювальне навантаження										37,8	16,1			36,9	15,7	40,2
	Всього по АПБ										199,7	116,4			198,8	116,0	230,2
4	В'їзна група з постом охорони																
	Силове навантаження	1	1	-	9	139	9	0,5	0,7	1,0	72	70	31	1	85	70	110
	Освітлювальне навантаження										2,2	0,9			1,5	0,7	1,7
	Всього по прохідній										74,4	70,6			87,0	70,3	111,9
Всього силова по ТП 3		269	0	...	112	1537	1120	0,46	0,78	0,81	702,3	567,7	27	1,23	862,9	567,7	1032,9
Всього освітлювальна по ТП 3											101,8	43,4			99,0	42,2	107,6
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 3											804,1	611,1			961,8	609,8	1138,9
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																-	
Втрати в тр-рах ТП 3 (2х630), Кз=0,914															9,7	72,6	73,2
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3															971,5	482,4	1084,7

Продовження Табл. 6.3.

Зм		Продовження Табл. 6.3.																	
Док		ТП №4 (1х630)																	
№ докум.	1	Блок насосних агрегатів та водопідготовки																	
		Силове навантаження	46	1	-	88	581	80	0,7	0,8	0,7	418	292	13	1	418	292	510	
		Освітлювальне навантаження										2,5	1,0			2,6	1,1	2,8	
		Всього по станції										420,8	293,0			420,9	293,1	512,9	
	Всього силова по ТП 4	46	1	...	88	581	80	0,72	0,82	0,70	418,3	292,0	13	1,00	418,3	292,0	510,1		
	Всього освітлювальна по ТП 4										2,5	1,0			2,6	1,1	2,8		
	Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 4										420,8	293,0			420,9	293,1	512,9		
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-250,0			
	Втрати в тр-рах ТП 4 (1х630), Кз=0,82														5,0	36,8	37,1		
	Всього на шинах 10 кВ по ТП 4														425,9	79,9	433,3		
Підпис	ТП №5(2х630)																		
	1	Цех компресорної установки																	
		Силове навантаження	64	0,8	-	35	488	44	0,6	0,7	0,9	303	275	28	1	303	275	409	
		Освітлювальне навантаження										5,0	7,7			5,5	8,4	10,0	
		Всього по цеху										307,6	282,7			308,1	283,4	418,6	
	2	Котельня (термомасляна установка)																	
		Силове навантаження	30	0,5	-	17	228	33	0,7	0,8	0,9	148	131	28	1	148	131	198	
		Освітлювальне навантаження										6,2	9,5			6,1	9,3	11,1	
		Всього по										154,4	140,2			154,3	140,0	208,3	
	3	Ремонтно-механічна майстерня																	
		Силове навантаження	41	0,6	-	19	303	31	0,2	0,6	1,5	67	101	33	1	92	101	137	
		Освітлювальне навантаження										11,8	5,0			12,8	5,5	14,0	
		Всього по майстерні										78,4	106,2			105,0	106,7	149,7	
	4	Відділення пакування																	
		Силове навантаження	8	1,5	-	3	18	2	0,7	0,8	0,7	12	9	8	1	12	9	15	
		Освітлювальне навантаження										14,3	21,6			15,6	23,6	28,3	
		Всього по відділенню										26,5	30,2			27,8	33,0	43,2	
	5	Склад допоміжних матеріалів та запчастин																	
		Силове навантаження	44	1,00	-	9,00	139	9	0,5	0,7	1,0	72	70	31	1	85	70	110	
		Освітлювальне навантаження										7,2	10,9			7,9	11,9	14,3	
Всього по складу											79,5	80,6			93,3	81,6	124,0		
Дата	Всього силова по ТП 5		187	1	...	35	1176	70	0,51	0,72	0,97	602	585	67	1,12	674,6	585,1	893,0	
	Всього освітлювальна по ТП 5											902	55			47,9	58,7	75,7	
Док.																			

Док.

Продовження Табл. 6.3.

Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 5										1503,8	639,8			722,5	643,8	967,7
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-250,0	
Втрати в тр. ТП 5 (2х630), Кз=0,769														7,4	63,9	64,3
Всього на шинах 10 кВ по ТП 5														729,9	457,7	861,5
Всього по заводу на стороні 0,4 кВ														3015,5	2567,1	3960,2
Всього КП 0,4															- 1100,0	
Загальні втрати в тр-рах ТП 1-5														44,5	295,3	298,6
Всього КП 10 кВ															- 1600,0	
Всього по заводу на стороні 10 кВ														3060,0	162,4	3064,3
Всього по заводу														3060,0	162,4	3064,3

7. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

7.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Основою для комплектування цехових трансформаторних підстанцій (ТП) є розрахункові значення повної потужності (S_p) підрозділів підприємства після впровадження заходів із компенсації реактивної енергії. Згідно з результатами оптимізації (див. розд. 6), загальна кількість трансформаторів на підприємстві прийнята рівною 8 одиницям з номінальною потужністю 630 кВА.

Продемонструємо алгоритм підбору на прикладі найбільш навантаженого вузла — ТП-1 (Головний виробничий цех).

Повна розрахункова потужність цеху з урахуванням компенсації становить $S_{p1} = 1148,4$ кВА. Для забезпечення I та II категорій надійності приймаємо до встановлення 3 трансформатори (КТП $3 \times 630/10/0,4$).

Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному експлуатаційному режимі:

$$K_z = \frac{S_p}{N \cdot S_{nom}} = \frac{1148,4}{3 \cdot 630} = 0,61.$$

У післяаварійному режимі (при виході з ладу одного трансформатора) навантаження лягає на два агрегати, що залишилися в роботі:

$$K_{av} = \frac{1148,4}{2 \cdot 630} = 0,91.$$

Оскільки $K_{av} < 1,4$ (нормативно допустиме перевантаження), додаткове відключення споживачів III категорії не вимагається.

Аналогічний розрахунок проведемо для ТП-4 (АБК, майстерні, склади).

Розрахункове навантаження $S_{p4} = 1023,7$ кВА. Встановлюємо двотрансформаторну підстанцію (КТП $2 \times 630/10/0,4$).

Завантаження в нормальному режимі:

$$K_z = \frac{1023,7}{2 \cdot 630} = 0,81.$$

						Арк.

Завантаження в аварійному режимі (на один трансформатор):

$$K_{av} = \frac{1023,7}{630} = 1,62.$$

Оскільки $1,62 > 1,4$, трансформатор не зможе витримати повне навантаження. Відповідно, у післяаварійному режимі передбачається автоматичне або ручне відключення некритичних споживачів III категорії (складське та загальне освітлення, допоміжні майстерні) на суму:

$$\Delta S = 1023,7 - (1,4 \cdot 630) = 141,7 \text{ кВА.}$$

Зведені результати розподілу потужностей та вибору ТП по всій території заводу наведено в таблицях 7.1 та 7.2.

Таблиця 7.1. Розрахункові параметри та навантаження цехових підстанцій

№ ТП	Підрозділи	Pp, кВт	Qp, кВар (без КП / з КП)	Sp, кВА (без КП / з КП)	Кількість та потужність тр-рів	Kz
ТП-1	Головний виробничий цех	1007,9	950,2 / 550,2	1385,2 / 1148,4	3×630	0,61
ТП-2	Цех підготовки сировини	453,4	425,0 / 225,0	621,3 / 506,2	1×630	0,8
ТП-3	Сушіння, очисні, насосні	733	690,5 / 440,5	1007,0 / 854,8	2×630	0,68
ТП-4	АБК, майстерні, склади	865,7	796,7 / 546,7	1176,6 / 1023,7	2×630	0,81

Таблиця 7.2. Перевірка трансформаторів за умовами нормального та аварійного режимів

№ ТП	Sp після комп., кВА	Kz	Необхідна сумарна потужність (при Копт=0,7), кВА	Допустиме навант. одного тр-ра в аварії (при Kав=1,4), кВА	Фактично обрані трансформатори
ТП-1	1148,4	0,61	1640,5	410,1	3×630 (630 > 410)
ТП-2	506,2	0,8	723,1	361,5	1×630 (630 > 361)
ТП-3	854,8	0,68	1221,1	610,5	2×630 (630 > 610)
ТП-4	1023,7	0,81	1462,4	731,2	2×630 (630 < 731)*

*Примітка: для ТП-4 передбачено скидання навантаження III категорії в аварійному режимі.

						Арк.

7.2. Компонівка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Розташування трансформаторних підстанцій обирається з умови максимального наближення до центрів електричних навантажень відповідних груп цехів. Для підприємства з виробництва плит найбільш раціональним є використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) внутрішнього або прибудованого типу. Це дозволяє мінімізувати довжину низьковольтних мереж (0,4 кВ), знизити втрати напруги та зекономити на будівельній частині.

Таблиця 7.3. Топологія та конструктивне виконання цехових ПС

№ ТП	N×S _{ном} , кВА	S _p , кВА	Локалізація на генплані	Тип та марка підстанції	Виконання
ТП-1	3×630	1148,4	Головний виробничий цех	3КТП-630-10/0,4	Вбудована
ТП-2	1×630	506,2	Цех підготовки сировини	КТП-630-10/0,4	Прибудована
ТП-3	2×630	854,8	Цех сушіння стружки	2КТП-630-10/0,4	Вбудована
ТП-4	2×630	1023,7	Будівля заводууправління	2КТП-630-10/0,4	Окремостояча

						Арк.

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

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ)

Для вибору та перевірки на термічну і динамічну стійкість високовольтного обладнання необхідно визначити максимальні значення струмів КЗ. На основі розробленої топології мережі формується еквівалентна схема заміщення (рис.8.1 та 8.2).

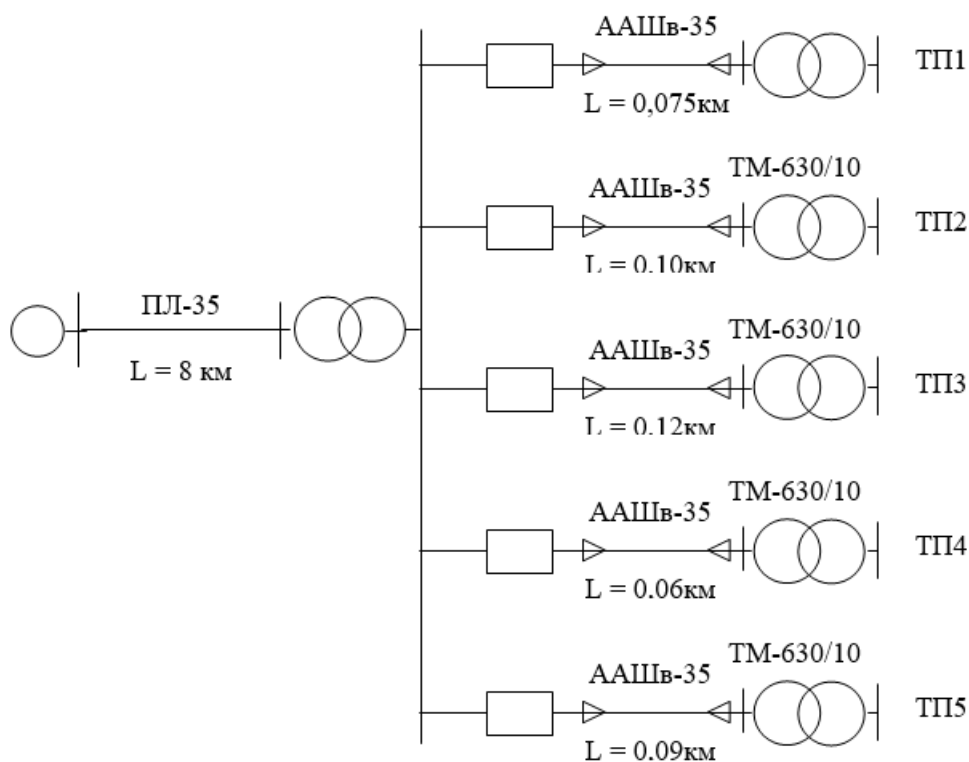


Рисунок 8.1. Структурна топологія електричних мереж живлення підприємства

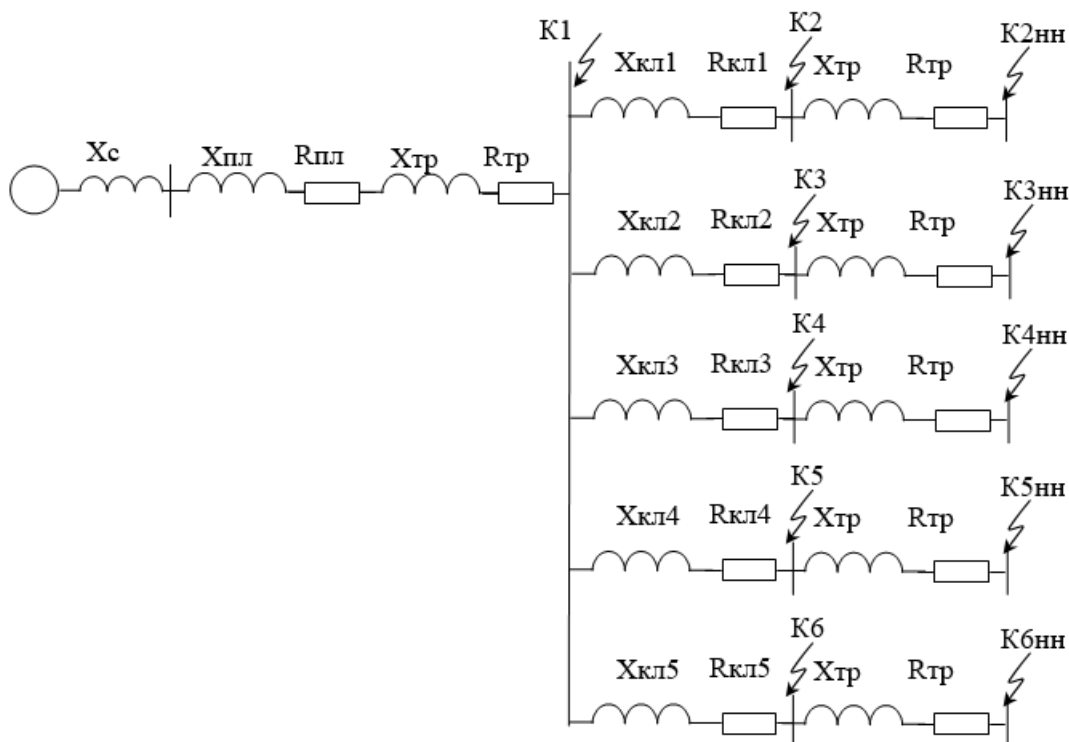


Рисунок 8.2. Схема заміщення електричного кола для аналізу аварійних режимів

Визначення приведених опорів елементів схеми:

$$X_{пл} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 0,408 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,233 \text{ в.о.}$$

$$R_{пл} = r_0 \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{Б1}^2} = 0,598 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,344 \text{ в.о.}$$

$$X_{тр} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,600 \text{ в.о.}$$

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_k \cdot S_B}{S_{НОМ}^2 \cdot 1000} = \frac{23,5 \cdot 100}{2,5^2 \cdot 1000} = 0,376 \text{ в.о.}$$

Параметри КЗ у точці К1 (шини 35 кВ ГЗП):

Сумарний опір до точки К1:

$$X_{К1} = X_c + X_{пл} = 0 + 0,233 = 0,233 \text{ в.о.}$$

$$R_{К1} = 0 + 0,344 = 0,344 \text{ в.о.}$$

$$Z_{К1} = \sqrt{X_{К1}^2 + R_{К1}^2} = \sqrt{0,233^2 + 0,344^2} = 0,4152 \text{ в.о.}$$

						Арк.

Надперехідний струм КЗ:

$$I_{K1''} = \frac{I_{K1}}{Z_{K1}} = \frac{1,560}{0,415} = 3,759 \text{ кА.}$$

Стала часу затухання та ударний коефіцієнт:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{0,233}{314 \cdot 0,344} = 0,0021 \text{ с;}$$

$$K_{yД1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{-4,76} = 1,008.$$

Ударний струм у точці К1:

$$i_{yД1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1''} \cdot K_{yД1} = 1,41 \cdot 3,759 \cdot 1,008 = 5,343 \text{ кА.}$$

Параметри КЗ у точці К2 (шини 10 кВ ГЗП):

Еквівалентний опір до точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{TP} = 0,233 + 2,600 = 2,833 \text{ в.о.}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{TP} = 0,344 + 0,376 = 0,720 \text{ в.о.}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{2,833^2 + 0,720^2} = 2,923 \text{ в.о.}$$

$$I_{K2''} = \frac{I_{K2}}{Z_{K2}} = \frac{5,499}{2,923} = 1,881 \text{ кА.}$$

З урахуванням підживлення від високовольтних асинхронних двигунів (за спрощеною методикою $\Delta I_{AD} \approx 0,6 \text{ кА}$), сумарний ударний струм на шинах 10 кВ складатиме:

$$i_{yД\Sigma 2} = \sqrt{2} \cdot 1,881 \cdot 1,45 + 1,30 = 5,156 \text{ кА.}$$

8.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Для визначення струмів КЗ безпосередньо на входах цехових підстанцій (точки КЗ–К6), необхідно спроектувати розподільчу кабельну мережу 10 кВ від ГЗП до кожної ТП.

Розрахунок ведеться за економічною густиною струму ($j_{ЕК} = 1,4 \text{ А/мм}^2$) з подальшою перевіркою на нагрівання в післяаварійному режимі.

						Арк.

Приклад обчислення для ТП-1 (Головний виробничий цех, $S_p = 1148,4$ кВА, живлення двома кабелями):

Розрахунковий робочий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1148,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 31,5 \text{ А.}$$

В аварійному режимі (при відключенні однієї лінії):

$$I_{AB} = 2 \cdot 31,5 = 63,0 \text{ А.}$$

Економічний переріз: $F_{ЕК} = 31,5 / 1,4 = 22,5 \text{ мм}^2$

Результати вибору всіх КЛ 10 кВ зведено у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 — Попередній вибір кабельних ліній розподільчої мережі 10 кВ

Магістраль до	Розрахункова потужність S_p , кВА	Кількість ліній n	Робочий струм I_p , А	Аварійний струм $I_{ав}$, А	Обрана марка та переріз кабелю	Допустимий струм $I_{доп}$, А
ТП-1	1148,4	2	31,5	63	ААШв 3х35	115
ТП-2	506,2	1	27,8	27,8	ААШв 3х35	115
ТП-3	854,8	2	23,5	47	ААШв 3х35	115
ТП-4	1023,7	2	28,1	56,2	ААШв 3х35	115

Знаючи довжини та перерізи кабелів, визначаємо їх опори та розраховуємо струми КЗ на стороні 10 кВ кожної цехової ТП. Оскільки довжина внутрішньозаводських мереж незначна (0,1–0,5 км), загальний опір змінюється несуттєво. Зведені результати електродинамічних розрахунків для всіх контрольних точок представлені в таблиці 8.2.

Для забезпечення надійного функціонування системи електропостачання, попередньо обрані КЛ необхідно перевірити на відповідність умовам нагрівання тривалим робочим струмом, а також на термічну стійкість під час протікання струмів КЗ. Методику розрахунку та перевірки продемонструємо на

						Арк.

прикладі кабельної лінії, що забезпечує живлення ТП-1 (Головний виробничий цех). Вихідні дані: розрахункова потужність $S_p = 1148,4$ кВА, живлення здійснюється двома радіальними лініями ($n=2$). Струмове навантаження на один кабель у нормальному експлуатаційному режимі становить:

Таблиця 8.2 — Зведена відомість результатів розрахунку струмів КЗ

Точка КЗ	Локалізація	ХΣ, в.о.	РΣ, в.о.	ЗΣ, в.о.	Стала часу Та, с	Ударний коеф. Куд	Початковий струм I'', кА	Ударний струм іуд, кА
К1	Шини 35 кВ (ГЗП)	0,233	0,344	0,415	0,0021	1,008	3,759	5,343
К2	Шини 10 кВ (ГЗП)	2,833	0,72	2,923	0,0125	1,449	1,881	3,856
К3	Ввід ТП-1 (10 кВ)	2,838	0,775	2,942	0,0116	1,422	1,869	3,759
К4	Ввід ТП-2 (10 кВ)	2,841	0,79	2,948	0,0114	1,416	1,865	3,736
К5	Ввід ТП-3 (10 кВ)	2,839	0,782	2,944	0,0115	1,419	1,868	3,748
К6	Ввід ТП-4 (10 кВ)	2,84	0,786	2,946	0,0114	1,416	1,866	3,741

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1148,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 31,57 \text{ А.}$$

У разі виникнення аварійної ситуації (відключення однієї з паралельних ліній), весь обсяг потужності передається по неушкодженному кабелю:

$$I_{AB} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 31,57 = 63,14 \text{ А.}$$

Економічно доцільна площа перерізу жили для кабелів з паперовою ізоляцією та алюмінієвими жилами):

$$F_{ЕК} = \frac{I_p}{j_{ЕК}} = \frac{31,57}{1,4} = 22,55 \text{ мм}^2.$$

Для перевірки кабелю на термічну стійкість до струмів КЗ розраховуємо тепловий імпульс (B_k):

$$B_k = (I_{КЗ'})^2 \cdot (t_{від} + T_a) = 1,869^2 \cdot (0,2 + 0,0116) = 3,493 \cdot 0,2116 = 0,739 \text{ кА}^2 \text{ с.}$$

								Арк.

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C} = \frac{\sqrt{0,739 \cdot 10^6}}{94} = \frac{859,6}{94} = 9,14 \text{ мм}^2.$$

Перевірка обраного кабелю:

$$I_p = 31,57 \text{ A} \leq K_{II} \cdot I_{DOM} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A} \quad (\text{умова виконується}).$$
$$I_{AB} = 63,14 \text{ A} \leq K_{AB} \cdot K_{\Gamma} \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 1,0115 = 149,5 \text{ A} \quad (\text{умова виконується}).$$

Таблиця 8.3. Зведена відомість вибору та перевірки високовольтних кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ до ТП	Sp, кВА	n	Ip, А	Iав, А	F _{ек} , мм ²	Марка кабелю	Idоп, А	Kп	Kп·Idоп, А	Kав·Kп' ·Idоп, А	B _к , кА ² с	F _{min} , мм ²
1	1148,4	2	31,57	63,14	22,55	ААШв 3×35	115	0,9	103,5	149,5	0,739	9,14
2	506,2	1	27,83	27,83	19,88	ААШв 3×35	115	1	115	149,5	0,735	9,12
3	854,8	2	23,5	47	16,78	ААШв 3×35	115	0,9	103,5	149,5	0,738	9,14
4	1023,7	2	28,14	56,28	20,1	ААШв 3×35	115	0,9	103,5	149,5	0,736	9,13

*Примітка: Оскільки просторова протяжність внутрішньозаводських кабельних трас є незначною (в межах 100–300 метрів), розрахунок ліній на допустиме падіння напруги (ΔU) не наводиться, адже фактичні втрати завідомо знаходяться в межах нормативних допусків.

						Арк.

8.3. Вибір електрообладнання

Надійність роботи головної знижувальної підстанції (ГЗП) безпосередньо залежить від правильності вибору комутаційної та захисної апаратури. Обране обладнання повинно витримувати тривалі робочі навантаження в нормальному та післяаварійному режимах, а також володіти необхідним запасом електродинамічної та термічної стійкості до струмів короткого замикання.

Для здійснення комутацій на стороні вищої напруги (35 кВ) приймаємо до встановлення сучасні вакуумні вимикачі зовнішнього виконання типу ВРС-35 (або аналоги серії ВР35НС) з номінальним струмом 1000 А. Максимальний робочий струм через вимикач 35 кВ (при роботі одного трансформатора 2500 кВА на повне навантаження заводу $S_p = 4190,1$ кВА) становить:

$$I_{max35} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4190,1}{1,73 \cdot 35} = 69,12 \text{ А.}$$

Перевірка обраного апарата за розрахунковими струмами КЗ (точка К1) зведена до таблиці 8.4.

Таблиця 8.4. Перевірка та вибір вакуумного вимикача на стороні 35 кВ

Параметр перевірки	Умова вибору	Розрахункове значення	Каталожні дані ВРС-35
Ном. напр.	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
Довготривалий струм	$I_{роб.МАХ} \leq I_{ном}$	69,12 А	1000 А
Струм відключення	$I_{К1''} \leq I_{відкл}$	3,759 кА	20,0 кА
Динамічна стійкість (амплітуда)	$i_{y\partial 1} \leq i_{дин}$	5,343 кА	52,0 кА
Термічна стійкість (тепловий імпульс)	$B_{k1} \leq I_{ТЕРМ}^2 \cdot t$	2,856 кА ² с	1200 кА ² с

Розподільчий пристрій нижчої напруги (10 кВ) комплектується комірками серії КРУ з вакуумними вимикачами типу ВР1-10-20/630 У2. Максимальний робочий струм на ввідному вимикачі від трансформатора ГЗП становить:

$$I_{max10} = \frac{4190,1}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 230,4 \text{ А.}$$

						Арк.

Таблиця 8.5. Перевірка ввідних вимикачів на стороні 10 кВ

Параметр перевірки	Умова вибору	Розрахункове значення (точка К2)	Каталожні дані ВР1-10
Ном. напр.	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
Робочий струм вводу	$I_{роб.МАХ} \leq I_{ном}$	230,4 А	630 А
Струм відключення	$I_{К2''} \leq I_{відкл}$	1,881 кА	20,0 кА
Динамічна стійкість	$i_{уд2} \leq i_{дин}$	5,156 кА	52,0 кА
Термічна стійкість	$B_{к2} \leq I_{ТЕРМ}^2 \cdot t$	0,752 кА ² с	1200 кА ² с

Для захисту відхідних кабельних ліній 10 кВ, що живлять цехові ТП, використовуємо ідентичні вимикачі ВР1-10-20/630 У2 з метою уніфікації обладнання КРУ. Найбільш навантажена лінія (до ТП-1) має аварійний струм $I_{AB} = 63,14$ А, що гарантовано задовольняє умову $I_{AB} \leq I_{НОМ}$ ($63,14$ А < 630 А). Параметри КЗ для відхідних ліній аналогічні ввідному вимикачу (див. табл. 8.5).

Функції створення видимого розриву електричного кола на стороні 35 кВ виконують двоколонкові роз'єднувачі типу РНДЗ-35/1000 У1.

Таблиця 8.6. Перевірка лінійних роз'єднувачів 35 кВ

Параметр перевірки	Розрахункова умова	Значення мережі	Параметри РНДЗ-35
Роб. напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	35 кВ	35 кВ
Роб. струм	$I_{роб.МАХ} \leq I_{ном}$	69,12 А	1000 А
Струм електродинамічної стійкості	$i_{уд1} \leq i_{дин}$	5,343 кА	63,0 кА
Термічний імпульс	$B_{к1} \leq I_{ТЕРМ}^2 \cdot t$	2,856 кА ² с	2500 кА ² с

Для нівелювання впливу атмосферних та комутаційних перенапруг на ізоляцію силових трансформаторів передбачено встановлення нелінійних обмежувачів перенапруг (або вентильних розрядників). На стороні 35 кВ

						Арк.

монтуються апарати типу РВС-35 У1 ($U_{НОМ} = 35$ кВ), на стороні 10 кВ — РВО-10 У1 ($U_{НОМ} = 10$ кВ, струм провідності 3000 А).

Визначення навантаження та вибір трансформаторів власних потреб (ВП)

Для забезпечення функціонування систем керування, захисту, обігріву комірок та освітлення території ГЗП проектується мережа власних потреб.

Перелік споживачів ВП та їх потужності наведено в таблиці 8.7.

Таблиця 8.7. Розрахунок навантаження споживачів власних потреб ГЗП

№	Найменування групи приймачів	Встановлена потужність 1 шт., кВт	Кількість, шт.	Р _{впmax} , кВт
1	Двигуни системи обдування тр-рів	1	2	2
2	Елементи підігріву приводів 35 кВ	1,75	2	3,5
3	Антиконденсатний обігрів комірок КРУ-10	1	10	10
4	Освітлення та опалення загальнопідстанційного пункту керування (ЗПК)	5,5	1	5,5
5	Периметральне освітлення ГЗП	4,5	1	4,5
6	Живлення кіл оперативної ділянки	2,5	1	2,5
	Загальна сумарна потужність			28

Розрахункова потужність мережі власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнта попиту ($K_c = 0,70$):

$$S_{ВП} = K_c \cdot P_{ВП}^{max} = 0,7 \cdot 28,0 = 19,6 \text{ кВА.}$$

Для резервування живлення критичних систем керування до встановлення приймаються два трансформатори власних потреб (ТВП) типу ТМ-25/10 ($S_{НОМ} = 25$ кВА).

Коефіцієнт їх завантаження в нормальному режимі:

$$K_z = \frac{S_{ВП}}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{19,6}{2 \cdot 25} = 0,39.$$

						Арк.

Фундаментальною основою концепції є повна енергетична утилізація технологічних побічних продуктів, які утворюються при виробництві плит: деревної кори, некондиційної тріски, обрізків та шліфувального пилу. У плитній індустрії теплова енергія є критично необхідною для роботи сушильних барабанів, де вологість подрібненої деревини має бути знижена до 2–4%, а також для нагріву термооливи чи пари для гідравлічних пресів. Замість використання природного газу, пропонується застосування потужних енергоблоків на біомасі. Енергія, що міститься у відходах процесу шліфування та обрізки плит, повертається в систему, що робить об'єкт практично автономним за тепловою енергією.

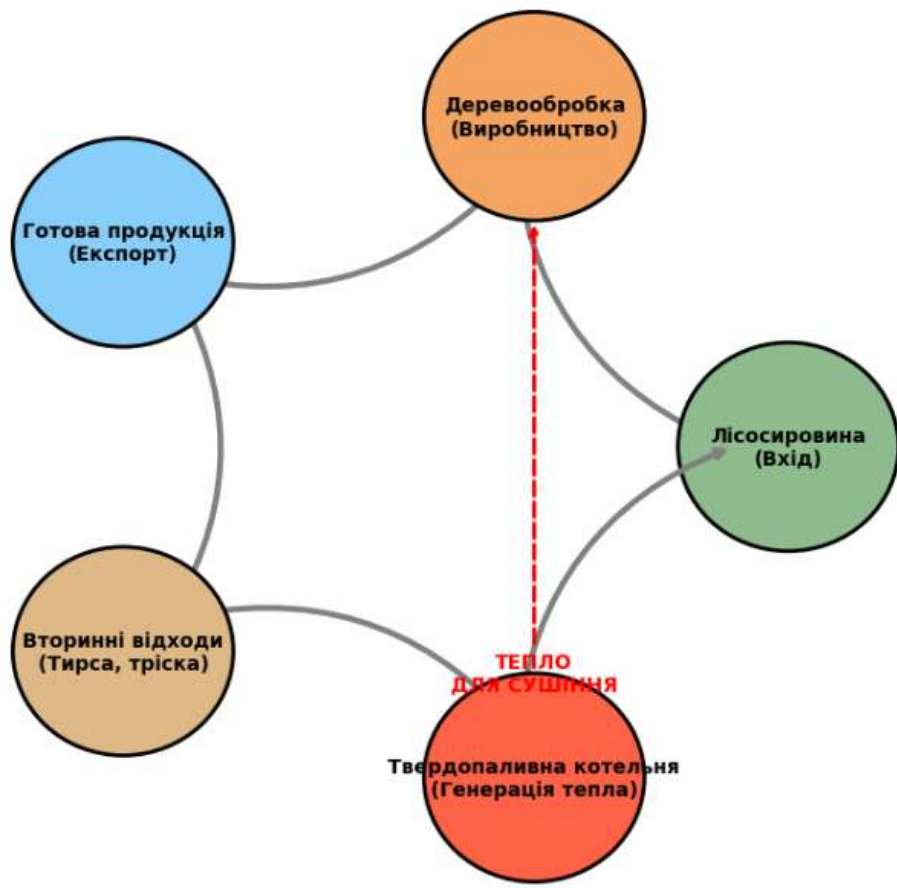


Рисунок 9.2 — Модель циркулярного використання ресурсів та енергії у плитній промисловості

Другий вектор концепції спрямований на оптимізацію електричної складової за рахунок впровадження сонячної електростанції потужністю 150 кВт. Географічне положення заводу в м. Кропивницький є стратегічно вигідним, оскільки цей регіон має один із найвищих в Україні рівнів сонячної радіації. Це забезпечує високу питому продуктивність фотоелектричних панелей протягом року.

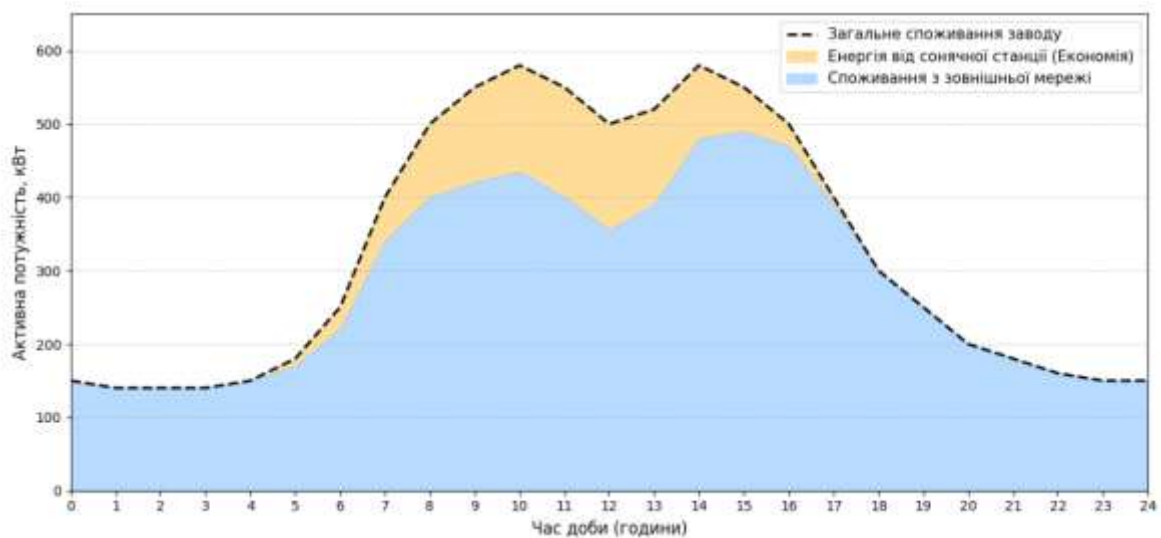


Рисунок 9.3. Річний розподіл сонячної інсоляції у м. Кропивницький

Встановлення ФЕС на покрівлях виробничих корпусів дозволяє використовувати сонячну енергію саме в ті години, коли завод працює на повну потужність. Для заводу деревних плит це особливо важливо, оскільки робота масивних двигунів пресових ліній та вентиляторів пневмотранспорту створює значне навантаження. Використання власної генерації дозволяє реалізувати стратегію «пікового заміщення»: у сонячні години значна частина енергії надходить від ФЕС, що суттєво зменшує обсяги закупівлі дорогого ресурсу з мережі при тарифі 8,6 грн/кВт·год.

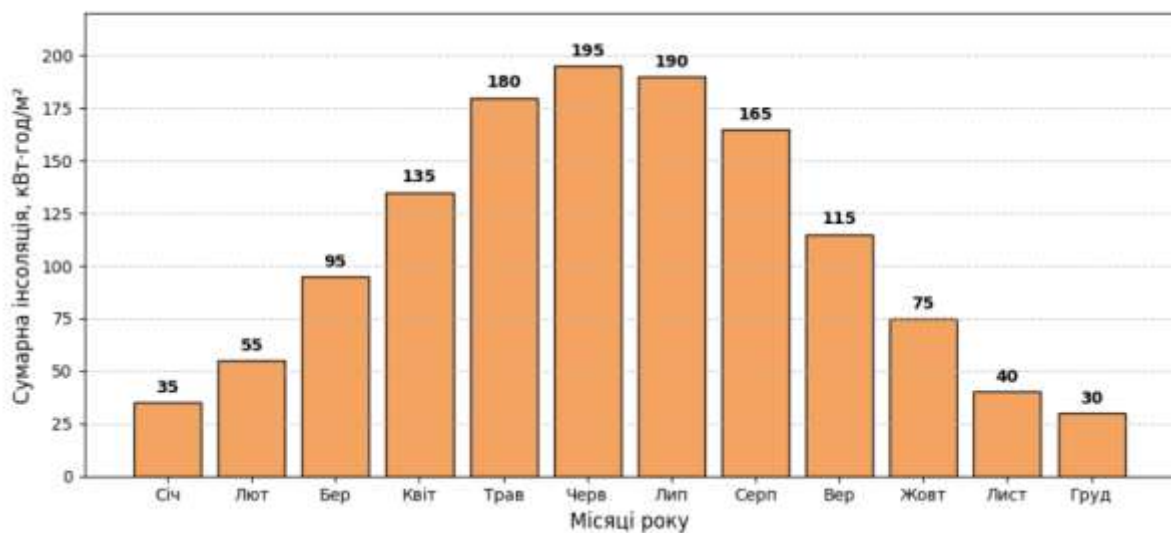


Рисунок 9.4. Профіль заміщення мережевої потужності енергією ФЕС протягом робочого дня

Інтегрований підхід «сонце + біомаса» створює синергію, яка робить завод деревних плит енергетично гнучким об'єктом. У літній період сонячна енергія покриває потреби допоміжних систем та освітлення, дозволяючи зосередити всю потужність біокотельні виключно на технологічних процесах пресування. Взимку ж біомаса компенсує падіння сонячної активності. Такий симбіоз дозволяє стабільно функціонувати в умовах нестабільності енергоринку, одночасно знижуючи собівартість плитної продукції та її вуглецевий слід.

9.2. Техніко-економічний розрахунок параметрів гібридної системи енергозабезпечення

Для практичної реалізації концепції енергетичного симбіозу на заводі деревних плит необхідно визначити оптимальні технічні характеристики обладнання: потужність фотоелектричної станції (ФЕС) для покриття власних потреб та обсяги деревних відходів для теплової автономії.

9.2.1. Розрахунок параметрів сонячної електростанції (ФЕС)

Базовим критерієм для вибору потужності ФЕС є денний графік навантаження підприємства. Оскільки розрахункова активна потужність заводу становить $P_p = 3060$ кВт, встановлення сонячної станції потужністю 150 кВт гарантовано не створить надлишків енергії (перетоків у зовнішню мережу), і вся згенерована електрика буде спожита внутрішніми приймачами (пресами, дробарками, компресорами).

Вибір обладнання та просторове розміщення:

Приймаємо до встановлення вискоелективні монокристалічні фотомодулі номінальною потужністю $W_p = 550$ Вт.

Необхідна кількість фотомодулів (n):

$$n = \frac{P_{ФЕС}}{W_p} = \frac{150000}{550} = 272,7 \approx 274 \text{ шт.}$$

Визначаємо площу покрівлі головного виробничого корпусу, необхідну для розміщення масиву. Площа одного модуля становить $S_1 \approx 2,6$ м². З урахуванням коефіцієнта технологічних проходів для обслуговування ($K_{зат} = 1,2$):

$$S_{\Sigma} = n \cdot S_1 \cdot K_{зат} = 274 \cdot 2,6 \cdot 1,2 \approx 855 \text{ м}^2.$$



Рисунок 9.5. Схема просторового розміщення масиву фотоелектричних модулів на покрівлі головного корпусу

						Арк.

2. Прогнозування річної генерації енергії:

Для розрахунку використовуємо кліматичні дані Кіровоградської області. Середньорічна сумарна сонячна інсоляція на оптимально нахилену поверхню становить $G_{year} \approx 1350 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

Очікуваний річний виробіток електроенергії (E_{gen}) визначається за формулою:

$$E_{gen} = P_{\text{ФЕС}} \cdot \frac{G_{year}}{G_{STC}} \cdot PR$$

де:

- $G_{STC} = 1 \text{ кВт}/\text{м}^2$ — стандартна тестова інсоляція;
- $PR = 0,82$ — коефіцієнт експлуатаційної продуктивності (ураховує втрати в мережевому інверторі, кабелях 0,4 кВ, забруднення панелей та їх нагрівання).

$$E_{gen} = 150 \cdot 1350 \cdot 0,82 = 166050 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

3. Економічна ефективність ФЕС:

Уся згенерована сонячна енергія заміщує споживання із зовнішньої мережі за тарифом для підприємств (на рівні напруги 10 кВ тариф становить $C_e = 8,60 \text{ грн}/\text{кВт}\cdot\text{год}$).

Щорічна пряма економія коштів ($E_{\text{Крік}}$):

$$E_{\text{Крік}} = E_{gen} \cdot C_e = 166050 \cdot 8,60 = 1428030 \text{ грн}/\text{рік}.$$

Капітальні інвестиції у будівництво ФЕС (з урахуванням обладнання, кріплень та монтажу) складають орієнтовно 650 USD/кВт. При курсі 41 грн/USD:

$$K_{\text{ФЕС}} = 150 \cdot 650 \cdot 41 = 3997500 \text{ грн}.$$

Простий термін окупності проєкту (DPP):

$$DPP = \frac{K_{\text{ФЕС}}}{K_{\text{ФЕС}} - C_{\text{ЕКСП}}} = \frac{3997500}{1428030 - 35000} \approx 2,87 \text{ року}.$$

(де $C_{\text{ЕКСП}} = 35000 \text{ грн}$ — щорічні витрати на технічне обслуговування).

						Арк.

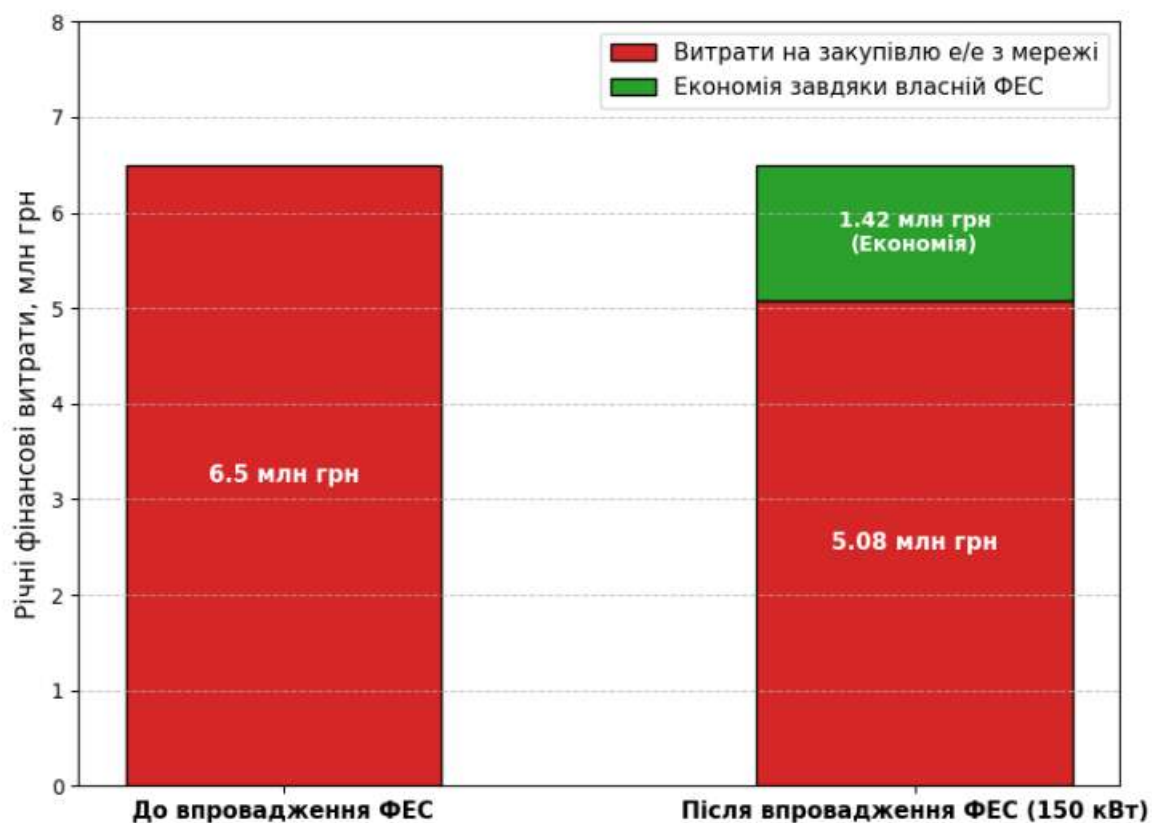


Рисунок 9.6. Структура очікуваної фінансової економії підприємства після впровадження ФЕС

9.2.2. Розрахунок потенціалу біоенергетичної установки

Особливістю виробництва деревних плит є необхідність нагріву термооливи для гідравлічних пресів до температури $220-250^{\circ}\text{C}$ та підготовки агента сушіння. Для цього використовується твердопаливний термомасляний котел, що працює на шліфувальному пилю та сухій трісці (вологість $W=10-15\%$).

1. Визначення теплотворної здатності відходів:

Нижча робоча теплота згоряння (Q_n^r) сухого шліфувального пилю обчислюється за емпіричною формулою:

$$Q_n^r = 18,8 - 0,212 \cdot W = 18,8 - 0,212 \cdot 12 = 16,25 \text{ МДж/кг.}$$

2. Розрахунок потреби в паливі:

За умови, що річне теплове навантаження пресової лінії та сушильного комплексу становить $Q_{РЛК} = 45000 \text{ ГДж}$, а коефіцієнт корисної дії сучасного

						Арк.

термомасляного котла $\eta_k = 0,86$, необхідна маса деревних відходів ($M_{\text{вдх}}$) складе:

$$M_{\text{вдх}} = \frac{Q_{\text{РІК}}}{Q_n \cdot \eta_k \cdot 10^{-3}} = \frac{45000}{16,25 \cdot 0,86} = 3220 \text{ тонн/рік.}$$

Середньостатистичний завод із виготовлення ДСП/МДФ генерує від 5000 до 8000 тонн побічних відходів на рік. Таким чином, підприємство здатне на 100% покрити власні теплові потреби виключно за рахунок внутрішніх ресурсів, створивши безвідходне виробництво.

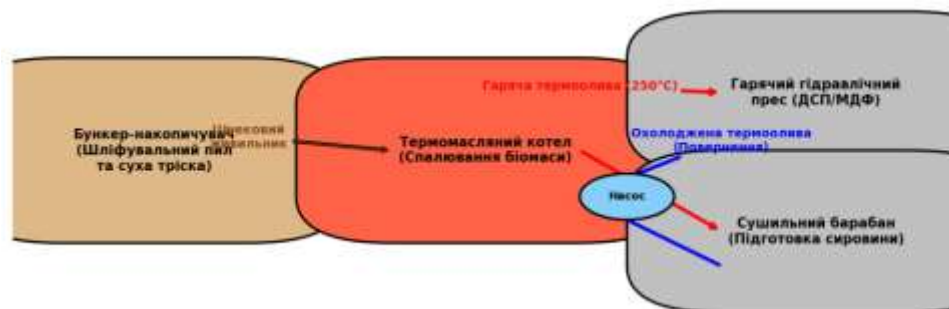


Рисунок 9.7 — Принципова теплотехнічна схема енергоблока на деревній біомасі для живлення пресової лінії



Рисунок 9.8. Загальний вигляд змонтованої термомасляної котельної установки на деревних відходах із системою очищення димових газів

На рисунку 9.8 наведено приклад практичної реалізації потужної промислової термомасляної установки на біомасі, що за своєю конфігурацією повністю відповідає потребам заводу деревних плит.

Основний теплотехнічний блок (зліва) включає топочну камеру для високотемпературного спалювання суміші шліфувального пилу та технологічної тріски, а також зону конвективного теплообміну, де відбувається нагрів мінеральної термооливи до робочих температур 250...280 С. Масивна циліндрична конструкція праворуч являє собою систему сухого газоочищення (батарейний циклон або електрофільтр), яка є обов'язковим елементом для плитного виробництва. Вона забезпечує високоефективне вловлювання золи та дисперсних твердих частинок перед викидом димових газів в атмосферу, що гарантує дотримання жорстких екологічних стандартів. Наявність тягодуттьового обладнання (димосос із зовнішнім електродвигуном) забезпечує необхідне розрідження в топці, а розвинена мережа технологічних майданчиків та маршових сходів гарантує безпечний доступ персоналу для контролю та технічного обслуговування енергоблока на всіх рівнях.

На рисунку 9.9 представлена детальна принципова схема інтегрованої енергетичної установки, що забезпечує повний цикл трансформації деревної біомаси у високопотенційну теплову енергію. Ця схема відображає сучасний підхід до побудови автономних систем теплопостачання на підприємствах із виробництва деревних плит.

Технологічний процес, зображений на схемі, охоплює наступні етапи:

1. Підготовка та подача палива: З механізованого силосу-накопичувача (зліва) паливо (суміш тріски та шліфувального пилу) за допомогою гідравлічних штовхачів та герметичного шнекового живильника дозовано подається у топкову камеру. Така система дозволяє автоматизувати процес залежно від поточного теплового навантаження заводу.

						Арк.

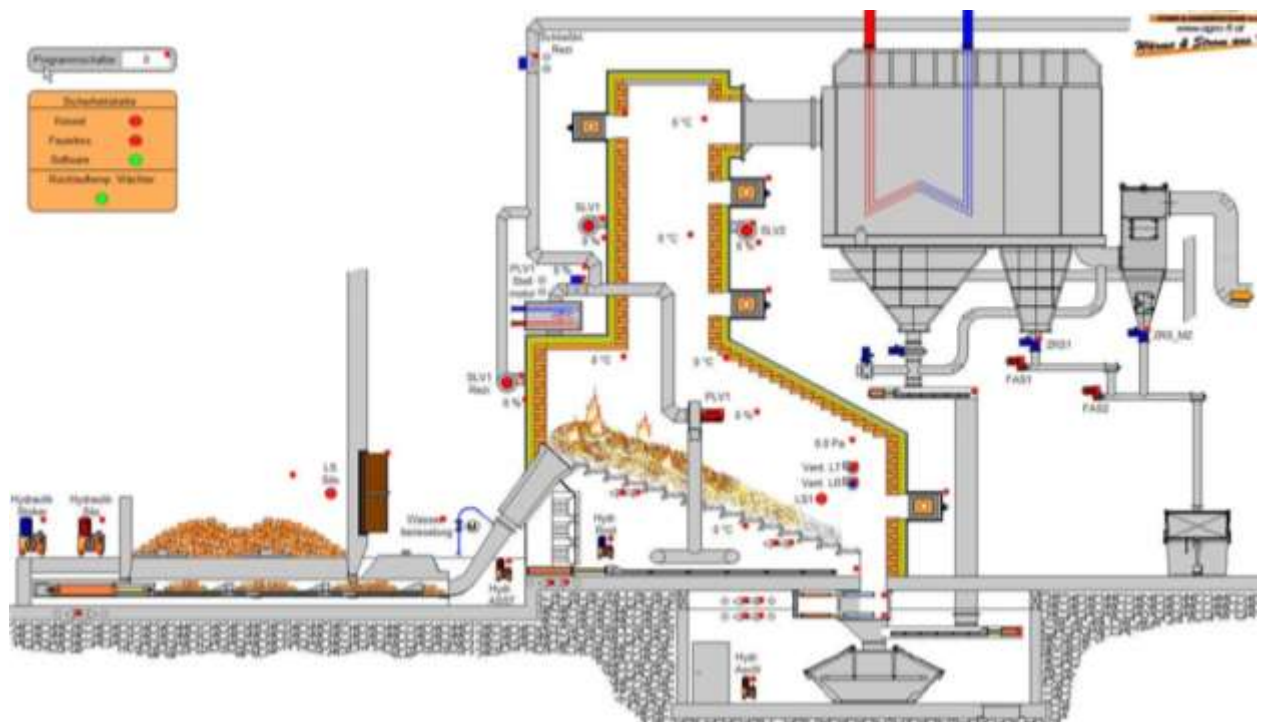


Рисунок 9.9. Принципова теплотехнічна схема автоматизованої котельної установки на біомасі з похилою рухомою колосниковою решіткою

2. Процес спалювання на рухомій решітці: Центральним елементом установки є похила рухома колосникова решітка. Її конструкція забезпечує постійне перемішування палива, що сприяє ефективному випаровуванню вологи та повному вигоранню органічної частки навіть при використанні низькоякісних відходів.

3. Теплообмін та генерація: У верхній частині котла розташований радіаційно-конвективний теплообмінник (змійовик), у якому циркулює діатермічна олива. Нагрітий теплоносіє із температурою 260-280 С за допомогою мережних насосів спрямовується до головного споживача — гарячого гідравлічного преса, забезпечуючи стабільний температурний режим полімеризації сполучних речовин у плитах.

4. Газоочистка та золовидалення: Система оснащена автоматизованим вузлом видалення попелу в нижній частині топки та мультициклоном для вловлювання твердих часток із димових газів перед їх викидом в атмосферу через димар, що гарантує високу екологічність виробництва.

Застосування такої схеми дозволяє заводу деревних плит повністю відмовитися від споживання природного газу, перевівши теплові процеси на відновлювальні джерела енергії власного виробництва.

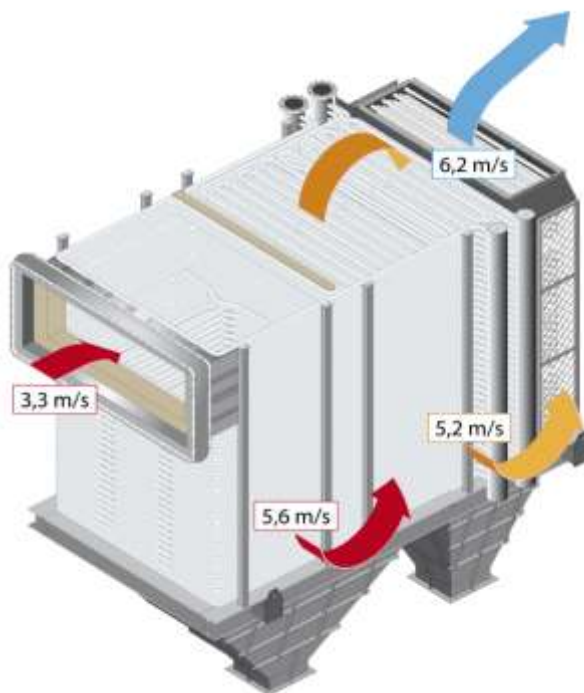


Рисунок 9.10 — Аеродинамічна схема руху димових газів та конструкція конвективного теплообмінника термомасляного котла на біомасі

На рисунку 9.10 детально проілюстровано внутрішню конструкцію та просторову аеродинаміку конвективного теплообмінника промислового термомасляного котла. Цей вузол є критично важливим для забезпечення високого загального ККД котельної установки, що працює на відходах плитного виробництва.

Основним елементом конструкції є щільний багатоходовий трубний пучок (змійовик), усередині якого під тиском циркулює діатермічна олива. На схемі графічно відображено рух гарячих димових газів, які надходять із камери згоряння та омивають труби. Стрілками вказано профіль швидкостей газового потоку на різних ділянках тракту (від 3,3 м/с на вході до 6,2 м/с у вихідному перерізі). Такий точний аеродинамічний розрахунок є необхідним балансом: з одного боку, висока швидкість забезпечує турбулізацію потоку

						Арк.

та інтенсивний конвективний теплообмін, а з іншого — запобігає надмірному абразивному зношуванню металу труб твердими частинками попелу.

Характерною технологічною особливістю конфігурації теплообмінника для біомаси є наявність масивних пірамідальних бункерів у нижній частині конструкції. Оскільки димові гази проходять звивистий шлях і різко змінюють напрямок руху, відбувається інерційне та гравітаційне осадження великих фракцій леткої золи (золи винесення). Попіл накопичується в нижніх воронках, звідки автоматично видаляється шнеками. Це технічне рішення запобігає зашлаковуванню поверхонь нагріву та гарантує стабільну передачу тепла термооливі навіть при спалюванні високозольного шліфувального пилю та кори.

Таблиця 9.2 — Зведені техніко-економічні показники гібридної системи ВДЕ

Показник	Одиниця виміру	Значення	Примітка
Фотоелектрична станція (ФЕС)			
Встановлена потужність	кВт	150	Дахове розміщення (On-Grid)
Річна генерація електроенергії	кВт·год	166 050	Заміщення пікового споживання
Термін окупності інвестицій	роки	2,9	При тарифі 8,6 грн/кВт·год
Біоенергетична установка			
Тип теплоносія	—	Термоолива	Нагрів плит преса (250°C)
Річна потреба в паливі (відходи)	тонн	3 220	Шліфувальний пил, стружка
Рівень теплової автономії	%	100	Повна відмова від природного газу
Екологічний ефект			
Скорочення викидів CO ₂ (загальне)	тонн/рік	> 3500	Завдяки заміщенню газу та мережевої ЕЕ

ВИСНОВКИ

У результаті виконання проєкту розроблено надійну, технічно обґрунтовану та економічно ефективну систему зовнішнього і внутрішнього електропостачання заводу з виробництва деревних плит у м. Кропивницький. Враховуючи високу енергоємність технологічних процесів (робота пресового обладнання, подрібнювачів та сушильних комплексів), проєктні рішення були спрямовані на оптимізацію витрат та підвищення енергетичної стійкості об'єкта.

Основні результати проєктування зводяться до наступного:

1. *Оптимізація зовнішнього електропостачання:* На основі техніко-економічного порівняння двох варіантів живлення доведено доцільність спорудження дволанцюгової повітряної лінії ($L = 8$ км) напругою 35 кВ із будівництвом власної головної знижувальної підстанції (ГЗП) 35/10 кВ. Попри вищі початкові капіталовкладення, живлення за тарифом 1-го класу напруги дозволяє економити понад 2,3 млн грн щорічно у порівнянні з мережею 10 кВ.

2. *Компенсація реактивної потужності:* Для розвантаження мереж від перетікань реактивної енергії та уникнення штрафів, спроектовано багаторівневу систему компенсації. Встановлення конденсаторних установок на напрузі 0,4 кВ (сумарно 1100 кВар) та 10 кВ (1600 кВар) дозволило підвищити коефіцієнт потужності заводу до нормативних та зменшити розрахункову повну потужність із 4190 до 3152 кВА.

3. *Раціональна архітектура внутрішніх мереж:* Визначено оптимальну кількість та потужність цехових трансформаторних підстанцій. Встановлено 8 силових трансформаторів номінальною потужністю 630 кВА. Живлення розподільчих пунктів здійснено радіальними кабельними лініями 10 кВ (переважно перерізом 35 мм²), що забезпечує необхідний рівень надійності для споживачів I та II категорій.

4. *Надійність апаратури захисту:* Виконано розрахунок струмів короткого замикання в ключових точках мережі (ударний струм на шинах 10

						Арк.

кВ становить 5,15 кА). На основі цих даних обрано сучасне комутаційне обладнання — вакуумні вимикачі ВРС-35 та ВР1-10, які гарантують термічну і динамічну стійкість в аварійних режимах.

5. *Енергетична автономність (ВДЕ):* Розроблено концепцію циркулярного енергозабезпечення підприємства. Обґрунтовано впровадження гібридної системи: утилізація деревних відходів (тирси, обрізків плит) для забезпечення теплових потреб пресових ліній, а також будівництво дахової сонячної електростанції (ФЕС) потужністю 150 кВт. Сонячна генерація дозволить замінити близько 165 МВт·год мережевої електроенергії на рік, знизивши операційні витрати заводу на 1,42 млн грн щорічно з терміном окупності до 3,5 років.

Запропонований комплекс рішень повністю відповідає чинним нормам технологічного проектування (ПУЕ, ДБН) і гарантує безперебійне, безпечне та економічно вигідне функціонування заводу деревних плит у сучасних ринкових умовах.

						Арк.

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. 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.

5. 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.

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

7. 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 України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г. – М-во освіти і

						Арк.

науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 156 с.

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

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

10. 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).

11. 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.

12. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. Практичні питання енергоефективності. Практичний посібник. Київ: «Майстерня реклами «План Б», 2014. – 48 с.

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

						Арк.