

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Пешков
“ ____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

**Розроблення системи електропостачання заводу що
спеціалізується на виготовленні продукції рослинних
олій та жирів**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ23мб
ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Станіслав ШТЕМБУЛЯК
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Руслан ТЕЛЮТА
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма

«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ П. Плешков

«_____» _____ 2026 р.

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

Штембуляк Станіслав Ігорович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи

Розроблення системи електропостачання заводу що спеціалізується на виготовленні продукції рослинних олій та жирів

Development of a power supply system for a plant specializing in the manufacture of vegetable oils and fats

2. Керівник роботи

Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 12.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є розробка системи електроспоживання заводу з виробництва продукції рослинних олій та жирів. Завдання: дати коротку характеристику заводу з виробництва білого цукру. Розрахунок силових електричних навантажень. Побудова графіків електричних навантажень заводу з виробництва продукції рослинних олій та жирів. Побудова картограм електричних навантажень. Вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання заводу з виробництва продукції рослинних олій та жирів. Режими реактивної потужності системи електропостачання заводу з виробництва продукції рослинних олій та жирів. Вибір кількості та потужності трансформаторів. Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж системи електропостачання. Вимірювання режимних параметрів системи електропостачання. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	<i>08.05.26</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>09.05.26</i>	
3	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>10.05.26</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>15.05.26</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання</i>	<i>18.05.26</i>	
6	<i>Вибір кількості, потужності та місця розташування трансформаторів</i>	<i>22.05.26</i>	
7	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>25.05.26</i>	
8	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>29.05.26</i>	
9	<i>Вибір обладнання електропостачання</i>	<i>31.05.26</i>	
10	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>05.06.26</i>	
11	<i>Висновки</i>	<i>10.06.26</i>	
12	<i>Список літератури</i>	<i>10.06.26</i>	
13	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>11.06.26</i>	
14	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>12.06.26</i>	

Дата видачі завдання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

_____ Руслан ТЕЛЮТА

Завдання прийнято до виконання

« 08 » травня 20 26 р.

Підпис керівника

_____ Станіслав ШТЕМБУЛЯК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 71 с.; 23 рис.; 46 табл.; 12 джерел

Штембуляк С.І. Розроблення системи електропостачання заводу що спеціалізується на виготовленні продукції рослинних олій та жирів. – Рукопис.

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

Дана кваліфікаційна робота спрямована на проєктування комплексної та високонадійної системи електропостачання олійноекстракційного заводу (ОЕЗ) з урахуванням сучасних вимог енергоефективності та концепції "Зеленої енергетики". У ході дослідження виконано детальний розрахунок електричних навантажень об'єкта за впорядкованими діаграмами, проведено аналіз режимів реактивної потужності та обчислено параметри струмів короткого замикання. На основі техніко-економічного порівняння варіантів обґрунтовано вибір раціональної напруги зовнішнього живлення 10 кВ. Визначено оптимальну кількість та потужність трансформаторних підстанцій (ТМ-630), підібрано засоби компенсації реактивної потужності (2007 кВАр), а також здійснено вибір силових провідників та сучасного високовольтного комутаційного обладнання. Особливий акцент зроблено на мінімізації технологічних втрат енергії та інтеграції систем захисту.

Спеціальний розділ присвячено впровадженню енергоефективного котельного комплексу на базі парового котла ДКВр-6,5-13 для спалювання власного лушпиння соняшнику та проєктуванню лінії гранулювання. Доведено, що використання біопалива власного виробництва забезпечує значне зниження собівартості теплової енергії порівняно з природним газом, вирішує проблему утилізації відходів та має термін окупності 1,9 року.

Ключові слова: система електропостачання, розрахунок навантажень, короткі замикання, енергоефективність, компенсація реактивної потужності, біопаливний котел, лушпиння соняшнику, пелети, техніко-економічне обґрунтування.

ABSTRACT

Qualification work: 71 p.; 23 Fig.; 46 tables; 12 sources

Shtembuliak S.I. Development of a power supply system for a plant specializing in the manufacture of vegetable oils and fats.

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

This qualification work is aimed at designing a comprehensive and highly reliable power supply system for an oil extraction plant (OEP), taking into account modern energy efficiency requirements and the concept of "Green Energy." In the course of the study, a detailed calculation of the facility's electrical loads was performed using ordered diagram methods, an analysis of reactive power modes was conducted, and parameters of short-circuit currents were calculated. Based on a technical and economic comparison of options, the selection of a rational external supply voltage of 10 kV was justified. The optimal number and capacity of transformer substations (TM-630) were determined, reactive power compensation means (2007 kVAr) were selected, and power conductors and modern high-voltage switching equipment were chosen. Particular emphasis was placed on minimizing technological energy losses and integrating protection systems.

A special section is devoted to the implementation of an energy-efficient boiler complex based on the ДКБп-6,5-13 steam boiler for burning the plant's own sunflower husks, as well as the design of a granulation line. It is proved that using biofuel produced in-house ensures a significant reduction in the cost of thermal energy compared to natural gas, solves the waste disposal problem, and has a payback period of 1.9 years.

Keywords: power supply system, load calculation, short circuits, energy efficiency, reactive power compensation, biomass boiler, sunflower husks, pellets, technical and economic justification.

ЗМІСТ

ВСТУП.....		7
1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ		8
1.1 Розрахунок споживання потужності в низьковольтних мережах заводу з виготовлення рослинних олій та жирів		8
1.2 Обґрунтування параметрів освітлювальних установок виробничих цехів заводу з виготовлення рослинних олій та жирів		11
1.3 Оцінка електронавантаження високовольтних споживачів заводу з виготовлення рослинних олій та жирів		11
1.4 Формування та аналіз графіків електроспоживання об'єкта.....		16
2. РОЗРОБКА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ		21
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРО-ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ		23
3.1. Обґрунтування робочої напруги та конфігурації схеми зовнішнього живлення.....		23
3.2. Вибір структури та топології внутрішньої схеми розподілу енергії ...		26
4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ		29
4.1. Оцінка балансу реактивної енергії та визначення дефіциту потужності		29
4.2. Вибір параметрів та локалізація пристроїв компенсації реактивної потужності		30
5. ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ		38
6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ		39
6.1. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в системі заводу з виготовлення рослинних олій та жирів.....		39
6.2. Технічний вибір та перевірка високовольтних кабельних ліній.....		43
6.3. Верифікація комутаційних апаратів високої напруги за умовами стійкості.....		44
6.4. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги.....		48

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив		Штембуляк С..			Розроблення системи електропостачання заводу що спеціалізується на виготовленні продукції рослинних олій та жирів	Літ.	Аркуш
Перевірів		Телюта Р.В.					5
							71
Н. Контр.						ЦНТУ гр. ЕЕ-23мб	
Затвердив		Плещков П.Г.					

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ВПРОВАДЖЕННЯ БІОПАЛИВНОГО КОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ ЛУШПИННЯ СОНЯШНИКУ	51
7.1. Обґрунтування використання лушпиння соняшнику як енергетичного ресурсу заводу з виготовлення РО та Ж	51
7.1.1. Теплотехнічні характеристики палива.....	51
7.1.2. Технологічна лінія виробництва паливних пелет та брикетів	51
7.1.3. Технологічна послідовність виготовлення пелет з лушпиння соняшнику	54
7.2. Проектування технологічної лінії виробництва пелет та брикетів.....	54
7.2.1. Розрахунок продуктивності лінії привода.....	54
7.2.2 Вибір та тепловий розрахунок котельного агрегату	54
7.2.3. Розрахунок процесу горіння	54
7.3. Схемне рішення виробництва біопалива та його інтеграція в систему енергопостачання заводу з виготовлення РО та Ж.....	55
7.4. Конструктивна схема та теплові розрахунки котла ДКВр-6,5-13.....	56
7.5. Розрахунок енергоефективності та ККД агрегату	58
7.6. Енергозбереження та порівняльний аналіз видів опалення	59
7.7 Розрахунки електронавантаження котельні	60
7.8. Електрична схема живлення котельного комплексу.....	62
7.8.1 Однолінійна схема живлення котельного комплексу	62
7.8.2. Розподіл електричного навантаження між підстанціями заводу .	63
7.8.3.Зведений баланс електричної потужності заводу до та після компенсації	64
7.9. Частотне регулювання електроприводів котельного комплексу	65
7.10. Система АСКОЕ котельного комплексу	66
7.11. Зведений енергетичний баланс котельного комплексу	68
7.12. Порівняльний техніко-економічний аналіз видів опалення	68
7.12.1. Економічний ефект та окупність	69
7.12.2 Заходи з впровадження та екологічний ефект	69
7.13 Висновки до розділу 7	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України переробна галузь, зокрема виробництво рослинних олій та жирів, посідає стратегічне місце в економіці держави. Олійноекстракційні заводи (ОЕЗ) характеризуються високою енергоємністю та безперервністю технологічних циклів, що висуває особливі вимоги до надійності та якості систем їхнього енергозабезпечення. В умовах нестабільності енергетичного ринку та дефіциту потужностей, питання розроблення раціональної системи електропостачання, здатної мінімізувати втрати та забезпечити безперебійну роботу потужних електроприймачів, є критично важливим для зниження собівартості готової продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Ефективне функціонування сучасного ОЕЗ неможливе без інтеграції автоматизованих систем керування та впровадження енергоефективних технологій, таких як компенсація реактивної потужності та моніторинг теплового стану силових агрегатів[сiте: 1, 2]. Зниження технологічних втрат електроенергії, які в окремих випадках можуть сягати 20%, є не лише економічним, а й науково-технічним завданням, що потребує комплексного підходу на стадії проектування.

Мета роботи полягає у розробленні комплексної системи електропостачання підприємства з виготовлення рослинних олій, яка забезпечує високий рівень надійності живлення, мінімізацію втрат активної потужності та оптимальні режими роботи електрообладнання.

Наукова новизна та практичне значення результатів роботи полягають у комплексному поєднанні методів оптимального розподілу навантажень із впровадженням систем моніторингу енергоефективності. Запропоновані рішення щодо модернізації перерізів провідників та використання вакуумної комутаційної техніки дозволяють забезпечити термін окупності енергозберігаючих заходів у межах 2,2 року, що підтверджує техніко-економічну доцільність проекту.

Результати дослідження можуть бути використані при реконструкції існуючих або проектуванні нових потужностей харчової промисловості з метою приведення їх у відповідність до стандартів "Smart Grid" та концепції "Індустрія 4.0".

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

1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ

Визначення розрахункових електричних навантажень приймачів електричної енергії виконується у відповідності з методикою описаною в [1].

1.1 Розрахунок споживання потужності в низьковольтних мережах заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

В якості прикладу, для екстракційному цеху виконаємо розрахунок електричних навантажень. Середнє навантаження групи ЕП та ustalена їх потужність з однаковим режимом роботи:

$$P_{cp} = P_{cym} \cdot K_u = 42 \cdot 0,3 = 12,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{cp} = P_{cp} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 12,6 \cdot 0,88 = 11,11 \text{ кВар}.$$

Для всіх споживачів по корпусу середньозмінне навантаження:

$$P_{cm} = \sum P_{cpi} = 12,6 + 12 + 230,4 + 36 + 61,6 + 78 = 430,6 \text{ кВт}$$

$$\text{Аналогічно: } Q_{cm} = \sum Q_{cpi} = 418,25 \text{ кВар}$$

Ефективне число ЕП по корпусу

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n, \max}} = \frac{2 \cdot 734}{96} = 15$$

Використовуючи початкові дані знаходимо коефіцієнт m:

$$m = \frac{P_{n, \max}}{P_{n, \min}} = \frac{96}{6} = 16$$

Коефіцієнт K_m знаходимо за таблицями [1] в залежності від існуючого значення групового коефіцієнта використання та встановленого ефективного числа ЕП у групі або у вузлі приймаємо навантаження $K_m = 1,23$.

Розрахункове для групи електроприймачів активне та реактивне навантаження

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 430,6 \cdot 1,23 = 531,77 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{cm} = 418,25 \text{ кВар (так як } n_e > 10).$$

Розрахункове значення максимум навантаження

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{529^2 + 418^2} = 674 \text{ кВА}.$$

Розрахунок навантажень до 1000 В приведені в таблиці 1.1.

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

Таблиця 1.1.1 - Розрахунок електричних навантажень до 1кВ по ділянці розчинної екстракції

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _ц	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			Р _{мін} кВт	Р _{маx} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1.	Дільниця розчинної екстракції. Елеватори ковшові (вертикальні)	4	6	18	42	3	0,3	0,75	0,88	12,6	11,11	4	2,14	26,92	12,22	29,56
2.	пристрої безперервного транспортвання	2	20	20	40	1	0,3	0,4	2,29	12	27,5	2	3,08	36,96	30,25	47,76
3.	теплові десольвентайзери (тостери)	4	96	96	384	1	0,6	0,7	1,02	230,4	235,06	4	1,53	351,84	258,57	436,63
4.	гвинтові живильники та розвантажувачі	8	7,5	7,5	60	1	0,6	0,75	0,88	36	31,75	8	1,33	47,91	34,92	59,29
5.	агрегати перекачування рідких фракцій	8	11	11	88	1	0,7	0,75	0,88	61,6	54,33	8	1,23	75,84	59,76	96,56
6.	аспіраційні установки	10	7,5	16	120	2,1	0,65	0,8	0,75	78	58,5	10	1,25	97,12	64,35	116,5
	Всього	36	6	96	734	16	0,586 649	0,717	0,97	430,6	418,25	15	1,23	531,77	418,25	676,54

Таблиця 1.1.2 - Розрахунок електричних навантажень до 1кВ по заводу з виготовлення продукції рослинних олій та жирів

№ п/п	Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _и	cosj	tgj	Середнє		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
			Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
1.	Дільниця розчинної екстракції	36	5,5	90	734,5	16,4	0,59	0,72	0,96	433,35	417,69	16	1,22	530,42	417,69	675,14
2.	Термінал зберігання готової продукції	18	0,25	7,5	54,75	30	0,68	0,71	0,99	37,23	36,93	15	1,17	43,63	36,93	57,16
3.	Майстерня технічного сервісу та ремонту	38	4	18,5	352,5	4,6	0,51	0,67	1,11	179,78	199,2	38	1,17	210,21	199,2	289,6
4.	Сектор вхідного контролю та очищення сировини	32	0,18	37	310,18	205,6	0,37	0,66	1,14	114,77	130,64	17	1,38	158,23	130,64	205,19
5.	Цех виробництва модифікованих жирів	91	0,75	180,5	804,25	240,7	0,54	0,72	0,96	434,3	418,6	9	1,36	592,19	460,46	750,14
6.	Відділення фасування та пакування	24	5,5	45	375,5	8,2	0,41	0,67	1,11	153,95	170,58	17	1,34	206,81	170,58	268,08
7.	Паросилове господарство (Котельня)	11	1,1	30	134,5	27,3	0,615	0,725	0,95	82,72	78,58	9	1,29	107	86,44	137,55
8.	Адміністративно-побутовий блок (АБК)	11	2,2	22	44,2	10	0,55	0,785	0,79	24,31	19,18	4	1,61	39,07	21,1	44,4
9.	Пресово-віджимний корпус №1	53	3	199,5	1652,25	66,5	0,565	0,71	0,99	933,52	925,9	17	1,23	1150,17	925,9	1476,54
10.	Пресово-віджимний корпус №2	46	0,12	199,5	839,52	1662,5	0,58	0,705	1,01	486,92	489,83	8	1,35	657,64	538,81	850,18
11.	Станція водозабезпечення та охолодження	24	1,1	41	232,1	37,3	0,65	0,72	0,96	150,87	145,42	11	1,23	185,77	145,42	235,92
	Всього	384	0,12	199,5	5534,25	1662,5	0,54781	0,707	1	3031,72	3032,55	55	1,12	3409,38	3032,55	4562,92

1.2 Обґрунтування параметрів освітлювальних установок виробничих цехів заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується по питомій потужності освітлювального навантаження, згідно методики, на одиницю корисної площі розрахункового приміщення, що наведена в [1]. Результати розрахунків зводимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень.

№ п/п	Найменування підрозділу	$F, \text{м}^2$	$P_0, \text{Вт/м}^2$	$P_{\text{в}}, \text{кВт}$	$\cos \varphi$	K_1	K_c	$\text{tg } \varphi$	Роз.навантаження		
									$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
1.	Дільниця розчинної екстракції	1175,5	18	21,16	0,845	0,515	1,12	0,633	12,21	7,73	14,45
2.	Термінал зберігання готової продукції	1015,5	6	6,09	0,615	0,895	1,2	1,282	6,54	8,38	10,63
3.	Майстерня технічного сервісу та ремонту	1025,5	18	18,46	0,845	0,905	1,2	0,633	20,05	12,69	23,73
4.	Сектор вхідного контролю та очищення сировини	1195,5	16	19,13	0,857	0,505	1,12	0,601	10,82	6,5	12,62
5.	Цех виробництва модифікованих жирів	1235,5	18	22,24	0,855	0,915	1,12	0,607	22,79	13,83	26,66
6.	Відділення фасування та пакування	1238,5	16	19,82	0,855	0,915	1,2	0,607	21,76	13,21	25,46
7.	Паросилове господарство (Котельня)	679,5	8	5,44	0,605	0,512	1,12	1,316	3,12	4,11	5,16
8.	Адміністративно-побутовий блок (АБК)	478,5	21,5	10,29	0,805	0,91	1,2	0,737	11,24	8,28	13,96
9.	Пресово-віджимний корпус №1	1729,5	20,05	34,68	0,855	0,915	1,2	0,607	38,08	23,11	44,54
10.	Пресово-віджимний корпус №2	1305,5	20,05	26,18	0,845	0,91	1,2	0,633	28,59	18,1	33,84
11.	Станція водозабезпечення та охолодження	378,5	8	3,03	0,705	0,51	1,12	1,006	1,73	1,74	2,45
12.	Освітлення ТОВ "Придніпровський ОЕЗ"	58770,5	0,36	21,16	0,605	0,545	1,2	1,316	13,84	18,21	22,87
	Всього			207,6					190,7	135,8	234,2

1.3 Оцінка електронавантаження високовольтних споживачів заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

Для визначення електронавантаження понад 1 кВ для цукрового заводу використаємо метод, що використали у навчальному посібнику [1], а саме коефіцієнта розрахункової потужності. Результати зведено в таблицю 1.3.

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

Таблиця 1.3 Розрахунок електричних навантажень вище 1 кВ по заводу з виготовлення продукції рослинних олій та жирів

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	К _и	cos j	tg j	Середнє		n _{еф}	К _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
ТП 1.															
Термінал зберігання готової продукції															
силове:	18	0,25	7,5	54,75	30	0,68	0,71	0,99	37,23	36,93	15	1,17	43,63	36,93	57,16
освітлювальне:									1015,5				6,54	8,38	
Всього:									1052,73	36,93			50,17	45,31	67,6
Дільниця розчинної екстракції															
силове:	36	5,5	90	734,5	16,4	0,59	0,72	0,96	433,35	417,69	16	1,22	530,42	417,69	675,14
освітлювальне:									1175,5				12,21	7,73	
Всього:									1608,85	417,69			542,63	425,42	689,51
Майстерня технічного сервісу та ремонту															
силове:	38	4	18,5	352,5	4,6	0,51	0,67	1,11	179,78	199,2	38	1,17	210,21	199,2	289,6
освітлювальне:									1025,5				20,05	12,69	
Всього:									1205,28	199,2			230,26	211,89	312,92
Сектор вхідного контролю та очищення сировини															
силове:	32	0,18	37	310,18	205,6	0,37	0,66	1,14	114,77	130,64	17	1,38	158,23	130,64	205,19
освітлювальне:									1195,5				10,82	6,5	
Всього:									1310,27	130,64			169,05	137,14	217,68
Освітлення заводської території ТОВ															
освітлювальне:									58770,5				13,84	18,21	
Всього:									58770,5	0			13,84	18,21	22,87
Всього по ТП 1.:															
силове:	124	0,18	90	1451,93	500	0,53	0,7	1,03	765,13	784,46	32	1,18	901,77	784,46	1195,23
освітлювальне:									63182,5				63,46	53,51	

Продовження таблиці 1.3															
Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1.:									63947,63	784,46			965,23	837,97	1278,23
Втрати в трансформаторах:													19	124,61	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 1,01															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1.:													984,23	962,58	1376,69
ТП 2															
Станція водозабезпечення та охолодження															
силове:	24	1,1	41	232,1	37,3	0,65	0,72	0,96	150,87	145,42	11	1,23	185,77	145,42	235,92
освітлювальне:									378,5				1,73	1,74	
Всього:									529,37	145,42			187,5	147,16	238,35
Відділення фасування та пакування															
силове:	24	5,5	45	375,5	8,2	0,41	0,67	1,11	153,95	170,58	17	1,34	206,81	170,58	268,08
освітлювальне:									1238,5				21,76	13,21	
Всього:									1392,45	170,58			228,57	183,79	293,3
Всього по ТП 2:															
силове:	48	1,1	45	607,6	40,9	0,5	0,69	1,04	304,82	316	27	1,21	368,8	316	485,66
освітлювальне:									1617				23,49	14,95	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 2:									1921,82	316			392,29	330,95	513,24
Втрати в трансформаторах:													6,72	47,34	
Кількість трансформаторів: 1															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,81															
Всього на шинах 10 кВ ТП 2:													399,01	378,29	549,83

Продовження таблиці 1.3

[illegible]

	App.
	15

1.4 Формування та аналіз графіків електроспоживання об'єкта

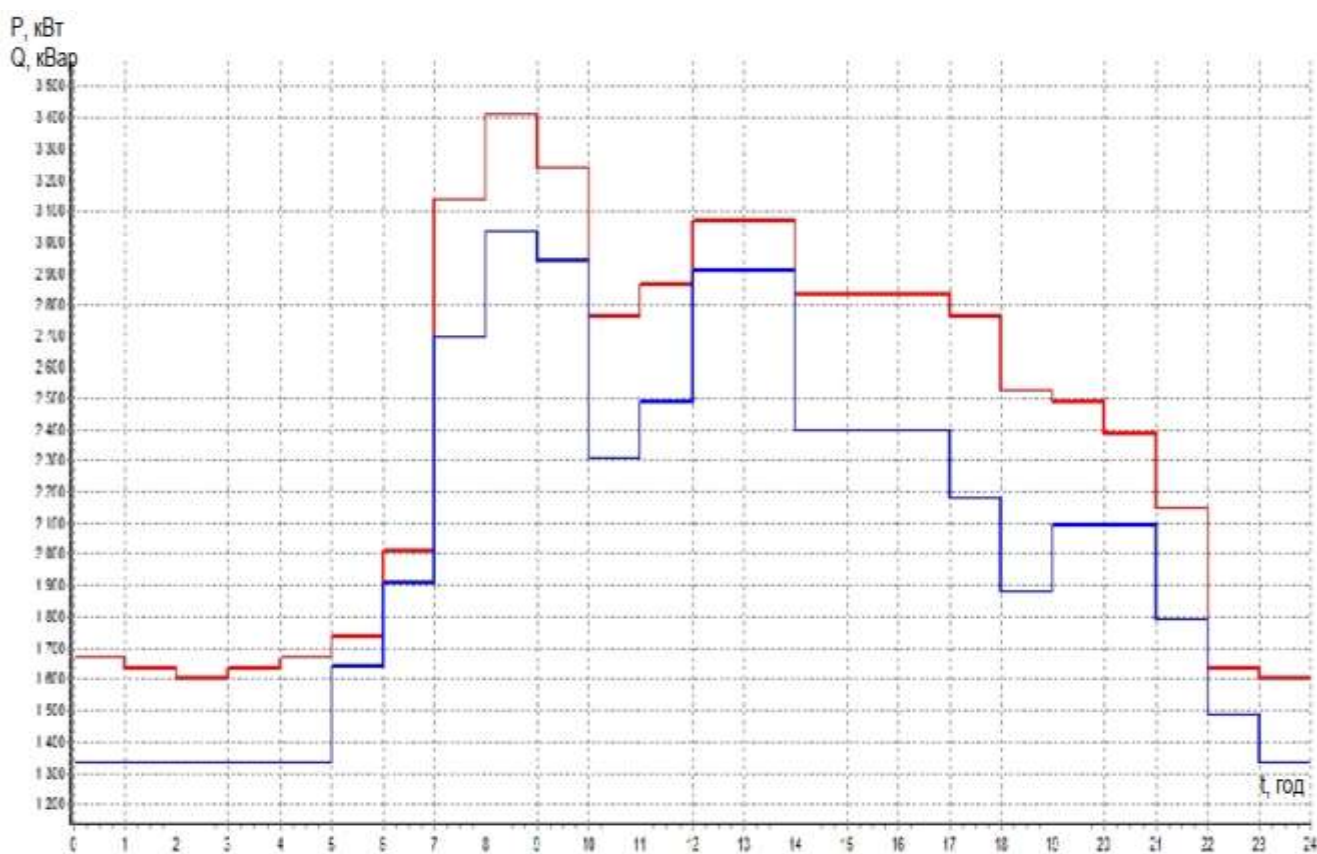
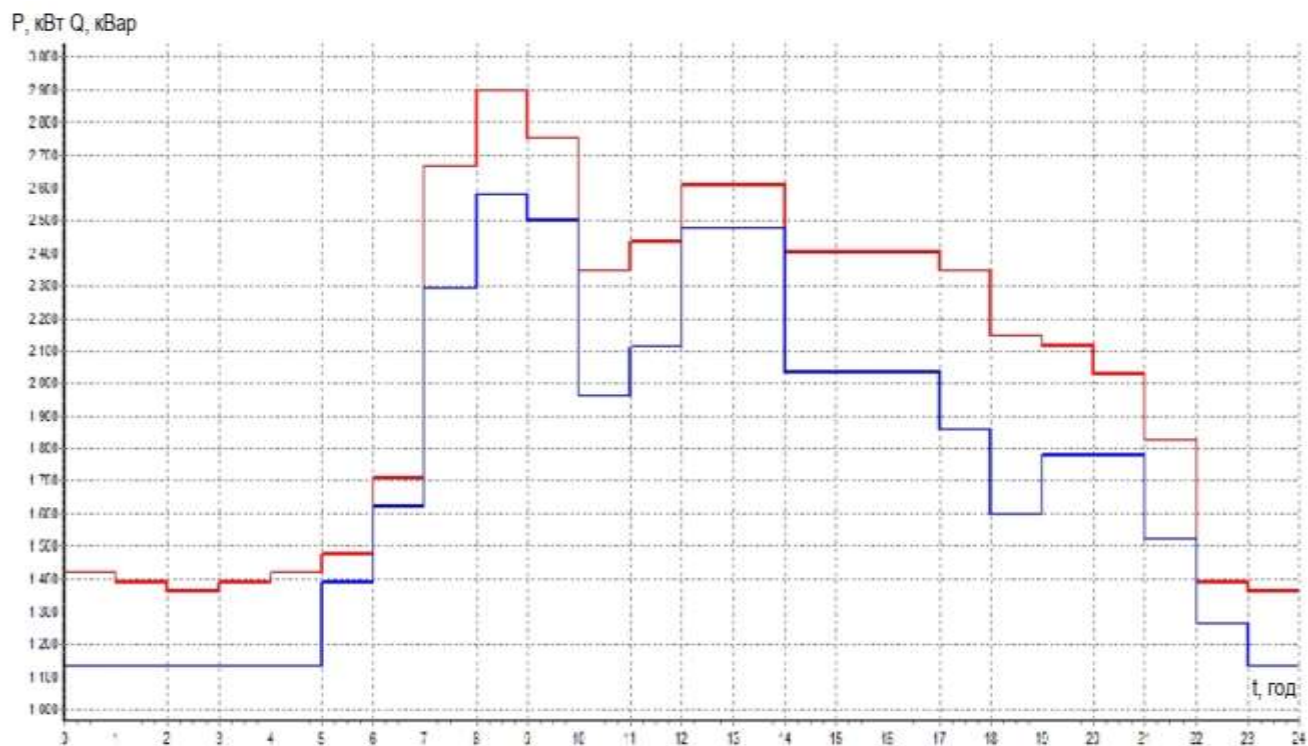
У даному підрозділі було розраховано параметри графіків електр. навант. Розрахунки були виконані згідно методики [1]. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4.1 - 1.4.2 а також наведені на рис. 1.1 - 1.5

Таблиця 1.4.1 - Вихідні дані графіків електр. навант. заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

Години	Робочий період		Вихідний період	
	P,кВт	Q, квар	P,кВт	Q, квар
1	49	44	49	54
2	48	44	49	54
3	47	44	49	54
4	48	44	49	54
5	49	44	49	54
6	51	54	49	54
7	59	63	39	47
8	92	89	39	47
9	100	100	39	47
10	95	97	39	47
11	81	76	39	47
12	84	82	39	47
13	90	96	39	47
14	90	96	39	47
15	83	79	39	47
16	83	79	39	47
17	83	79	39	47
18	81	72	49	54
19	74	62	49	54
20	73	69	49	54
21	70	69	49	54
22	63	59	49	54
23	48	49	49	54
24	47	44	49	54

Таблиця 1.4. Обчислення сходинок графіка навантаження.

Год ини	Літні робочі дні			Зимові робочі дні			Літні вихідні дні			Зимні вихідні дні		
	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	Р, кВт	Q, квар	S, кВА
1	1420	1134	1817	1671	1334	2138	1420	1392	1988	1671	1638	2340
2	1391	1134	1795	1637	1334	2112	1420	1392	1988	1671	1638	2340
3	1362	1134	1772	1602	1334	2085	1420	1392	1988	1671	1638	2340
4	1391	1134	1795	1637	1334	2112	1420	1392	1988	1671	1638	2340
5	1420	1134	1817	1671	1334	2138	1420	1392	1988	1671	1638	2340
6	1478	1392	2030	1739	1638	2389	1420	1392	1988	1671	1638	2340
7	1710	1624	2358	2012	1911	2775	1130	1212	1657	1330	1425	1949
8	2666	2294	3517	3137	2699	4138	1130	1212	1657	1330	1425	1949
9	2898	2578	3879	3409	3033	4563	1130	1212	1657	1330	1425	1949
10	2753	2500	3719	3239	2942	4376	1130	1212	1657	1330	1425	1949
11	2347	1959	3057	2762	2305	3597	1130	1212	1657	1330	1425	1949
12	2434	2114	3224	2864	2487	3793	1130	1212	1657	1330	1425	1949
13	2608	2475	3595	3068	2911	4229	1130	1212	1657	1330	1425	1949
14	2608	2475	3595	3068	2911	4229	1130	1212	1657	1330	1425	1949
15	2405	2036	3151	2830	2396	3708	1130	1212	1657	1330	1425	1949
16	2405	2036	3151	2830	2396	3708	1130	1212	1657	1330	1425	1949
17	2405	2036	3151	2830	2396	3708	1130	1212	1657	1330	1425	1949
18	2347	1856	2992	2762	2183	3521	1420	1392	1988	1671	1638	2340
19	2145	1598	2675	2523	1880	3146	1420	1392	1988	1671	1638	2340
20	2116	1779	2764	2489	2092	3251	1420	1392	1988	1671	1638	2340
21	2029	1779	2698	2387	2092	3174	1420	1392	1988	1671	1638	2340
22	1826	1521	2376	2148	1789	2795	1420	1392	1988	1671	1638	2340
23	1391	1263	1879	1637	1486	2211	1420	1392	1988	1671	1638	2340
24	1362	1134	1772	1602	1334	2085	1420	1392	1988	1671	1638	2340



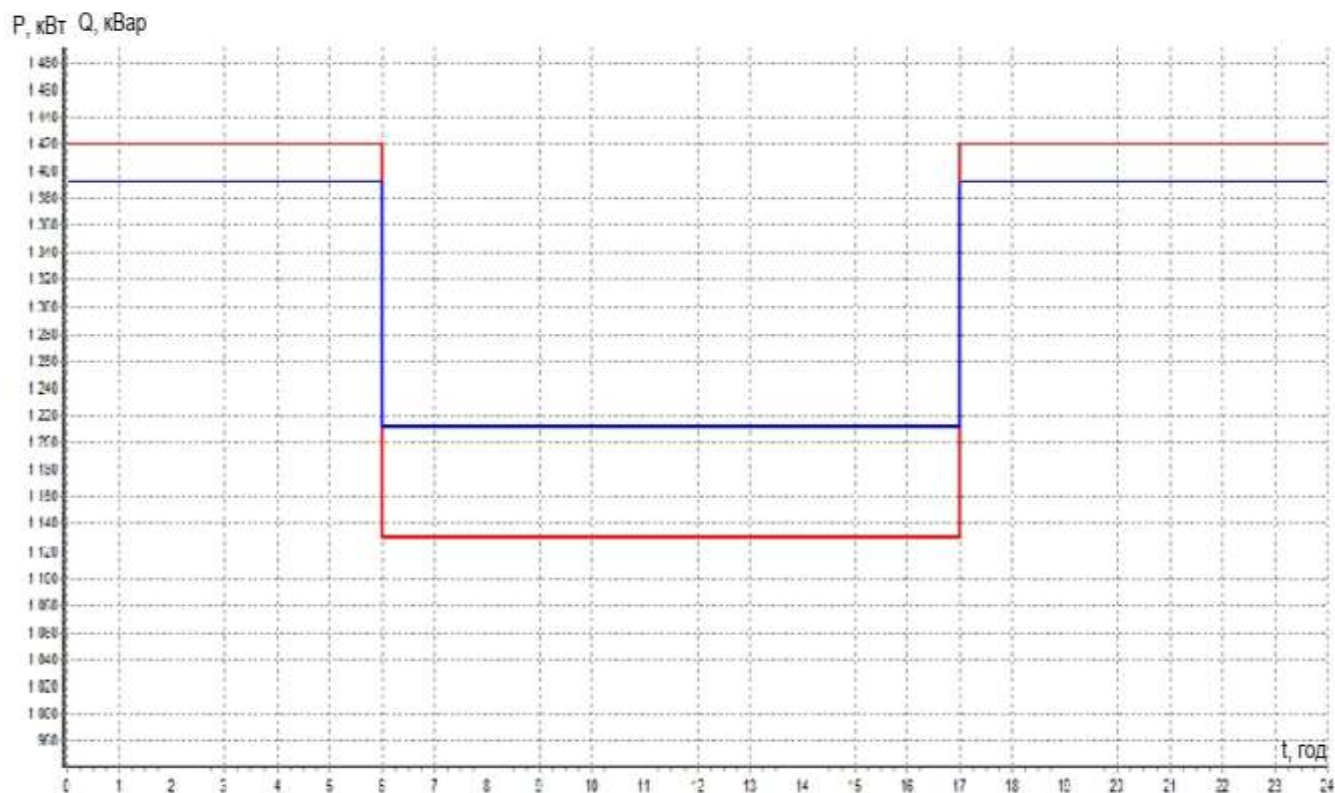


Рисунок 1.4.3. Добовий графік активного Р та реактивного Q навантажень (літні вихідні дні)

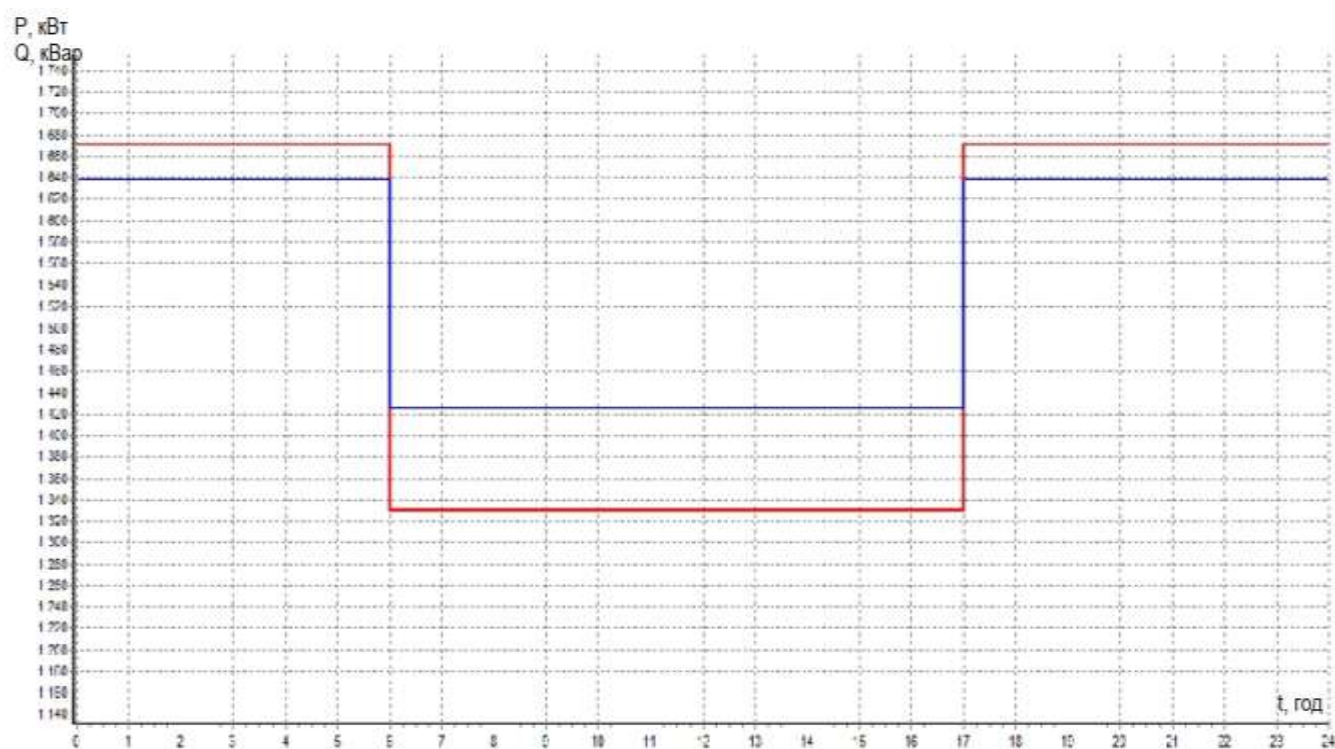


Рисунок 1.4.4. Добовий графік активного Р та реактивного Q навантажень (зимові вихідні дні)

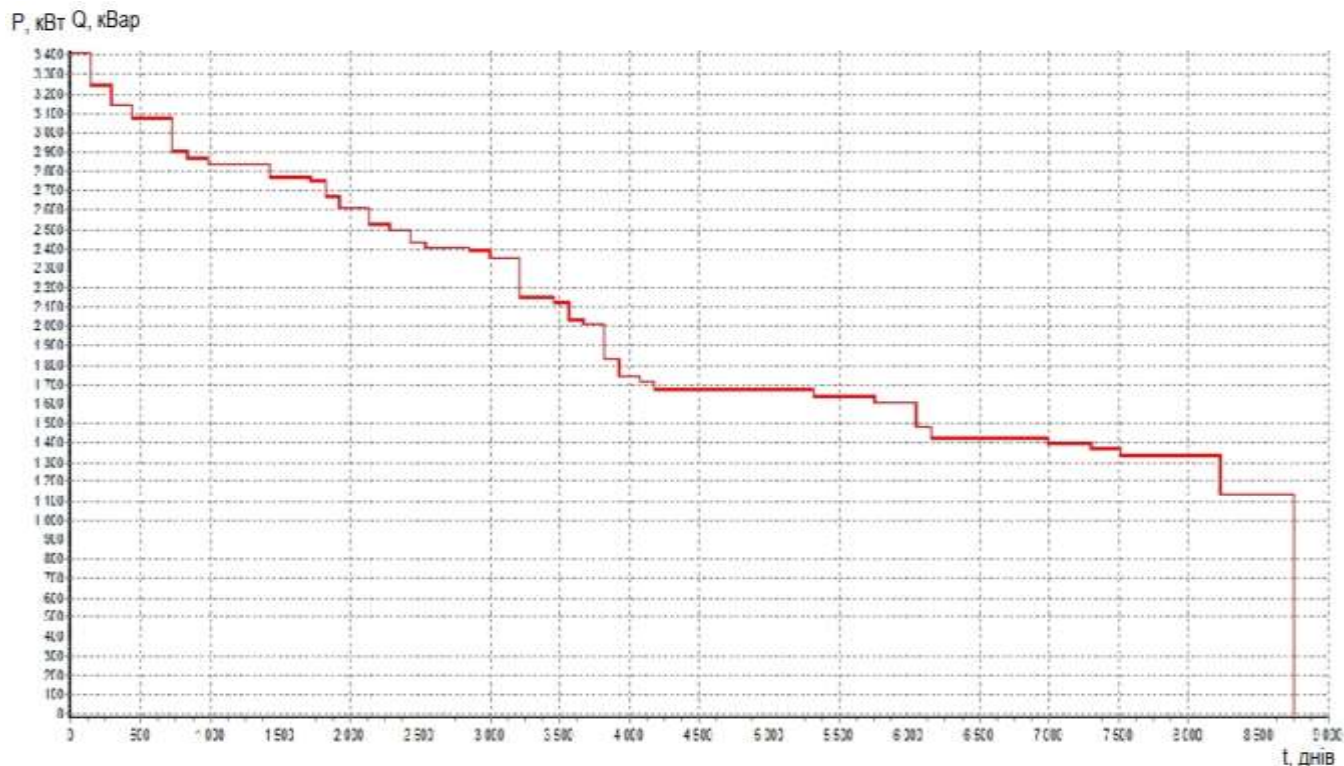


Рисунок 1.4.5. Річний графік активного Р за тривалістю

Розрахункові значення величин графіків електричного навантаження заводу з виготовлення рослинних олій та жирів:

$S_p =$	4562,92	МВА
$W_{з.р.} =$	8460438	кВт год.
$V_{з.р.} =$	7283997	кВар год.
$W_{з.в.} =$	2362945	кВт год.
$V_{з.в.} =$	2402985	кВар год.
$W_{л.р.} =$	5136285	кВт год.
$V_{л.р.} =$	4422495	кВар год.
$W_{л.в.} =$	1482720	кВт год.
$V_{л.в.} =$	1508544	кВар год.
$W_{р.} =$	17442388	кВт год.
$V_{р.} =$	15618021	кВар год.
$T_{max} =$	5131,102	год.
τ	3555,767	год.

Річне споживання активної енергії:

Річне споживання реактивної енергії:

Кількість годин використання максимуму потужності:

Річний час максимальних втрат:

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

2. РОЗРОБКА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ

Для визначення місця розташування ЦЕН та ТП на генеральний план заводу наносяться зображення картограми електричних навантажень.

Для побудови картограми навантажень приміщень та всього заводу визначаються для кожного розрахункового цеху радіуси кіл R_i площа πR_i^2 , яких у обраному масштабі буде дорівнювати повному навантаженню цеху P_i , кВА.

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{542,63}{3,14 \cdot 0,254}} = 26,28 \text{ мм}$$

де m - масштаб кола, кВт/мм².

Проводячи аналогію між масами і електричними навантаженнями цехів P_i , координати їх центра (X, Y) для підприємства можна знайти з формулами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{890309,08}{4071,74} = 218,66 \text{ м}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{689040,54}{4071,74} = 169,23 \text{ м},$$

де X_i та Y_i - координати центрів електричного навантаження i -го приміщення.

На картограмі крім силового навантаження (високовольтного та низьковольтного) наноситься і освітлювальне, у секторальному вигляді з центральним кутом α .

Центральний кут α відповідає площі, яка у прийнятому масштабі дорівнює площі освітлюваного навантаження:

$$\alpha_1 = \frac{P_{1.осв} \cdot 360}{\pi R_1^2} = \frac{12,21 \cdot 360}{3,14 \cdot 26,28^2} = 8,10^\circ \cdot 24,0^\circ.$$

Для інших цехів розрахунок зводимо до таблиці 2.1.

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

Таблиця 2.1. Дані для розрахунку умовного центру електричних навантажень та побудови картограми електричних навантажень заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

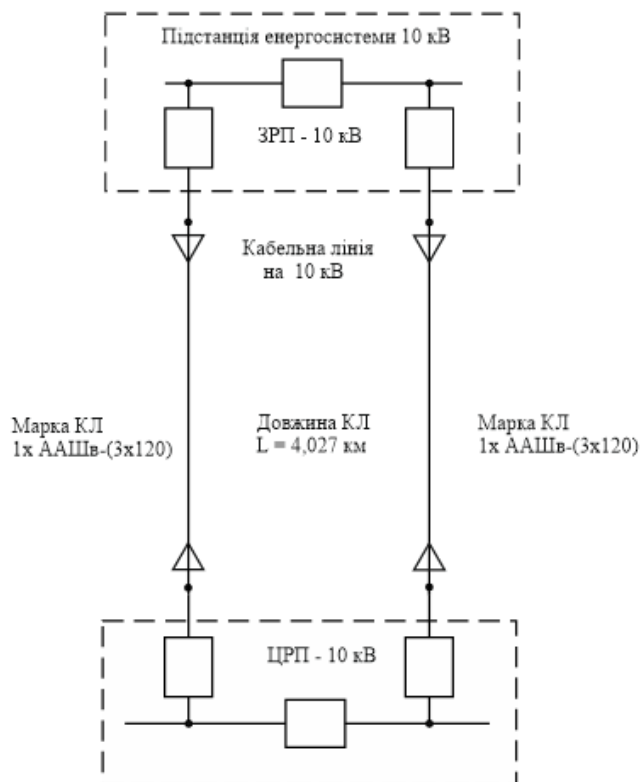
№ п/п	Найменування	$P_{рсил},$ кВт	$P_{росв},$ кВт	$P_r,$ кВт	m	$R,$ мм	α	$x,$ м	$y,$ м	$P \cdot x,$ кВт м	$P \cdot y,$ кВт м
1	Дільниця розчинної екстракції	530,42	12,21	542,63	0,25	26,28	8,10	96,9	216,5	52580,85	117479,40
2	Термінал зберігання готової продукції	43,46	6,54	50,00	0,25	7,98	47,09	305,5	290,5	15275,00	14525,00
3	Майстерня технічного сервісу та ремонту	210,21	20,05	230,26	0,25	17,12	31,35	318,6	188,6	73360,84	43427,04
4	Сектор вхідного контролю та очищення сировини	158,23	10,82	169,05	0,25	14,67	23,04	59,8	344,1	10109,19	58170,11
5	Цех виробництва модифікованих жирів	592,19	22,79	614,98	0,25	27,98	13,34	363,5	333,7	223545,23	205218,83
6	Відділення фасування та пакування	206,81	21,76	228,57	0,25	17,06	34,27	126,4	32,6	28891,25	7451,38
7	Паросилове господарство (Котельня)	107,00	3,12	110,12	0,25	11,84	10,20	366,9	26,7	40403,03	2940,20
8	Адміністративно-побутовий блок (АБК)	39,07	11,24	50,31	0,25	8,00	80,43	255,1	32,9	12834,08	1655,20
9	Пресово-віджимний корпус №1	1150,17	38,08	1188,25	0,25	38,90	11,54	303,9	131,7	361109,18	156492,53
10	Пресово-віджимний корпус №2	657,64	28,59	686,23	0,25	29,56	15,00	13,8	49,3	9469,97	33831,14
11	Станція водозабезпечення та охолодження	185,77	1,73	187,50	0,25	15,45	3,32	318,7	242,2	59756,25	45412,50
12	Освітлення ТОВ «Придніпровський ОЕЗ»		13,84	13,84	0,25	4,20	360,00	214,9	176,1	2974,22	2437,22
	Всього по ТОВ «Придніпровський ОЕЗ»			4071,74						890309,08	689040,54

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

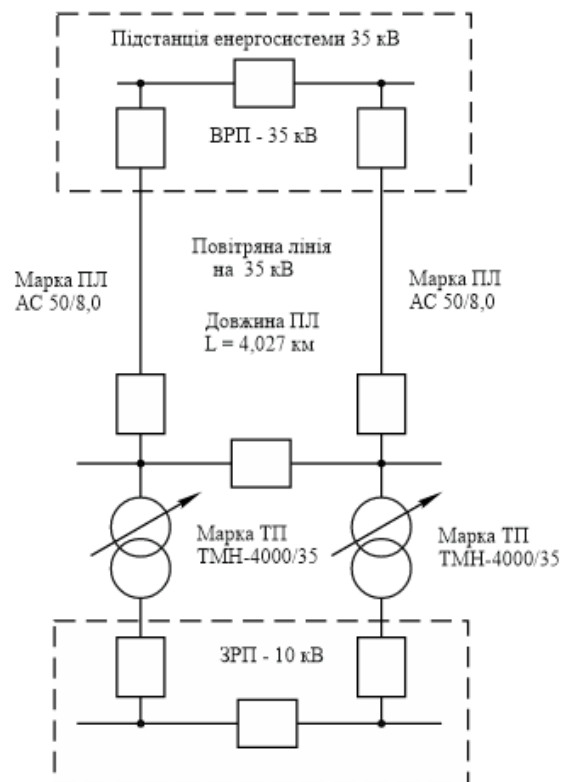
Метою даного етапу проектування є вибір найбільш раціональних схем зовнішнього та внутрішнього електрозабезпечення цукрового заводу на основі порівняння технічних і вартісних показників.

3.1. Обґрунтування робочої напруги та конфігурації схеми зовнішнього живлення

Користуючись наведеною теорією [1] виконуємо техніко-економічні розрахунки та порівняння варіантів схем зовнішнього електропостачання (рисунок 3.1). На рис. 3.1а зображена схема зовнішнього електропостачання, яке здійснюється напругою 10 кВ, а на рис. 3.1б зображена схема, як живиться напругою 35 кВ.



Зовнішнє електропостачання здійснюється напругою 10 кВ



Зовнішнє електропостачання здійснюється напругою 35 кВ

Рисунок 3.1 - Схема зовнішнього електропостачання.

Згідно з вихідними даними до роботи, підприємство може отримувати живлення від підстанції 35/10 кВ, що знаходиться на відстані 4,027 км: кабельними лініями КЛ напругою 10 кВ та повітряними лініями напругою 35 кВ. Тому доцільно

буде розглянути два варіанти виконання схеми зовнішнього електропостачання:

Електропостачання здійснюється кабельними лініями номінальною напругою 10 кВ (рис. 3.1 а). Розрахунковий струм, А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5171}{\sqrt{3} \cdot 10} = 149,28 \text{ А}$$

Обираємо до встановлення 2 КЛ марки ААШВ-10(3х120).

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в нормальному режимі:

$$I_p = 74,64 \text{ А} \leq K_n I_{дон} = 0,92 \cdot 295 = 271,4 \text{ А}$$

Перевірка вибраних КЛ за умовою нагріву в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 74,64 = 149,28 \text{ А} \leq K_{ан} K_n I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 295 = 368,75 \text{ А}$$

Таким чином, КЛ марки ААШВ-10(3х120) задовольняють умовам перевірки. Коефіцієнт завантаження КЛ в нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{74,64}{295} = 0,25$$

Втрати потужності в кабельній лінії:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1кл} l_{\Sigma} K_3^2 = 54 \cdot 8,054 \cdot 0,0625 = 27,18 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в кабельній лінії:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 27,18 \cdot 3555,77 = 96645,83 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_o = 96645,83 \cdot 12,1078 \cdot 0,001 = 1170,17 \text{ тис.грн}$$

Результати розрахунку капітальних вкладень в зовнішню схему електропостачання для варіанту № 1 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку капітальних вкладень для варіанту схеми № 1

№з/п	Назва елемента схеми	Од. виміру	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	8,054	2250	18121,5
2	Траншея	км	4,027	300	1208,1
3	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	120	240
Всього					19569,6

Результати розрахунку поточних витрат для варіанту схеми № 1 наведено в таблиці 3.2.

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

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку поточних витрат для варіанту схеми № 1

№ з/п	Назва елемента схеми	K_j , тис.грн.	P_{aj} , %	C_{aj} , тис.грн.	P_{ej} , %	C_{aj} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	18121,5	5	906,075	5	906,075	1812,15
2	Траншея	1208,1	5	60,405	5	60,405	120,81
3	Шафи КРП серії КУ-10	240	15	36	5	12	48
Всього							1980,96

Розрахункова схема одного ланцюга живлення містить вимикач напругою 10 кВ, КЛ сумарною довжиною $l_{кл\Box} = 4,027$ км.

Параметр потоку відмов ланцюга:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,32216 = 0,32616 \frac{1}{\text{рік}}$$

Середній час відновлення одного ланцюга:

$$T_g = \frac{\sum \lambda_i T_{gi}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,32216 \cdot 0,000281)}{0,32616} = 0,00028395 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою одного ланцюга:

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга:

$$K_a = \lambda T_g = 0,32616 \cdot 0,00028395 = 0,00009261$$

Коефіцієнт планового простою для випадку, коли один ланцюг відімкнений для планового ремонту, а другий в цей час відмикається через пошкодження:

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,32616 \cdot 0,00000576 = 0,0000009393$$

Коефіцієнт аварійного простою обох ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,000000008577 + 2 \cdot 0,0000009393 = 0,00000188$$

Середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000018873 \cdot 8760 = 0,01653$$

Очікуваний збиток від аварійного недовідпуску електроенергії, тис. грн.:

$$U = Y_0 P_{cp} T_a = 23 \cdot 2,3 \cdot 0,01653 = 0,87 \text{ тис.грн.}$$

Зведені витрати для варіанту № 1, тис. грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{впр,i} + U_i = 0,12 \cdot 19569,6 + 1980,96 + 1170,17 + 0,87 = 5500,35 \text{ тис.грн./рік}$$

Аналогічним чином розраховуються зведені витрати і для варіанту живлення

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

напругою 35 кВ повітряними лініями електропередачі. Результати техніко-економічного порівняння варіантів живлення схем наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати техніко-економічних розрахунків для вибору схеми живлення зовнішнього електропостачання

Показники	Варіант 1	Варіант 2
Капітальні вкладення	15156,4	19569,6
Поточні витрати	2965,64	1980,96
Вартість втрат електроенергії	4408,29	1170,17
Збиток	1,64	0,87
Зведені витрати	9194,34	5500,35

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати на варіант схеми зовнішнього електропостачання № 1 (повітряними лініями 10 кВ) є значно менші. Його і приймаємо для подальших розрахунків.

3.2. Вибір структури та топології внутрішньої схеми розподілу енергії

Для порівняння схем внутрішнього електропостачання обираємо два варіанта, 1 – живлення ТП радіальними лініями, 2 – живлення ТП магістральними та радіальними лініями. Будемо порівнювати два варіанти внутрішнього електропостачання: радіальна схема електропостачання (рис 3.2а); змішана схема електропостачання (рис 3.3б).

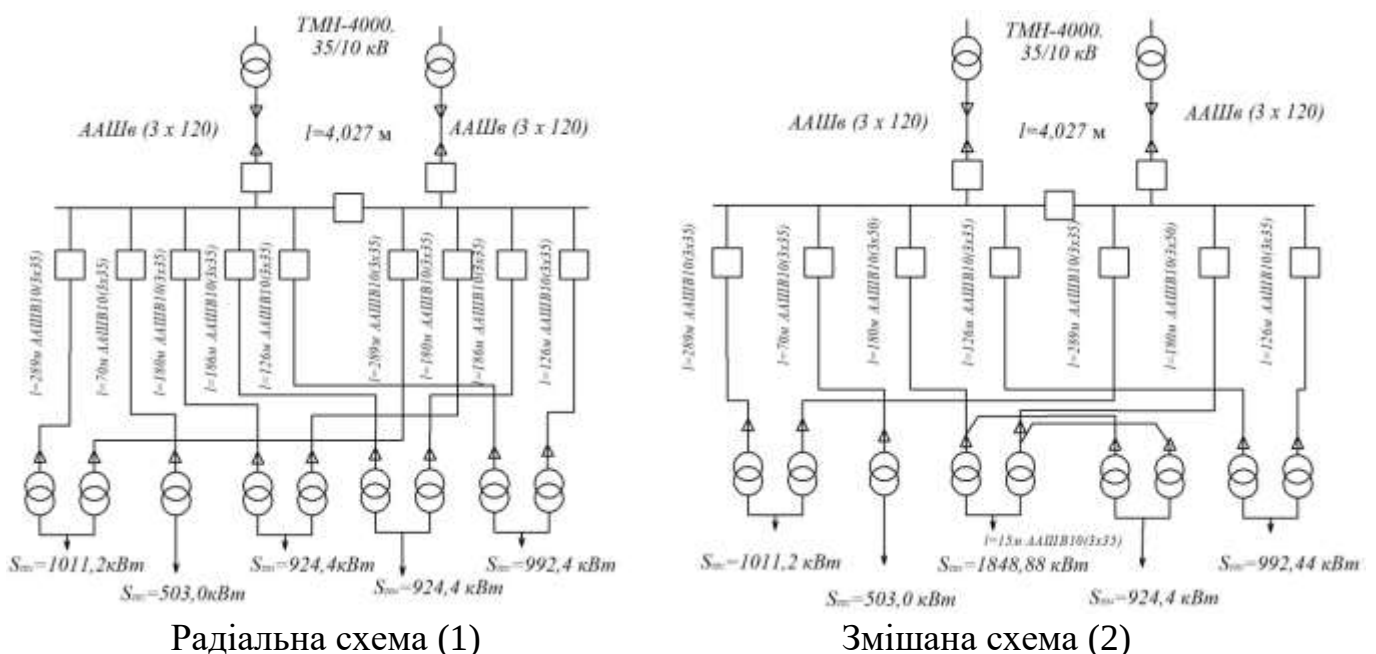


Рисунок 3.3 - Схема внутрішнього електропостачання

Вибір інших кабельних ліній для двох варіантів зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Розрахунок параметрів схеми для першого варіанту

№ вар	№ КЛ	Ном ЕП	I_p , А	$F_{ек}$, мм ²	$F_{ес}$, мм ³	Тип КЛ	I_0 , А	$k_{з.н}$	$k_{ав.д}$	$I_{дон'}$, А	$k_{ан}$	$I_{ав} < I_{ав.д}$, А		
I	1	ЦРП-ТП1	27,8	19,9	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	55,6	<	129,4
	2	ЦРП-ТП2	27,7	19,8	35	ААШВ-10(3х 35)	115	1	1,25	115	1	27,7	<	143,8
	3	ЦРП-ТП3	25,4	18,2	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	50,8	<	129,4
	4	ЦРП-ТП4	25,4	18,2	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	50,8	<	129,4
	5	ЦРП-ТП5	27,3	19,5	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	54,6	<	129,4
II	1	ЦРП-ТП1	27,8	19,9	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	55,6	<	129,4
	2	ЦРП-ТП2	27,7	19,8	35	ААШВ-10(3х 35)	115	1	1,25	115	2	27,7	<	143,8
	3	ЦРП-ТП3	50,8	36,3	50	ААШВ-10(3х 50)	140	0,9	1,25	126	2	101,7	<	157,5
	4	ТП3-ТП4	25,4	18,2	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	50,8	<	129,4
	5	ЦРП-ТП5	27,3	19,5	35	ААШВ-10(3х 35)	115	0,9	1,25	103,5	2	54,6	<	129,4

Розрахунок капітальних вкладень по варіантах визначається по укрупненим показникам вартості елементів схеми наведені в таблиця 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Найменування елемента схеми	Оди ниця	Кіль- кість	Вартість одиниці, тис.грн	Вартість всього, тис.грн
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ на ЦРП	шт	9	240	2160,00
	Кабельні лінії: ААШВ (3х35)	км	0,846	925	782,55
	Траншея	км	0,069	300	20,70
	Траншея (2 КЛ)	км	0,777	240	186,48
	Всього	3149,73			
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ на ЦРП	шт.	7	240	1680,00
	Кабельні лінії: ААШВ (3х50)	км	0,179	1030	184,37
	ААШВ (3х35)	км	0,496	925	458,80
	Траншея	км	0,069	300	20,70
	Траншея (2 КЛ)	км	0,606	240	145,44
	Всього	2489,31			

Розрахунок поточних витрат проводиться за двома складовими: амортизаційні відрахування А та експлуатаційні витрати Е. Результати розрахунку поточних витрат по варіантах наведені в табл.3.6.

Навантажувальні втрати енергії в трансформаторах не розраховуємо, тому що в двох варіантах використовуються трансформатори однієї потужності.

Таблиця 3.6 - Розрахунок поточних витрат.

№	Найменування елемента схеми	Норми, %		Витрати, тис. грн.			
		$P_{aj}, \%$	$P_{ej}, \%$	K_j , тис.грн.	C_{aj} , тис.грн.	C_{ej} , тис.грн.	C_j , тис.грн.
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	20	10	2160,00	432,0	216,0	648,0
	Кабель лінії з врахуванням траншеї						
	ААШв -10 (3х35)	10	10	782,55	78,3	78,3	156,5
	Всього						804,51
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	20	10	1680,00	336,0	168,0	504,0
	Кабель лінії з врахуванням траншеї						
	ААШв -10 (3х50)	10	10	458,80	45,9	45,9	91,8
	ААШв -10 (3х35)	10	10	184,37	18,4	18,4	36,9
	Всього						632,63

Розрахунок вартості витрат електроенергії наведений в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 - Розрахунок вартості витрат електроенергії.

№ вар	№ КЛ	Ном ЕП	Тип КЛ			Δp , кВт/км	K_3	L_Σ , км	ΔP , кВт	ΔE , кВт·год	C_0 , грн/кВт	B , грн
I	1	ЦРП-ТП1	ААШв-10(3х	35	)	32	0,28	0,289	0,67	2291,1	12,1078	27739,85
	2	ЦРП-ТП2	ААШв-10(3х	35	)	32	0,23	0,07	0,13	444,8	12,1078	5385,48
	3	ЦРП-ТП3	ААШв-10(3х	35	)	32	0,25	0,18	0,35	1192,6	12,1078	14439,83
	4	ЦРП-ТП4	ААШв-10(3х	35	)	32	0,25	0,186	0,36	1232,4	12,1078	14921,16
	5	ЦРП-ТП5	ААШв-10(3х	35	)	32	0,25	0,126	0,28	962,2	12,1078	11649,61
		Всього										20943,26
II	1	ЦРП-ТП1	ААШв-10(3х	35	)	32	0,28	0,289	0,67	2291,1	12,1078	27739,85
	2	ЦРП-ТП2	ААШв-10(3х	35	)	32	0,23	0,07	0,13	444,8	12,1078	5385,48
	3	ЦРП-ТП3	ААШв-10(3х	50	)	32	0,25	0,18	0,35	1192,6	12,1078	14439,83
	4	ТП3-ТП4	ААШв-10(3х	35	)	32	0,25	0,015	0,03	99,4	12,1078	1203,32
	5	ЦРП-ТП5	ААШв-10(3х	35	)	32	0,25	0,126	0,28	962,2	12,1078	11649,61
		Всього										17032,77

Результати техніко-економічних варіантів схем електропостачання табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Результати техніко-економічних варіантів схем електропостачання.

Показники	Од.вимір	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис.грн	3149,7	2489,3
Поточні затрати	тис.грн	804,51	632,63
Вартість витрат електроенергії	тис.грн	74,14	60,42
Збитки від недовідпуску	тис.грн	105,53	228,50
Приведені затрати	тис.грн	1362,14	1220,27

В результаті порівняння виявилось, що варіант 2 за економічними показниками вигідніший за варіант 1. Тому приймаю схему живлення споживачів заводу з встановленням ЦРП з змішаною схемою електропостачання.

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

4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ З ВИГОТОВЛЕННЯ РОСЛИННИХ ОЛІЙ ТА ЖИРІВ

4.1 Оцінка балансу реактивної енергії та визначення дефіциту потужності.

Вихідні дані до розрахунку балансу реактивної потужності у мережі:

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 3600,15 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 3168,44 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 69,59 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 474,92 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

$$P_\phi = \sum P_{ВН} = 0 \text{ кВт} \quad Q_\phi = \sum Q_{ВН} = 0 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної потужності:

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\phi - P_{сз} = 3600,15 + 69,59 + 0 - 0 = 3669,74 \text{ кВт},$$

Сумарне споживання реактивної потужності:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\phi - Q_{сз} = 3168,44 + 474,92 + 0 - 0 = 3643,36,27 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 3669,74 \cdot 0,15 = 550,46 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 3643,36 - 550,46 = 3092,9 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{3600,15}{0,7 \cdot 630} = 8,2 \approx 9 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти з різною кількістю цехових трансформаторів: $N_T = N_0$,
 $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість цехових трансформаторів $N = N_0 = 9$ шт.

Реактивна потужність, що може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3669,74^2} = 1511,94 \text{ кВАр}$$

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

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1 кВ:

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 3643,36 - 1511,94 = 2131,42 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 3092,9 - 2131,42 = 961,48 \text{ кВАр}$$

Розрахунок потужності КП для варіантів з кількістю трансформаторів $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ виконується аналогічно.

Таблиця 4.1 - Результати розрахунку потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , квар	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , квар
1	9	1511,94	2131,42	961,48
2	10	2445,63	1197,73	1895,17
3	11	3172,57	0	3092,9

4.2 Вибір параметрів та локалізація пристроїв компенсації реактивної потужності

Вибір кількості компенсуючих пристроїв, їх потужності та місця розташування проводиться на основі економічного порівняння порівнюваних варіантів. Критерієм для економічності приймемо мінімум приведених витрат.

Результати розрахунків потужності високовольтних та низьковольтних БСК для варіантів з кількістю трансформаторів $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ наведені в табл. 4.2.1 – 4.2.3

Таблиця 4.2.1 Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N_T = N_0 = 9$

№ КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	Q_{kp} , кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{kp} - Q_{БК}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	2	965,23	837,97	0	837,97	2·335;	670	168	0,78	979,74
2	1	392,29	330,95	201,47	129,48	1·67;	67	62,48	0,75	472,82
3,4	4	1787,5	1484,4	0	1484,4	2·300; 2·335;	1270	214,4	0,71	1800,3
5	2	714,11	564,84	517,66	47,18		0	47,18	0,72	910,49

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ $Q_{KH} = 2007$ квар. Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ $Q_{KB} = 2 \cdot 450 = 900$ кВАр.

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

Таблиця 4.2.2 - Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N_T = N_0 = 10$

N_0 КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	Q_{kn} , кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{kn}-$ $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	3	965,23	837,97	904,8	0		0	0	0,68	1278,2
2	1	392,29	330,95	201,47	129,48	2·67;	134	-4,52	0,7	438,95
3,4	4	1787,5	1484,4	0	1484,4	4·67; 4·300;	1468	16,4	0,71	1787,5
5	2	714,11	564,84	517,66	47,18	1·50;	50	-2,82	0,7	880,35

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ $Q_{kn} = 1652$ квар. Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 2 \cdot 450 + 2 \cdot 150 = 2100$ кВАр.

Таблиця 4.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів $N_T = N_0 = 11$

N_0 КТП	К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	Q_{kn} , кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{kn}-$ $Q_{бк}$, кВАр	K_3	S_p , кВА
1	3	965,23	837,97	904,8	0		0	0	0,68	1278,2
2	1	392,29	330,95	201,47	129,48	2·67;	134	-4,52	0,7	438,95
3,4	5	1787,5	1484,4	1291,1	193,27	2·50; 1·67;	167	26,27	0,7	2220,5
5	2	714,11	564,84	517,66	47,18	1·50;	50	-2,82	0,7	880,35

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ $Q_{kn} = 351$ кВАр. Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ $Q_{кв} = 2 \times 900 + 2 \times 150 = 2100$ кВАр.

Розрахунок приведених витрат на компенсацію для варіанту з кількістю трансформаторів $N_T = N_0$ наведено нижче.

Втрати активної потужності в низьковольтних КП:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 2007 = 9,03 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в високовольтних КП:

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в ТП, що викликані передачею реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{3600,15^2 + 1511,94^2}{10^2} \cdot 0,18 \cdot 0,001 = 27,44 \text{ кВт}$$

де $R_{екв}$ – еквівалентний активний опір цехових ТП:

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

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}} \cdot 10^3 = \frac{6,5 \cdot 10^2}{9 \cdot 630^2} \cdot 1000 = 0,18 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = 1 \cdot 49,5 + 2 \cdot 179,4 + 4 \cdot 187,6 = 1158,7 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 2 \cdot 297 = 594 \text{ тис.грн.}$$

Вартість цехових ТП, тис. грн.:

$$K_{ТП} = N_{ТП(2)} \cdot K_{ТП(2)} + N_{ТП(1)} \cdot K_{ТП(1)} = 4 \cdot 1009 + 1 \cdot 698 = 4734 \text{ тис.грн.}$$

Приведені витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$\begin{aligned} Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{ТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) = \\ &= 0,12 \cdot (1158,7 + 594 + 4734) + 12,11 \cdot 3555,8 \cdot (9,03 + 2,7 + 27,44) \cdot 10^{-3} = 2464,77 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Розрахунок приведених витрат на компенсацію реактивної потужності для варіантів з кількістю трансформаторів $N_T = N_0 + 1 = 10$ шт., $N_T = N_0 + 2 = 11$ шт. проводиться аналогічно. Результати розрахунків зведено до табл. 4.2.4.

Таблиця 4.2.4. Результати розрахунків приведених витрат на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	Q_{KH} , квар	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , квар	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	$R_{екв}$, Ом	$S_{пр}$, кВА	$\Delta P_{ТП}$, кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	$K_{ТП}$, тис. грн.	Z , тис. грн.
1	2007	9,03	900	2,7	9	0,18	3904,8	27,44	1158,7	594	4734	2465
2	1652	7,43	1200	3,6	10	0,16	4352,3	30,31	1049,6	1018	5432	2680
3	351	1,58	2100	6,3	11	0,15	4798,6	34,54	253,5	1218	6130	2738

Таблиця 5.2.5 Розрахунок електричних навантажень вище 1 кВ з БК по заводу з виготовлення продукції рослинних олій та жирів

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cos J	tg j	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
ТП 1.															
Термінал зберігання готової продукції															
силове:	18	0,25	7,5	54,75	30	0,68	0,71	0,99	37,23	36,93	15	1,17	43,63	36,93	57,16
освітлювальне:									1015,5				6,54	8,38	
Всього:									1052,73	36,93			50,17	45,31	67,6
Дільниця розчинної екстракції															
силове:	36	5,5	90	734,5	16,4	0,59	0,72	0,96	433,35	417,69	16	1,22	530,42	417,69	675,14
освітлювальне:									1175,5				12,21	7,73	
Всього:									1608,85	417,69			542,63	425,42	689,51
Майстерня технічного сервісу та ремонту															
силове:	38	4	18,5	352,5	4,6	0,51	0,67	1,11	179,78	199,2	38	1,17	210,21	199,2	289,6
освітлювальне:									1025,5				20,05	12,69	
Всього:									1205,28	199,2			230,26	211,89	312,92
Сектор вхідного контролю та очищення сировини															
силове:	32	0,18	37	310,18	205,6	0,37	0,66	1,14	114,77	130,64	17	1,38	158,23	130,64	205,19
освітлювальне:									1195,5				10,82	6,5	
Всього:									1310,27	130,64			169,05	137,14	217,68
Освітлення заводської території ТОВ															
освітлювальне:									58770,5				13,84	18,21	
Всього:									58770,5	0			13,84	18,21	22,87
Всього по ТП 1.:															
силове:	124	0,18	90	1451,93	500	0,53	0,7	1,03	765,13	784,46	32	1,18	901,77	784,46	1195,23
освітлювальне:									63182,5				63,46	53,51	

Продовження таблиці 5.2.5

[illegible]

Продовження таблиці 5.2.5															
Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} кВт		Р _{сум} кВт	m	K _ч	cosj	tgj	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Всього на шинах 10 кВ ТПЗ і 4:													1809,69	378,64	1848,88
ТП 5															
Цех виробництва модифікованих жирів															
силове:	91	0,75	180,5	804,25	240,7	0,54	0,72	0,96	434,3	418,6	9	1,36	592,19	460,46	750,14
освітлювальне:									1235,5				22,79	13,83	
Всього:									1669,8	418,6			614,98	474,29	776,63
Паросилове господарство (Котельня)															
силове:	11	1,1	30	134,5	27,3	0,61	0,72	0,95	82,72	78,58	9	1,29	107	86,44	137,55
освітлювальне:									679,5				3,12	4,11	
Всього:									762,22	78,58			110,12	90,55	142,57
Всього по ТП 5:															
силове:	102	0,75	180,5	938,75	240,7	0,55	0,72	0,96	517,02	497,18	10	1,33	688,2	546,9	879,04
освітлювальне:									1915				25,91	17,94	
БК 0,4 кВ										0				0	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 5:									2432,02	497,18			714,11	564,84	910,49
Втрати в трансформаторах:													11,3	83,09	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 630															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,72															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5:													725,41	647,93	972,64
Всього по об'єкту															
силове:	384	0,12	199,5	5534,25	1662,5	0,55	0,95	0,34	3031,72	1025,55	55	1,12	3409,38	1025,55	3560,28
освітлювальне:									70228				190,77	135,89	
Всього:									73259,72	1025,55			3600,15	1161,44	3782,86

Продовження таблиць 5.2.5

Назва групи споживачів	К-ть ЕС	Р _{одн'} , кВт		Р _{сум} кВт	m	K _н	cos j	tg j	Середнє		п _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		Р _{min} кВт	Р _{max} кВт						Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			Р _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА
Потужність КП 0,4 кВ:										-2007				-2007	
Втрати в трансформаторах:													52,04	380,39	
Всього по об'єкту:													3652,19	1541,83	3964,31
Всього по об'єкту 10 кВ:													3652,19	1541,83	3964,31
КП 10 кВ:														-900	
Всього 10 кВ з КП:													3652,19	641,83	3708,16
tg f = 0,156															

5. ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Для електроспоживачів заводу виконується вибір тільки цехових підстанцій, варіанти живлення яких було детально розглянуто у 3 розділі БР. Основним критерієм вибору є розрахункове навантаження споживачів, умови експлуатації, характер навантаження, тип трансформатора, його економічність та надійність. Скористаємося методикою вибору, що наведено в [1].

Перевіримо на прикладі ТП-1 вибір цехових трансформаторів.

- за систематичним навантаженням:

$$S_{н.тр(ТП1)} = \frac{S_{р.(ТП1)}}{k_1} = \frac{1011,2}{1,08} = 936,3$$

де $k_1=1,08$ – коефіцієнт для 2-х змінного режиму роботи;

- за допустимим аварійним перевантаженням:

$$S_{н.тр(ТП1)} = \frac{S_{р.(ТП1)}}{k_2} = \frac{1011,2}{1,4} = 722,29$$

де $k_2=1,4$ - коефіцієнт, що враховує тривалість аварійного перевантаження;

Завантаження трансформатору ТП-1 у нормальному режимі:

$$k_{з(ТП1)} = \frac{S_{р.(ТП1)}}{nS_{н.(ТП1)}} = \frac{1011,2}{2 \cdot 630} = 0,78$$

Для спрощення і наочності, вибір буде проводитись у вигляді таблиці 5.

Таблиця 5. Вибір кількості потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій (ТП).

№ ТП	$S_{роз},$ $кВ \cdot А$	Місце розташування	Марка	N, шт	Тип КТП	K_3	$S_{ном} >$ $> S_p / K_1$	$S_{ном} >$ $> S_p / K_2$
1	1011,2	Дільниця розчинної екстракції	ТМ-630-10/0,4	2	Вбудована	0,78	936,30	722,29
2	502,95	Відділення фасування та пакування	ТМ-630-10/0,4	1	Вбудована	0,75	465,69	359,25
3,4	1848,88	Пресово-віджимний корпус №1	ТМ-630-10/0,4	4	Вбудована	0,71	1711,93	1320,63
5	972,64	Цех виробництва модифікованих жирів	ТМ-630-10/0,4	2	Вбудована	0,72	900,59	694,74

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

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

6.1. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання в системі заводу з виготовлення рослинних олій та жирів

Розрахунок струмів КЗ в мережі 10 кВ виконується за методикою [1]. Перед розрахунком струмів КЗ складаємо розрах. схему (рис. 6.1.1) на якій намічаємо точки, в яких треба розрахувати струми КЗ. По розрах. схемі складають схему заміщення (рис. 6.1.2).

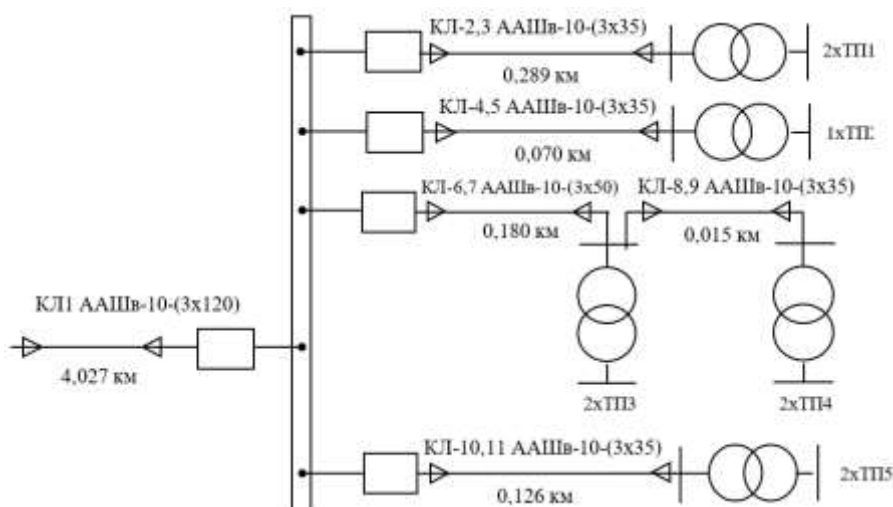


Рисунок 6.1.1 - Розрахункова схема.

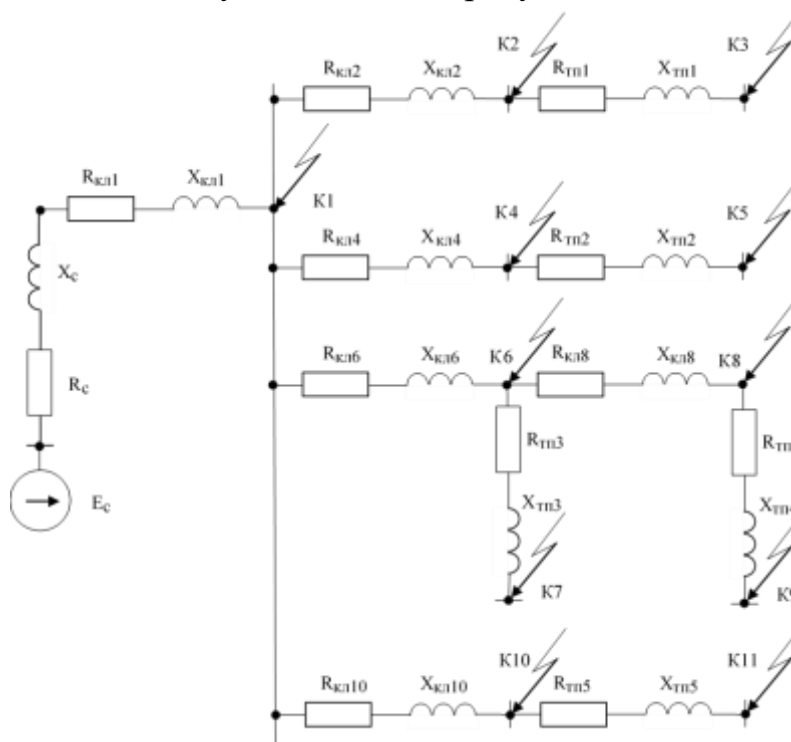


Рисунок 6.1.2 - Схема заміщення для розрахунку струмів к. з.

Проведемо розрахунок активних та реактивних опорів елементів системи електропостачання. Активний та індуктивний опори системи:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з}} = \frac{37^2}{48,8} = 2,259 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{2,259}{25} = 0,09 \text{ Ом}$$

Активний та індуктивний опори повітряної лінії 10 кВ (провід марки ААШВ (3х120) довжиною 4,027 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,258 \cdot 4,027}{2} = 0,5125 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,081 \cdot 4,027}{2} = 0,16 \text{ Ом}$$

Результуючі активний, індуктивний та повний опори до точки К1:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 2,259 + 0,16 = 2,419 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,09 + 0,5195 = 0,61 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,61^2 + 2,419^2} = 2,495 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К1 від системи:

$$I_{K0(c)}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,495} = 2,43 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К1:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{2,419}{314 \cdot 0,61} = 0,0126 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К1:

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0126}} = 1,452$$

Ударний струм в точці К1 від системи:

$$i_{y\partial 0(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K0(c)}'' = \sqrt{2} \cdot 1,452 \cdot 2,43 = 4,99 \text{ кА}$$

Для подальшого розрахунку струмів к.з. необхідно вибрати кабелі до цехових підстанцій та високовольтного навантаження. Виконаємо вибір кабеля від шин 10 кВ ЦРП до ТП-1. Інші кабелі вибираються аналогічно. Результати вибору кабельних ліній 10 кВ заводської мережі приведені в таблиці 6.1.1.

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

Розрахунковий струм кабельної лінії КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1011,2}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 27,8 \text{ А}$$

Площа поперечного перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{27,8}{1,4} = 23,17 \text{ мм}^2$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 2,43^2 (1,365 + 0,0126) = 8,13 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз кабельної лінії за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{8,13 \cdot 10^3} = 30,33 \text{ мм}^2$$

Обираємо до встановлення кабель марки ААШв-10(3х35).

Активний та індуктивний опори кабельної лінії:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,89 \cdot 0,289 = 0,257 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,095 \cdot 0,289 = 0,027 \text{ Ом}$$

Параметри інших кабельних ліній напругою 10 кВ наведено в табл. 6.1.1.

Результуючі активний, індуктивний та повний опори до точки К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 2,419 + 0,027 = 2,446 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,61 + 0,257 = 0,867 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,867^2 + 2,446^2} = 2,595 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1.1 - Параметри кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	l, км	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	R, Ом	X, Ом
1	4,027	0,258	0,081	0,519	0,163
2,3	0,289	0,890	0,095	0,257	0,027
4,5	0,070	0,890	0,095	0,062	0,007
6,7	0,180	0,620	0,090	0,112	0,016
8,9	0,015	0,890	0,095	0,013	0,001
10,11	0,126	0,890	0,095	0,112	0,012

Надперехідний струм в точці К2:

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

$$I_{K2}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,595} = 2,34 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К2:

$$T_a = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{2,446}{314 \cdot 0,867} = 0,009 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точці К2:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,009}} = 1,329$$

Ударний струм в точці К2:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,329 \cdot 2,34 = 4,4 \text{ кА}$$

Активний та індуктивний опори цехового трансформатора ТП1 (ТМ-630/10):

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

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

Результуючі активний, індуктивний та повний опори до точки К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (2,446 + 9,625) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0175 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,867 + 1,806) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0039 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0039^2 + 0,0175^2} = 0,0179 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точці К3:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0179} = 12,9 \text{ кА}$$

Стала часу в точці К3:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0175}{314 \cdot 0,0039} = 0,0143 \text{ с}$$

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

Ударний коефіцієнт в точці КЗ:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0.0143}} = 1,497 \text{ c}$$

Ударний струм в точці КЗ:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,497 \cdot 12,9 = 27,31 \text{ кА}$$

Струми к. з. для інших точок системи електропостачання підприємства розраховуються аналогічно. Результати даного розрахунку наведено в табл. 6.1.2.

Таблиця 6.1.2. Результати розрахунку струмів к. з. в системі електропостачання промислового підприємства

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	I _к '', кА	T _а , с	k _{y∂}	i _{y∂} , кА
1	0,6100	2,4190	2,43	0,0126	1,452	4,99
2	0,8670	2,4460	2,34	0,0090	1,329	4,40
3	0,0039	0,0175	12,90	0,0143	1,497	27,31
4	0,6720	2,4260	2,41	0,0115	1,419	4,84
5	0,0036	0,0175	12,90	0,0155	1,525	27,82
6	0,7220	0,6260	6,34	0,0028	1,028	9,22
7	0,0037	0,0149	15,00	0,0128	1,458	30,93
8	0,7350	0,6270	6,27	0,0027	1,025	9,09
9	0,0037	0,0149	15,00	0,0128	1,458	30,93
10	0,7220	2,4310	2,39	0,0107	1,393	4,71
11	0,0037	0,0175	12,90	0,0151	1,516	27,66
12	0,6140	2,4200	2,43	0,0126	1,452	4,99

6.2. Технічний вибір та перевірка високовольтних кабельних ліній

Згідно з ПУЕ [2] переріз струмопроводів > 1 кВ слід вибирати за тривало допустимою силою струму з урахуванням очікуваного (можливого) зростання навантажень. Нижче наведено розрахунок з вибору кабельної лінії КЛІ.

Розрахунковий струм кабельної лінії КЛІ:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1011,2}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 27,8 \text{ кА}$$

Обираємо до встановлення кабель марки ААШв-10(3х35).

Перевірка КЛ за допустимим струмовим навантаженням:

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					43

$$I_p = 27,8 \text{ A} \leq K_n \cdot I_p = 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ A}$$

Перевірка КЛ при виборі за умови в аварійному режимі:

$$I_{ав} = 55,6 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_p = 1,35 \cdot 1 \cdot 115 = 155,25 \text{ A}$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_{\kappa} = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 2,43^2 \cdot (1,365 + 0,0126) = 8,13 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ при виборі за умови термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \sqrt{15,54 \cdot 10^3} = 41,94 \text{ мм}^2$$

Результати розрахунків із вибору інших КЛ наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Зведені результати розрахунків та вибору заводських КЛ 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	F _{ек} , мм ²	B _κ , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабеля	I _{доп} , А	K _n	K _n I _{доп} , А	K _{ан}	K' _n	K _{ан} K' _n I _{доп} , А
1	2	3708,16	101,95	203,9	84,96	8,13	30,33	2 х ААШВ-10(3х120)	240	0,9	216	1,35	1	324
2,3	2	1011,2	27,8	55,6	23,17	8,13	30,33	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
4,5	1	502,95	27,66	-	23,05	8,13	30,33	1 х ААШВ-10(3х35)	115	1	115	-	1	-
6,7	2	1848,88	50,83	101,66	42,36	8,13	30,33	2 х ААШВ-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
8,9	2	924,44	25,42	50,84	21,18	8,13	30,33	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25
10,11	2	972,64	26,74	53,48	22,28	8,13	30,33	2 х ААШВ-10(3х35)	115	0,9	103,5	1,35	1	155,25

6.3 Верифікація комутаційних апаратів високої напруги за умовами стійкості

В даному розділовому підпункті випускної роботи було проведено вибір електричних апаратів високої напруги 10 кВ, а саме: високовольтних вимикачів напругою 10 кВ, роз'єднувачів напругою 10 кВ; розрядників та ОПН. Розрахунки проводились згідно методики, описаної в [1]. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ наведено в табл. 6.3.1. Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактів вимикача:

$$\tau = t_{p.з.min} + t_{c.в} = 1,0 + 0,042 = 1,042 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактів:

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

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,43 \cdot e^{\frac{-1,042}{0,0126}} = 0 \text{ кА}^2\text{с}$$

Таблиця 6.3.1 - Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номін. струм	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$214,3 \leq 630$
Відключаюча здатність:		
- симетричний струм	$I''_{K0} \leq I_{дин.ст}$	$2,43 \leq 20$
- асиметрична складова	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,43 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,44 \leq 39,6$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,43 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$4,99 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$6,23 \leq 1200$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{пз.мах} + T_a) = 2,43^2 \cdot (0,042 + 1,0 + 0,0126) = 6,23 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У1.

Результати вибору секційного вимикача напругою 10 кВ наведено в табл. 6.3.3

Таблиця 6.3.3. Результати вибору секційного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номінальний стр	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$107,16 \leq 630$
Відключаюча здатність:		
- симетричний струм	$I''_{K0} \leq I_{дин.ст}$	$2,43 \leq 20$
- асиметрична складова	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм	$\sqrt{2} I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,43 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,44 \leq 39,6$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,43 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$4,99 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$3,27 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактів:

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

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактів:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,43 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0126}} = 0,0 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 2,43^2 \cdot (0,042 + 0,5 + 0,0126) = 3,27 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Таким чином, обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630 У2.

Результати вибору відхідних КЛ до ТП аведено в табл. 6.3.4.

Таблица 6.3.4. Результаты выбора відхідних КЛ до ТП.

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
Номинальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$58,38 \leq 630$
Відключаюча здатність:		
- симетричний струм	$I''_{K0} \leq I_{дин.ст}$	$2,43 \leq 20$
- асиметрична складова	$i_{ат} \leq \sqrt{2} \beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 11,31$
- повний струм	$\sqrt{2} I''_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2} I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 2,43 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,44 \leq 39,6$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,43 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст.}$	$4,99 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$0,91 \leq 1200$

Найменший час від моменту початку к. з. до моменту розходження контактів вимикача:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,1 + 0,042 = 0,142 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму к. з. для моменту розходження контактів:

$$i_{ат} = \sqrt{2} I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,43 \cdot e^{\frac{-0,142}{0,0126}} = 0 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 2,43^2 \cdot (0,042 + 0,5 + 0,0126) = 0,91 \text{ кА}^2 \text{с}$$

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

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач типу ВР1-10-20/630У2.
Технічні дані ВР1-10-20/630 У2 наведено в табл. 6.3.2.

Результати вибору вимикачів навантаження приведені у таблиці 6.3.4.

Таблиця 6.3.4. Результати вибору вимикачів навантаження.

Параметр роз'єднувача	Умови вибору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$0 \leq 400$
Динамічна стійкість:		
- симетричний струм	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$2,43 \leq 10$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$4,99 \leq 25, 46$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$0,66 \leq 100$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I^2 (t_{пз.мах} + T_a) = 2,43^2 \cdot (2 + 0,0126) = 0,6 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо до встановлення вимикач навантаження типу ВНР-10/400-10зУЗ.

Проведемо вибір плавких запобіжників для захисту ТП від струмів к.з.

Таблиця 6.3.6. Результати вибору запобіжників 10,5 кВ.

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$J_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 10,5$
Номінальний струм п.в.	$2I_{т.ном} \leq I_{п.в.}$	$84,86 \leq 100$
Чутливість захисту	$\epsilon_q = \frac{I_{к.з.мин}}{I_{п.в}} \geq 3$	$\frac{2430}{100} = 24,3 \geq 3$
Відключаюча здатність	$r_{к.з.}^{(3)} \leq I_{п.відкл.}$	$2,43 \leq 12,5$

Обираємо для встановлення запобіжник типу ПКТ103-10-100-12,5УЗ.
Результати розрахунку електричного навантаження ТВП (ЦРП) наведено в табл. 6.3.7.

Таблиця 6.3.7 Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ квар
1	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	16	9,6	0,97	0,25	6	2
2	Опалення та освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							60	17

Сумарне встановлене навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{63,6^2 + 17^2} = 65,83 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 65,83 = 52,66 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 трансформатори власних потреб типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження ТВП:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{52,66}{2 \cdot 40} = 0,66$$

6.4. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

В табл. 6.4.1 наведено результати розрахунку параметрів по вибору трансформаторів струму, що встановлюються на вводах 10 кВ і призначені для приєднання приладів релейного захисту та комерційного обліку.

Таблиця 6.4.1. Результати розрахунку параметрів по вибору трансформаторів струму на вводах 10 кВ.

№	Параметр ТС	Умова вибору	Розрахунок
1	Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$214,3 \leq 300$
3	Динамічна стійкість	$i_{уд} \leq i_{дин} = \sqrt{2} k_{ед} I_{1ном}$	$4,99 \leq 52$
4	Термічна стійкість	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$6,23 \leq 768$
5	Вторинне навантаження	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,35 \leq 0,4$

Опір приладів, що послідовно приєднані до вторинних кіл ТС, Ом:

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{ном}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо до встановлення трансформатор струму ТЛК-10/300 У1. Результати розрахунку вторинного навантаження ТС на вводах 10 кВ наведено в табл. 6.4.3.

Таблиця 6.4.3. Результати розрахунку вторинного навантаження ТС

Назва обладнання	Тип	S _{прил} , ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1		0,1
Прилад обліку	Меркурій 230ART2	4		4
Всього на вводі		4,1		4,1

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

Опір проводів, при яких ТС буде працювати в заданому класі точності, Ом:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Переріз проводів, мм²:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{0,14} = 4,04$$

Обираємо до встановлення контрольний кабель типу АКРВГ-6.

Опір контрольного кабелю, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{6} = 0,09$$

Вторинне навантаження трансформатора струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,09 + 0,1 = 0,35$$

В табл. 6.4.4. і 6.4.5 наведено результати розрахунку параметрів по вибору трансформаторів струму, що встановлюються на відгалуженнях 10 кВ і призначені для приєднання приладів релейного захисту та комерційного обліку.

Таблиця 6.4.4. Вибір трансформаторів струму на відхідних КЛ 10 кВ.

№	Параметр ТС	Умова вибору	Розрахунок
1	Номінальна напруга	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	$10 \leq 10$
2	Довготривалий номінальний струм	$I_{\text{роб.форс}} \leq I_{\text{ном}}$	$58,38 \leq 200$
3	Динамічна стійкість	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = \sqrt{2} k_{\text{ед}} I_{1\text{ном}}$	$4,99 \leq 52$
4	Термічна стійкість	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	$6,23 \leq 300$
5	Вторинне навантаження	$Z_2 \leq Z_{\text{ном}}$	$0,32 \leq 0,4$

Таблиця 6.4.5. Розрахунок вторинного навантаження ТС на відхідних КЛ 10кВ

Назва обладнання	Тип	$S_{\text{прил}}$, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Ватметр	Д335	0,5	-	0,5
Варметр	Д304	0,5	-	0,5
Амперметр	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник	СА3У-5009 АТ «Інкотекс-Україна»	1,5	-	1,5
Лічильник	СР4У-5003 АТ «Інкотекс-Україна»	1,5	-	1,5
Всього		4,1		4,1

Опір приладів, що послідовно приєднані до вторинних кіл ТС, Ом:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4,1}{5^2} = 0,16$$

Обираємо до встановлення трансформатор струму ТЛК-10/200 У1.

Опір проводів, при яких ТС буде працювати в заданому класі точності:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,16 - 0,1 = 0,14 \text{ Ом}$$

Переріз проводів:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{0,14} = 2,43$$

Обираємо до встановлення контрольний кабель типу АКРВГ-2,5.

Опір контрольного кабелю, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 12}{2,5} = 0,06$$

Вторинне навантаження трансформатора струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,16 + 0,06 + 0,1 = 0,32$$

Проводимо трансформатори напруги та зводимо до таблиці 6.4.7.

Таблиця 6.4.7. Результати розрахунку вторинного навантаження трансформатора напруги

Прилад	Тип	S, ВА	К-сть обмоток	К-сть прил.	S _{2□} , ВА
Вольтметр	Е 377	2	1	1	2
Лічильник «Альфа»	AIR-3-OL-C2-T	1,8	2	1	3,6
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230ART2	3	2	2	12
Багатофункц. лічильн.	Меркурій 230AR	3	2	2	12
Всього					33,1

Приймаємо до встановлення два трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-У3

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

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ВПРОВАДЖЕННЯ БІОПАЛИВНОГО КОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ ЛУШПИННЯ СОНЯШНИКУ.

7.1. Обґрунтування використання лушпиння соняшнику як енергетичного ресурсу заводу з виготовлення РО та Ж

Олійноекстракційне виробництво генерує значну кількість вторинних відходів - лушпиння соняшнику, яке має високу теплотворну здатність (21,0–21,8 МДж/кг для брикетів). Енергетичний потенціал відходів соняшнику в Україні оцінюється в 1,72 млн т у.п./рік. Використання власної сировини для опалення та ГВП дозволяє реалізувати закритий цикл виробництва та мінімізувати залежність від зовнішніх енергоносіїв.

Лушпиння соняшнику є побічним продуктом ОЕЗ, обсяг якого складає до 15-20% від загальної маси переробленого насіння. Елементарний склад горючої маси лушпиння ($C = 50,9\%$, $H = 6,1\%$, $O = 41,9\%$, $N = 0,8\%$, $S = 0,3\%$) забезпечує високу питому теплоту згоряння.

7.1.1. Теплотехнічні характеристики палива

Нижча теплота згоряння лушпиння соняшнику в брикетах та пелетах (Q_H^p) значно перевищує показники деревини та наближається до бурого вугілля:

Таблиця 7.1.1 - Фізико-хімічні показники біопалива з відходів соняшнику

Параметр	Одиниця виміру	Лушпиння (сире)	Пелети	Брикети
Вологість (W^p)	%	12-20	6-8	6-8
Зольність (A^p)	%	2,5-3,5	0,5-1,5	0,5-1,5
Теплота згоряння (Q_H^p)	МДж/кг	12,5-14,0	18,5-20,0	21,0-21,8

7.1.2. Технологічна лінія виробництва паливних пелет та брикетів

Для забезпечення потреб котельні та реалізації надлишків палива на продаж, на заводі впроваджується лінія пелетування.

Таблиця 7.1.2 - Технічні характеристики біопалива з лушпиння соняшнику

Вид палива	Вологість, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст золи, %
Лушпиння (стебла)	20	12,5	1,5–3,0
Брикети з лушпиння	6–8	21,0–21,8	0,5–1,0
Пелети з лушпиння	6–8	18,5–20,0	0,5–1,0

7.1.3. Технологічна послідовність виготовлення пелет з лушпиння соняшнику

Виробничий процес виготовлення паливних пелет з лушпиння соняшнику на ОЕЗ організовується у вигляді безперервної технологічної лінії продуктивністю 171 т/добу. Послідовність операцій та основні параметри кожного етапу наведені на рисунку 7.1.

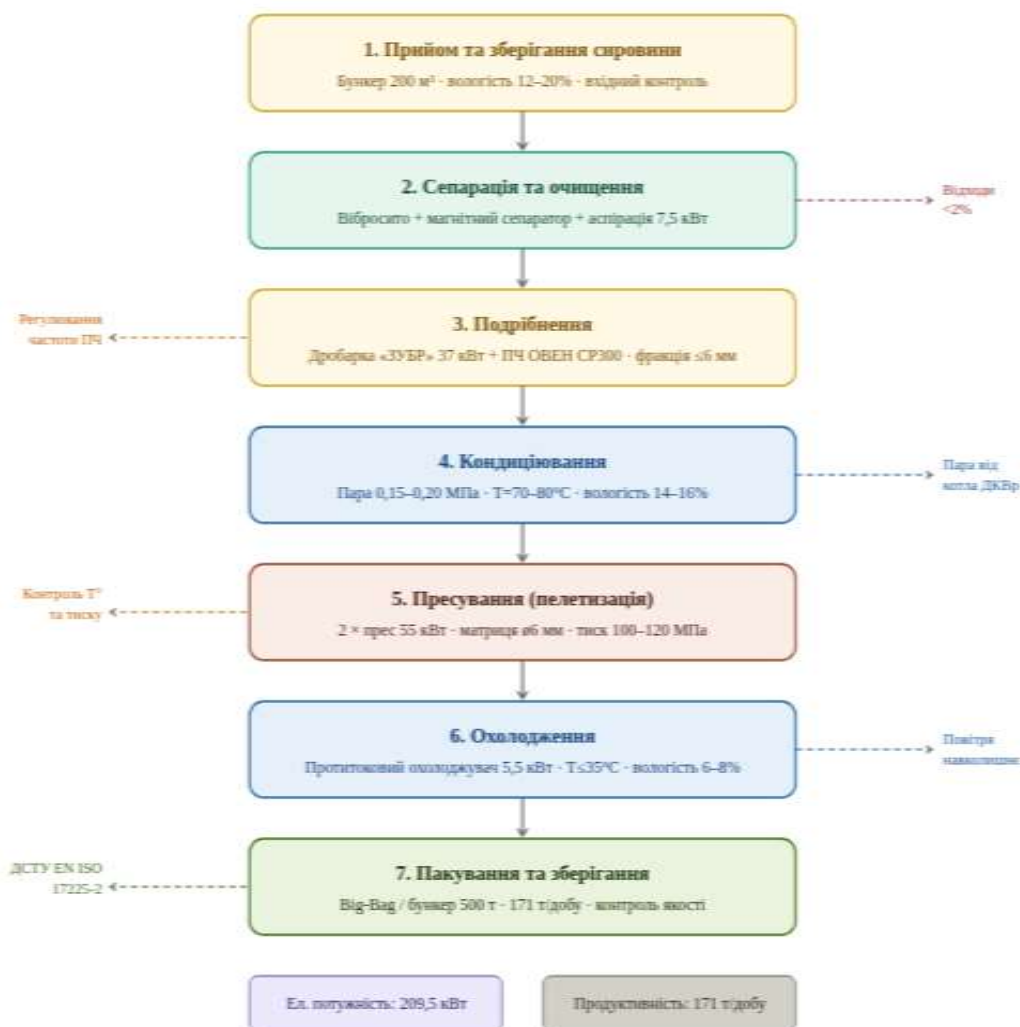


Рисунок 7.1 - Технологічна послідовність виготовлення пелет з лушпиння соняшнику на ОЕЗ

Етап 1. Прийом та зберігання сировини. Лушпиння соняшнику надходить з виробничих цехів екстракції та пресування конвеєрними системами у бункер-накопичувач ємністю 200 м³. Початкова вологість складає 12–20%. Виконується вхідний контроль вологості та зольності відповідно до ДСТУ EN ISO 18134.

Етап 2. Сепарація та очищення. Сировина подається на вібраційний сепаратор для видалення металевих включень (магнітний сепаратор) та механічних домішок. Аспіраційна установка 7,5 кВт забезпечує видалення пилу. Відходи сепарації (< 2%) утилізуються.

Етап 3. Подрібнення. Подрібнення виконується на молотковій дробарці «ЗУБР» потужністю 37 кВт, обладнаній частотним перетворювачем ОВЕН СР300. Розмір фракції — не більше 6 мм. Питоме енергоспоживання:

$$w_{\text{дроб}} = W_{\text{дроб}} / M_{\text{пел}} = (37 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ год}) / (171/24 \text{ т}) = 5,19 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$$

Етап 4. Кондиціювання. Подрібнена маса насичується парою від котла ДКВр-6,5-13 (тиск 0,15–0,20 МПа), температура підвищується до 70–80°C, вологість - 14–16%. Пара активує лігнін лушпиння (природний зв'язувальний компонент). Витрата пари на кондиціювання:

$$D_{\text{кон}} = c_m \cdot M_{\text{пел}} \cdot \Delta T / (r_{\text{пар}} \cdot \eta) = 0,95 \cdot 7,13 \cdot (75-20) / (2\,256 \cdot 0,92) \approx 0,18 \text{ т} / \text{год}$$

Етап 5. Пресування (пелетизація). Основний агрегат лінії - пелетний прес з циліндричною матрицею ø6 мм, потужністю 55 кВт. Встановлено 2 преси. Тиск пресування 100–120 МПа, температура матриці 90–110°C. Питома витрата електроенергії:

$$w_{\text{прес}} = 2 \cdot 55 \text{ кВт} / ((3,75 + 3,75) \text{ т} / \text{год}) = 14,67 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т пелет}$$

Етап 6. Охолодження. У протитоковому охолоджувачі (5,5 кВт) за 15–20 хвилин температура пелет знижується до $T \leq 35^\circ\text{C}$, вологість досягає нормативного рівня 6–8%. Повітря нагнітається вентилятором протитоком до руху пелет.

Етап 7. Пакування та зберігання. Готові пелети просіюються (видалення фракції < 3 мм) та зважуються на ваговому дозаторі (похибка $\leq \pm 0,5\%$). Пакування у Big-Bag по 1 000 кг або бункерне зберігання. Склад місткістю 500 т - 3-добовий запас. Загальна продуктивність 171 т/добу при двозмінній роботі 24 год/добу.

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

7.2. Проектування технологічної лінії виробництва пелет та брикетів

Для власного споживання та реалізації палива розроблено схему цеху гранулювання.

7.2.1. Розрахунок продуктивності лінії

Продуктивність лінії (M_{pel}) визначається за масовим балансом відходів:

$$M_{pel} = M_{seed} \cdot k_{hull} \cdot (1 - \eta_{loss}), [т/добу]$$

де: M_{seed} - добова потужність заводу за насінням (1000 т/добу);

k_{hull} - коефіцієнт виходу лущиння (0,18);

η_{loss} - технологічні втрати (0,05).

$$M_{pel} = 1000 \cdot 0,18 \cdot 0,95 = 171 \text{ т/доб}$$

7.2.2 Вибір та тепловий розрахунок котельного агрегату

Для модернізації системи теплопостачання обрано паровий котел ДКВр-6,5-13, оснащений циклонним передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер». Розрахунок горіння та витрати палива. Нижча теплота згоряння робочої маси пелет $Q_H^p = 15810$ кДж/кг. Розрахункова витрата палива для забезпечення паропроductивності 6,5 т/год:

$$B = \frac{D \cdot (H_n - H_{zv}) + D_{pr} \cdot (H_k - H_{zv})}{Q_H^p \cdot \eta} \cdot 100$$

За розрахунками, витрата розрахункового палива становить **2,7 кг/с**. Розрахунковий ККД агрегату при спалюванні пелет - 87,6%. Для модернізації котельні прийнято котел ДКВр-6,5-13, оснащений твердопаливним передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер».

7.2.3. Розрахунок процесу горіння

1. Нижча теплота згоряння робочої маси:

$$Q_H^p = 338 \cdot C^p + 1025 \cdot H^p - 108,5 \cdot (O^p - S^p) - 25 \cdot W^p = 15810 \text{ кДж/кг}$$

2. Теоретичний об'єм повітря:

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p \approx 9,4 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

3. Ентальпія продуктів згорання:

$$H_g = V_{RO_2} \cdot (c\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2} \cdot (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O} \cdot (c\vartheta)_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0 \cdot (c\vartheta)_{air}$$

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

Таблиця 7.2. Ентальпії продуктів згорання в газоходах котла

Температура, °C	$V^0=9,43$	H_{RO_2}	H_{N_2}	H_{H_2O}	H_g (кДж/кг)
100	1338	258	1041	217	1518
500	6935	1523	5319	1145	7989
1000	14561	3369	11168	2489	17026

7.3. Схемне рішення виробництва біопалива та його інтеграція в систему енергопостачання заводу з виготовлення РО та Ж

Запропоноване схемне рішення реалізує концепцію «замкненого циклу виробництва»: відходи основного виробництва (лушпиння) перетворюються на паливо, яке забезпечує власні теплові потреби заводу. Структурна схема потоків біомаси, тепла та електричної енергії наведена на рисунку 7.2.

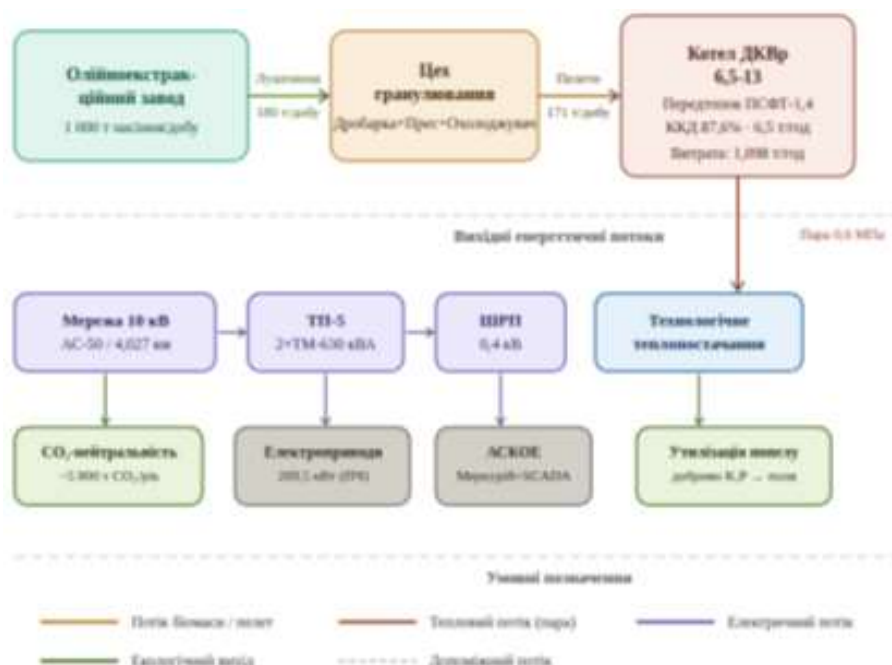


Рисунок 7.3 - Схемне рішення виробництва біопалива з лушпиння соняшнику та його інтеграція в систему електро- і тепlopостачання ОЕЗ .

Схема охоплює чотири взаємопов'язані підсистеми: підсистему виробництва біопалива (цех гранулювання), підсистему теплогенерації (котельня ДКВр-6,5-13), підсистему електропостачання (ТП-5, 0,4 кВ) та підсистему моніторингу (АСКОВ).

Баланс потоків:

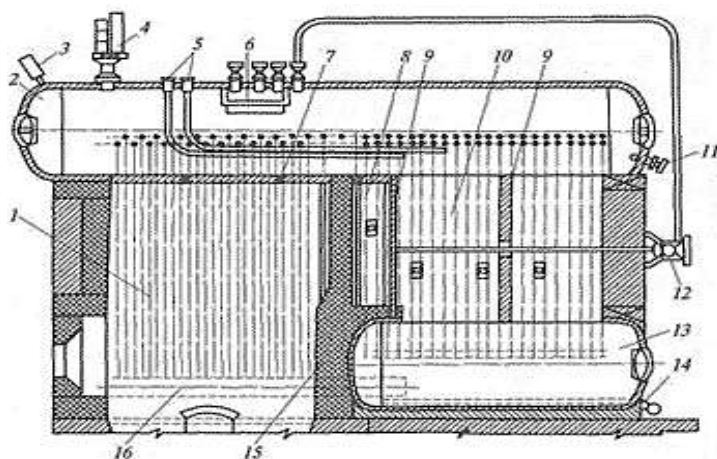
$$M_{\text{насіння}} = 1000 \text{ т/добу} \rightarrow M_{\text{лушп}} = 180 \text{ т/добу (18\%)} \rightarrow M_{\text{пелет}} = 171 \text{ т/добу (95\% виходу)}$$

$$B_{\text{спал}} = 2,7 \text{ кг/с} = 233 \text{ т/добу; надлишок 62 т/добу - сире лушпиння у резервний бункер котельні}$$

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

7.4. Конструктивна схема та теплові розрахунки котла ДКВр-6,5-13

Для теплопостачання заводу обрано двобарабанний паровий котел ДКВр-6,5-13 з природною циркуляцією, оснащений циклонним передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер». Конструктивна схема котла ДКВр-6,5-13 з циклонним передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер» для спалювання пелет з лущиння соняшнику наведена на рисунку 7.3.



1-топкова камера; 2-верхній барабан; 3-манометр; 4-запобіжний клапан; 5-живильні трубопроводи; 6- пристрій сепарації; 7-легкоплавка пробка; 8-камера догорання; 9-перегородка; 10-кип'ятильний пучок труб; 11-трубопровід безперервного продування; 12- пристрій обдування; 13-нижній барабан; 14-трубопровід періодичного продування; 15-цегляна стінка; 16 – колектор

Рисунок 7.4 - Парогенератор ДКВр-6,5-13 з передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер» для спалювання твердого біопалива.

Технічні характеристики котла та передтопка. Котел ДКВр-6,5-13 - двобарабанний з розвиненим конвективним пучком. Основні технічні характеристики: паропродуктивність: $D = 6,5$ т/год; тиск пари: $P = 1,3$ МПа; температура насиченої пари: $t = 190^{\circ}\text{C}$; ККД котлоагрегату: $\eta = 87,57\%$; площа радіаційної поверхні: $N_{\text{рад}} = 37,0$ м²; площа конвективної поверхні: $N_{\text{кон}} = 106,0$ м²; площа економайзера: $N_{\text{екон}} = 58,0$ м².

Передтопок ПСФТ-1,4 «Лідер» - циклонний, горизонтальний, тепла потужність 6,5 МВт. Температура в зоні горіння 900–1050°C. Оптимальний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,10$.

Розрахунок об'єму продуктів згоряння. Теоретичний об'єм повітря для повного згоряння 1 кг пелет ($W_p = 7,5\%$; $A_p = 0,8\%$):

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O_p$$

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

$$V^0 = 0,0889 \cdot (50,9 + 0,375 \cdot 0,3) + 0,265 \cdot 6,1 - 0,0333 \cdot 41,9 = 9,40 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм тридатовних газів, азоту та водяної пари:

$$VRO_2 = 0,01866 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) = 0,01866 \cdot 51,01 = 0,952 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{N_2}^r = 0,79 \cdot V^0 + 0,008 \cdot N_p = 0,79 \cdot 9,40 + 0,008 \cdot 0,8 = 7,430 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O}^r = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0 = 0,111 \cdot 6,1 + 0,093 + 0,151 = 0,921 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V^0 = VRO_2 + V_{N_2}^r + V_{H_2O}^r = 0,952 + 7,430 + 0,921 = 9,303 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Дійсний об'єм продуктів згоряння при $\alpha = 1,10$:

$$V^r = V^0 + (\alpha - 1) \cdot V^0 = 9,303 + 0,10 \cdot 9,40 = 10,243 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Ентальпія продуктів згоряння та тепловий баланс. Ентальпії продуктів згоряння по газоходах котла для різних температурних рівнів наведені у табл. 7.411.

Таблиця 7.4.1 - Ентальпії складових продуктів згоряння в газоходах котла ДКВр-6,5-13

$T, ^\circ\text{C}$	$HRO_2,$ кДж/кг	$HN_2,$ кДж/кг	$HH_2O,$ кДж/кг	$H_{новім},$ кДж/кг	$H_2 (\alpha=1,10),$ кДж/кг
100	258	1 041	217	1 338	1 518
200	530	2 099	441	2 688	3 062
300	816	3 168	672	4 052	4 618
500	1 523	5 319	1 145	6 935	7 989
700	2 263	7 530	1 648	9 847	11 416
1 000	3 369	11 168	2 489	14 561	17 026
1 200	4 150	13 600	3 098	17 900	20 880

Тепловий баланс котлоагрегату. Корисно використана теплота:

$$Q_{кор} = D \cdot (h_n - h_{жв}) = 1,806 \cdot (2\,782 - 445) = 4\,222 \text{ кДж/с} = 4\,222 \text{ кВт}$$

де $h_n = 2\,782 \text{ кДж/кг}$ - ентальпія насиченої пари при $P = 1,3 \text{ МПа}$; $h_{жв} = 445 \text{ кДж/кг}$ - ентальпія живильної води при $T = 105^\circ\text{C}$.

Розрахункова витрата палива:

$$B_p = Q_{кор} / (Q_H^p \cdot \eta) = 4\,222 / (15\,810 \cdot 0,8757) = 0,305 \text{ кг/с} = 1,098 \text{ т/год}$$

Перевірка паропроодуктивності:

$$D_{пар} = B_p \cdot Q_H^p \cdot \eta / (h_n - h_{жв}) = 0,305 \cdot 15\,810 \cdot 0,8757 / (2\,782 - 445) = 1,806 \text{ кг/с} = 6,50 \text{ т/год}$$

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

Таблиця 7.4.2 - Тепловий баланс котла ДКВр-6,5-13 по поверхнях нагріву

Поверхня нагріву	Вх. Т газів, °С	Вих. Т газів, °С	Теп. потік, кВт	Частка, %
Топкова камера (радіаційна)	950	650	1 840	40,0
Конвективний пучок I	650	400	1 150	25,0
Конвективний пучок II	400	250	690	15,0
Економайзер (живильна вода)	250	110	643	14,0
Теплові втрати ($q_2+q_3+q_5$)	—	—	274	6,0
РАЗОМ (корисна теплота)	—	—	4 323	94,0

Теплові втрати та ККД котла. Розрахунок ККД котла за зворотним балансом:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) = 100 - (9,4 + 0,5 + 0,00 + 2,50 + 0,00) = 87,57\%$$

Таблиця 7.4.3-Результати розрахунку теплових втрат та ККД котла ДКВр-6,5-13

Стаття теплових втрат	Позн.	Значення, %	Норма, %	Оцінка
Втрати з відхідними газами	q_2	9,43	≤ 10	✓
Від хімічного недопалу	q_3	0,50	$\leq 1,0$	✓
Від механічного недопалу	q_4	0,00	$\leq 0,5$	✓
Від зовнішнього охолодження	q_5	2,50	$\leq 3,0$	✓
З теплом шлаку	q_6	0,00	—	✓
ККД котлоагрегату η	η	87,57	$\geq 85,0$	✓

7.5. Розрахунок енергоефективності та ККД агрегату

ККД парогенератора визначається за зворотним балансом:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), [\%]$$

де: q_2 - втрати з димовими газами (9,43%); q_3 - втрати від хімічного недопалу (0,5%); q_5 - втрати в навколишнє середовище (2,5%).

$$\eta = 100 - (9,43 + 0,5 + 2,5) = 87,57 \%$$

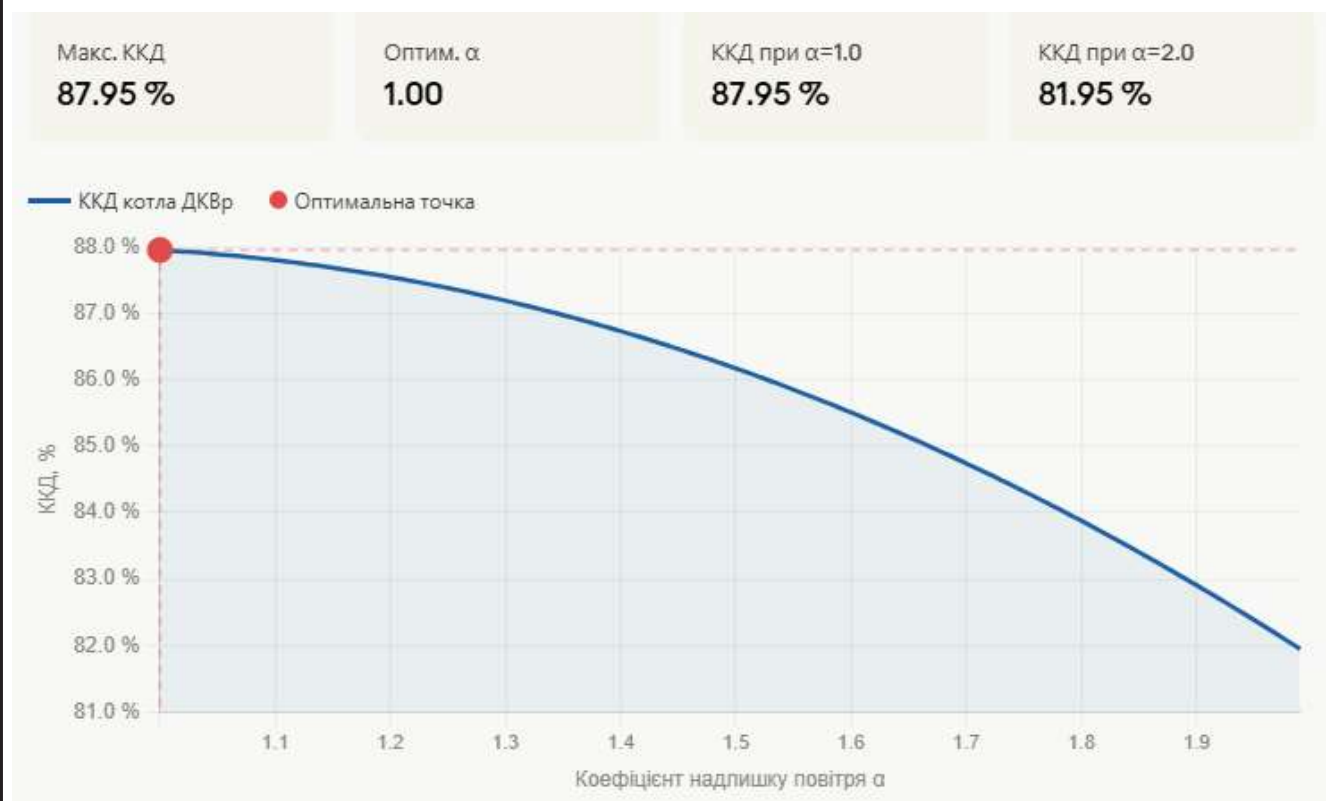


Рисунок 7.5 - Залежність ККД котла від коефіцієнта надлишку повітря α

Оптимальний $\alpha \approx 1,10$ - саме тут ККД котла ДКВр досягає максимуму (~87,8 %). Це відповідає мінімальній функції втрат у вашій моделі.

При $\alpha < 1,1$ - ККД знижується через нестачу повітря (неповне згоряння палива). При $\alpha > 1.1$ - ККД монотонно падає через надлишок повітря, який охолоджує топку та втрапляє з димовими газами. При $\alpha = 2,0$ ККД падає приблизно до ~83,6 % — втрати становлять близько 4 процентних пунктів відносно оптимально.

7.6. Енергозбереження та порівняльний аналіз видів опалення

Впровадження твердопаливного агрегату порівняно з базовим варіантом (природний газ) дає суттєвий економічний ефект. Для автоматизації вибору режимів та візуалізації графіків спалювання, пропонується наступний рисунок 7.6 Точка беззбитковості настає між 1 і 2 роками експлуатації - приблизно на позначці ~1,87 року після запуску. Рік 1 - ще збитковий (– 1 668 307 грн), бо капіталовкладення (3,59 млн грн) перебивають річну економію. Починаючи з 2 року - накопичений ефект стає позитивним і зростає приблизно на 1 926 351 грн щороку. До кінця 5-го року сукупний ефект сягає ~ 6,04 млн грн.

Таблиця 7.6. Кошторис річних експлуатаційних витрат (порівняння)

Стаття витрат	Газове опалення (базовий)	Біопаливо (проектний)
Вартість палива, грн	13 785 448	11 022 480
Амортизація, грн	-	467 395
Електроенергія на власні потреби, грн	-	127 604
РАЗОМ, грн	13 785 448	11 859 097



Рисунок 7.6 - Схематичне рішення циклонного передтопка

7.7 Розрахунки електронавантаження котельні

Для визначення розрахункового навантаження та вибору перерізів кабелів живлення обладнання котельні будується добовий графік електричного навантаження. Встановлена потужність електроспоживачів котельні: димосос - 11 кВт, вентилятор - 7,5 кВт, насоси підживлення - 2×5,5 кВт, система управління та АСКОВЕ - 2 кВт. Загальна встановлена потужність: $P_{вст} = 31,5$ кВт. Розрахункова активна потужність з урахуванням коефіцієнта попиту ($K_n = 0,75$) та $\cos\varphi = 0,85$:

$$P_p = K_n \cdot P_{вст} = 0,75 \cdot 31,5 = 23,6 \text{ кВт}; Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 23,6 \cdot 0,62 = 14,6 \text{ квар};$$

$$S_p = P_p / \cos\varphi = 23,6 / 0,85 = 27,8 \text{ кВА}$$

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



Рисунок 7.7.1 - Добовий графік електричного навантаження котельні ОЕЗ

З графіка видно два чітких режими: нічний (0–6 год) з мінімальним навантаженням ~14 кВт та денний робочий режим (7–17 год) з піком 24 кВт.

Коефіцієнт використання обладнання:

$$K_e = W_{\text{доб}} / (P_{\text{вст}} \cdot 24) = 492 / (31,5 \cdot 24) = 0,65.$$

Розподіл встановленої потужності між групами електроприймачів дозволяє визначити пріоритети захисту та резервування в системі електропостачання:



Рисунок 7.7.2 - Порівняльна діаграма встановленої потужності електроспоживачів котельні

Найбільшим споживачем є димосос (34,9% від загальної потужності), що визначає його як пріоритетний об'єкт захисту. Насоси підживлення відносяться до І

категорії надійності електропостачання (безперебійна робота котла), тому передбачається їх живлення від двох незалежних секцій шин ЩУ котельні.

Електротехнічна складова питомих витрат на теплову енергію включає власне споживання електроенергії котельнею. При добовому споживанні $W_{доб} = 492$ кВт·год і тарифі 4,32 грн/кВт·год питомі електровитрати на 1 Гкал тепла складають: $вел = 492 \cdot 4,32 / (6,5 \cdot 0,86 \cdot 24) = 17,8$ грн/Гкал, що враховується в підсумковій таблиці порівняння:

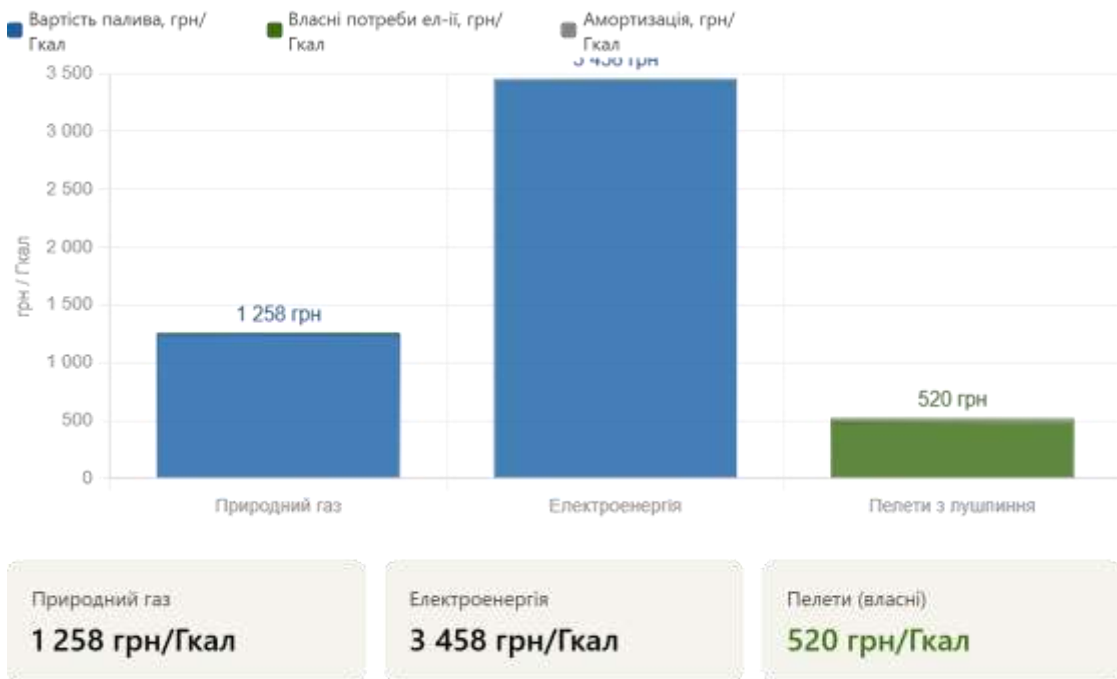


Рисунок 7.7.3 - Порівняння вартості 1 МВт·год теплової енергії за видами палива

З урахуванням власних електричних потреб котельні та амортизаційних відрахувань повна питома вартість 1 Гкал на пелетах складає 520 грн, що у 2,4 рази дешевше газу і у 6,6 рази дешевше електроопалення.

7.8. Електрична схема живлення котельного комплексу

7.8.1 Однолінійна схема живлення котельного комплексу

Котельня (паросилове господарство) підключена до ТП-5 (ТМ-630-10/0,4 кВ, $Kз = 0,72$). Розрахункове навантаження котельні: $S_p = 142,57$ кВА, $P_p = 110,12$ кВт, $Q_p = 90,55$ квар. Захист електроприймачів котельні виконується автоматичними вимикачами серії ВА з уставками, розрахованими за умовою:

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

$$I_{уст} \geq 1,25 \cdot I_n \text{ (для двигунів); } I_{уст} \geq 1,1 \cdot I_n \text{ (для нагрівачів)}$$

Розрахункові струми пускання димососа (АД, 11 кВт, $\cos\varphi = 0,72$): $I_{пуск} = 7 \cdot I_n = 7 \cdot 22,7 = 158,9 \text{ А} \rightarrow$ обрано автомат ВА51-31 з $I_n = 63 \text{ А}$, уставка відсічки $10 \cdot I_n$.

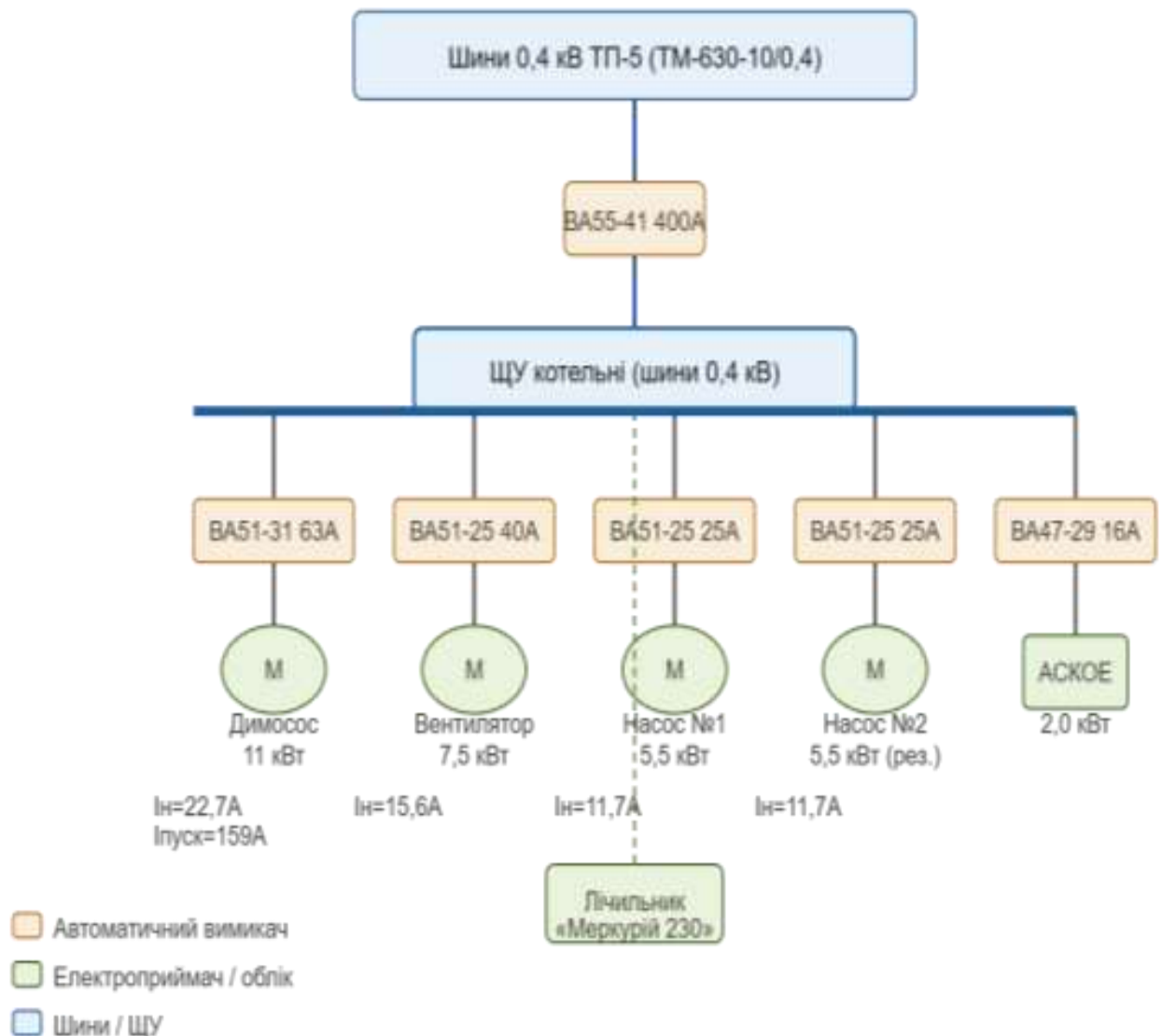


Рисунок 7.8.1 - Однолінійна схема живлення котельного комплексу від ТП-5

7.8.2. Розподіл електричного навантаження між підстанціями заводу

З таблиць розділу 1 БР відомо розрахункове навантаження кожної ТП. Нижче наведена зведена діаграма, яка дозволяє оцінити частку кожної підстанції у загальному балансі потужності заводу ($S_p = 4562,92 \text{ кВА}$).

Найбільш навантаженою є група ТП-3,4 (пресово-віджимні корпуси) - 40% від загального навантаження заводу, що підтверджує доцільність встановлення 4 трансформаторів ТМ-630. ТП-5, до якої підключена котельня, має коефіцієнт завантаження $K_z = 0,72$ - у межах норми $[0,65 \dots 0,75]$ для споживачів II категорії.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	
					63



Рисунок 7.8.2- Розподіл електричного навантаження між підстанціями заводу

7.8.3. Зведений баланс електричної потужності заводу до та після компенсації

Результати розрахунку реактивної потужності (Розділ 4 БР) та впливу біопаливного комплексу на власні потреби відображені нижче. Після встановлення БСК ($Q_{кн} = 2007 \text{ квар} + Q_{кв} = 900 \text{ квар}$) $\cos\varphi$ підвищується з 0,707 до 0,98, що відповідає вимогам ПУЕ:

ΔР економія у мережі 10 кВ від компенсації:

$$\Delta P_{ек} = \frac{Q_{кп} \cdot R_{екв}}{U_{ном}^2} = \frac{2907^2 \cdot 0,18}{10^2} = 15,26 \text{ кВт}$$

Після встановлення батарей статичних конденсаторів (БСК) загальна повна потужність скорочується на 1 463 кВА (28,3%), що дозволяє суттєво розвантажити кабельні лінії та трансформатори, зменшити втрати активної потужності та отримати економічний ефект від зниження плати за реактивну потужність.

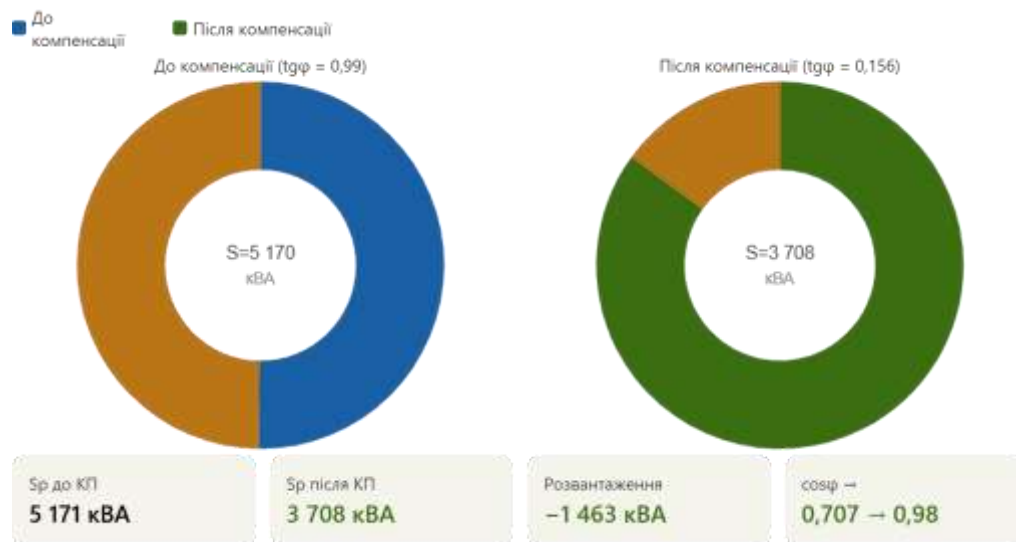


Рисунок 7.8.3 – Розвантаження ТП.

7.9. Частотне регулювання електроприводів котельного комплексу

Основними електроспоживачами котельні є димосос (11 кВт) та вентилятор дуттєвий (7,5 кВт) - обидва працюють зі змінним навантаженням залежно від теплового режиму котла. Встановлення перетворювачів частоти (ПЧ) дозволяє реалізувати квадратичний закон зменшення споживаної потужності:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

де P_1 - потужність при номінальній частоті обертання $n_1=1500$ об/хв; P_2 - потужність при регульованій частоті n_2 .

Розрахунок економії для димососа (11 кВт). При середньому завантаженні котла 75% від номінального, необхідна подача повітря складає 75%, тобто $n_2/n_1 = 0,75$:

$$P_2 = 11 \cdot 0,75^3 = 11 \cdot 0,422 = 4,64 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{дим}} = 11 - 4,64 = 6,36 \text{ кВт (економія 57,8\%)}$$

Аналогічно для вентилятора (7,5 кВт) при $n_2/n_1 = 0,75$:

$$P_2 = 7,5 \cdot 0,75^3 = 3,16 \text{ кВт}; \Delta P_{\text{вент}} = 4,34 \text{ кВт}$$

Річна економія електроенергії (котельня працює 7200 год/рік, середнє завантаження 75%):

$$\Delta W = (\Delta P_{\text{дим}} + \Delta P_{\text{вент}}) \cdot T_{\text{рік}} = (6,36 + 4,34) \cdot 7200 = 77\,040 \text{ кВт/год}$$

$$\Delta C = \Delta W \cdot C_e = 77\,040 \cdot 4,32 = 332\,813 \text{ грн/рік}$$

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

Таблиця 7.9 - Порівняння режимів роботи димососа з ПЧ та без ПЧ (дросельне регулювання)

Режим завантаження, %	n_2/n_1	Р без ПЧ, кВт	Р з ПЧ, кВт	Економія, кВт	Економія, %
100	1,00	11,0	11,0	0,0	0,0
85	0,85	11,0	6,75	4,25	38,6
75	0,75	11,0	4,64	6,36	57,8
60	0,60	11,0	2,38	8,62	78,4
50	0,50	11,0	1,38	9,62	87,5

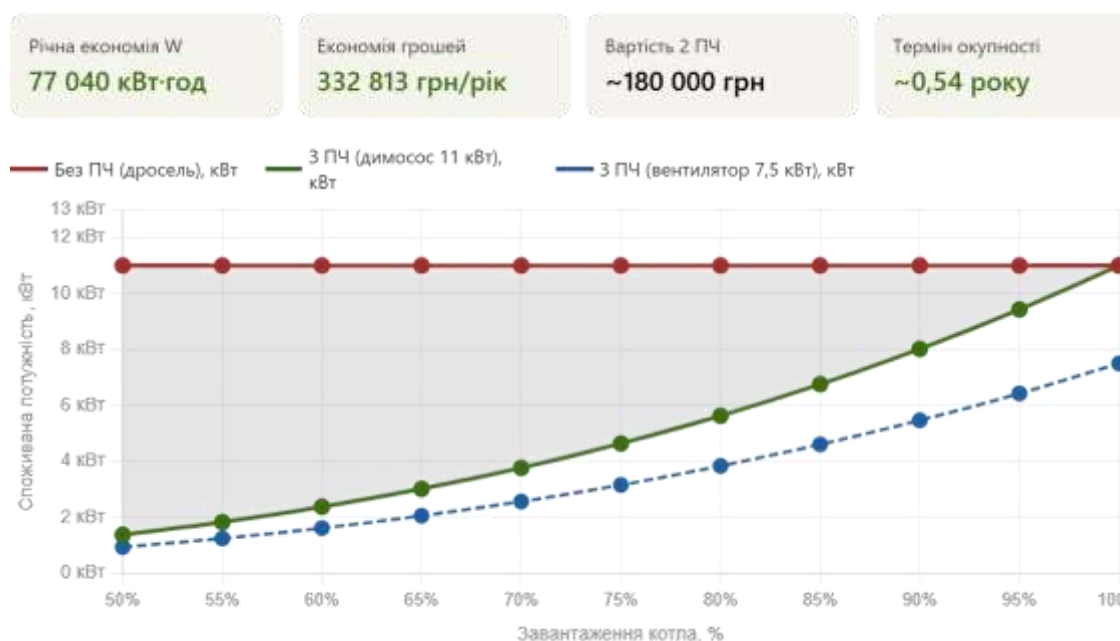


Рисунок 7.9 – Частотне регулювання електроприводів котельного комплексу

Зафарбована зона між кривими - це зекономлена електроенергія завдяки ПЧ. При завантаженні 75% економія по димососу складає 57,8%, що підтверджує доцільність застосування перетворювача частоти типу Danfoss VLT AQUA FC202 (або вітчизняного аналогу INVT GD200A-011-4) з вбудованим ПД-регулятором тиску.

7.10. Система АСКОЕ котельного комплексу

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) котельні будується на базі приладів «Меркурій 230 ART2» та концентратора даних із передачею по RS-485/Modbus RTU.

Таблиця 7.10 - Склад та функції АСКОЕ котельного комплексу ОЕЗ

№	Вузол обліку	Прилад	Клас точності	Параметри, що вимірюються
1	Ввід 0,4 кВ ЩУ котельні	Меркурій 230 ART2	0,5S	P, Q, S, cosφ, U, I, f
2	Димосос (11 кВт)	Меркурій 230 АМ	1,0	P, I, час роботи
3	Вентилятор (7,5 кВт)	Меркурій 230 АМ	1,0	P, I, час роботи
4	Насоси підживлення (2×5,5 кВт)	Меркурій 230 АМ	1,0	P, I, час роботи
5	Лінія гранулювання	Меркурій 230 ART2	0,5S	P, Q, W, cosφ
6	Концентратор даних	УСПД RTU-325	—	Архів, передача TCP/IP

Питомі витрати електроенергії на виробництво 1 т пелет (розрахунок):

$$w_{num} = W_{л.г.} / M_{pel} = 127\,604 / (171 \cdot 330) = 127\,604 / 56\,430 = 2,26 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$$

де $W_{л.г.} = 127\,604 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ - річне споживання лінії гранулювання;

$$M_{pe} = 171 \text{ т/добу} \cdot 330 \text{ діб} = 56\,430 \text{ т/рік}.$$

Показник питомих витрат дозволяє контролювати ефективність лінії в режимі реального часу через АСКОЕ та оперативно виявляти відхилення від норми.

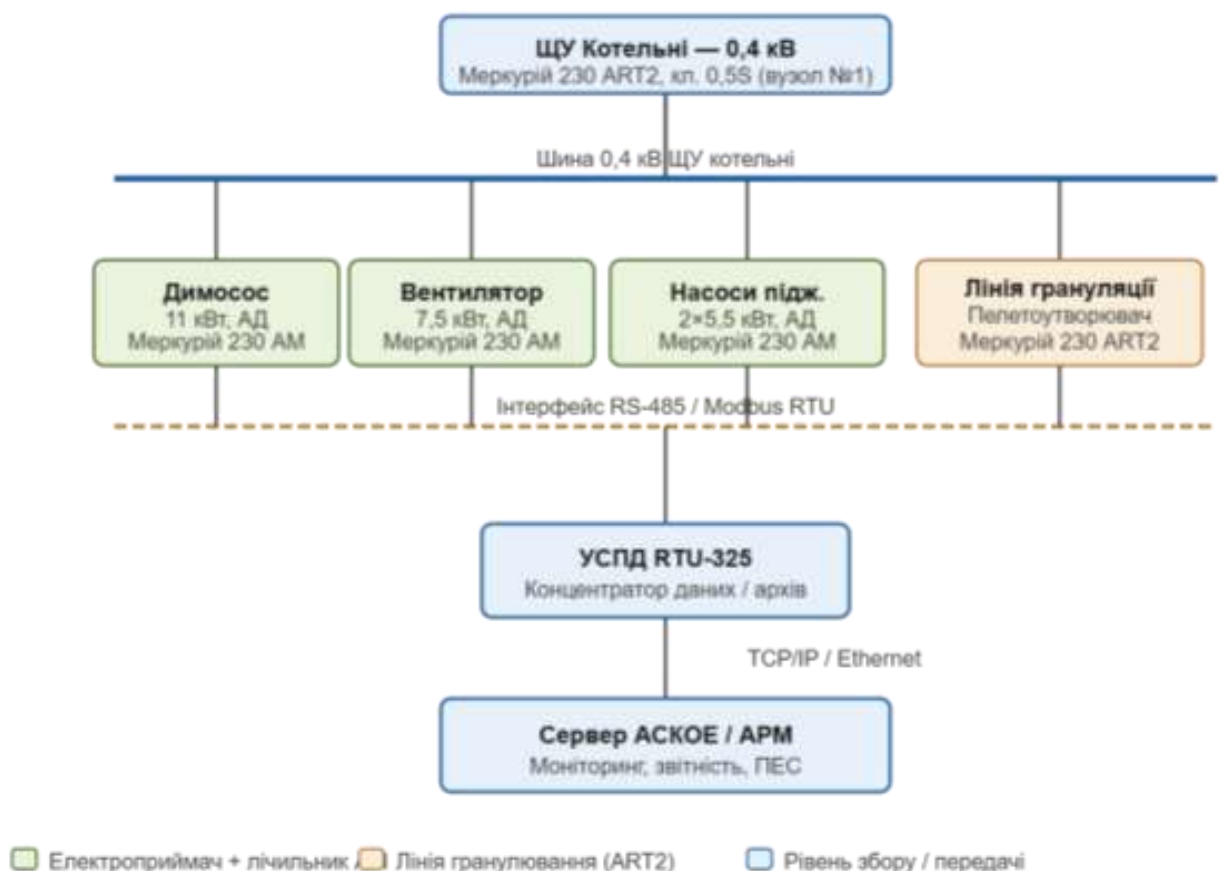


Рисунок 7.10 - Структурна схема АСКОЕ котельного комплексу ОЕЗ

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	67

7.11. Зведений енергетичний баланс котельного комплексу

Інтегральна оцінка ефективності всіх впроваджених заходів (ПЧ + АСКОЕ + біопаливо) відображається через зведений енергетичний баланс:

Таблиця 7.11- Зведений баланс енергозберігаючих заходів котельного комплексу

№	Захід	Капітальні витрати, грн	Річна економія, грн	Термін окупності, рік
1	Переведення на біопаливо (пелети)	3 594 658	1 926 351	1,87
2	ПЧ на димосос (11 кВт)	95 000	198 288	0,48
3	ПЧ на вентилятор (7,5 кВт)	75 000	134 525	0,56
4	АСКОЕ (5 вузлів обліку)	48 000	~42 000*	1,14
	Всього	3 812 658	2 301 164	1,66

*економія від виявлення та усунення понадлімітного споживання реакт. потужності

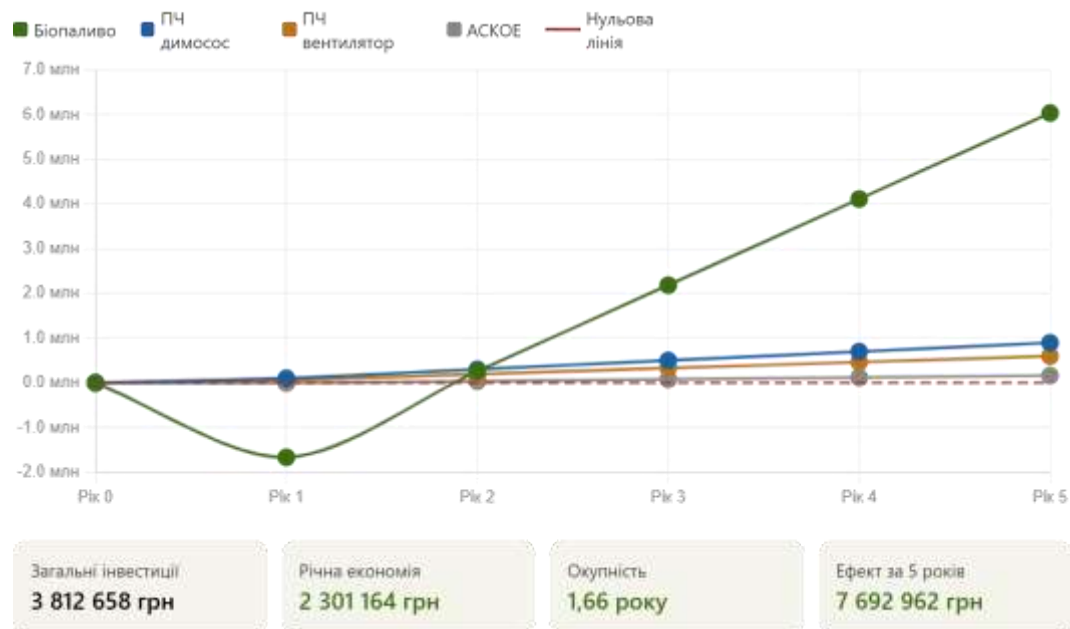


Рисунок 7.11 - Зведений енергетичний баланс котельного комплексу

З графіка видно, що ПЧ окупаються вже на першому році, а біопаливна складова - на 1,87 році. Сукупний ефект усіх заходів до кінця 5-го року складає ~7,7 млн грн при загальних інвестиціях 3,81 млн грн.

7.12. Порівняльний техніко-економічний аналіз видів опалення

Проведемо порівняння витрат на опалення ОЕЗ при використанні газу, електрики та власного біопалива.

Таблиця 7.12 - Порівняння вартості 1 Гкал теплової енергії (ціни 2026 р.)

Вид палива	Теплота згоряння	ККД установки	Витрата на 1 Гкал	Вартість, грн
Природний газ	8,0 кВт·год/м ³	0,91	145 м ³	1250
Електроенергія	1,0 кВт·год/кВт·год	0,98	1180 кВт·год	3450
Пелети (лушпиння)	5,1 кВт·год/кг	0,87	225 кг	480

7.12.1. Економічний ефект та окупність

Річна економія (E_p) при переведенні котельні на лушпиння:

$$E_p = (B_{gas} - B_{bio}) - E_H \cdot K$$

$$E_p = (13,78 \text{ млн} - 11,85 \text{ млн}) - 0,16 \cdot 3,59 \text{ млн} = 1,351 \text{ млн.грн /рік}$$

Термін окупності (T_{ok}) модернізації:

$$T_{ok} = \frac{K}{B_{gas} - B_{bio}} = \frac{3,59 \text{ млн}}{1,93 \text{ млн}} = 1,9 \text{ року}$$

7.12.2 Заходи з впровадження та екологічний ефект

Технічні заходи: Монтаж передтопка ПСФТ-1,4 та складу біопалива (інвестиції 2,74 млн грн). Енергозбереження: Зниження температури димових газів до 110 °С за рахунок відсутності сірки в паливі, що підвищує ККД. Екологія: Нейтральність по відношенню до емісії CO₂ та утилізація відходів власного виробництва. Зниження температури газів: За рахунок відсутності сірки в лушпинні соняшнику, температуру вихідних газів можна знизити до 110 °С, що додає 2-3% до ККД. Система АСКОВЕ: Інтеграція лічильників для контролю енергоспоживання насосів підживлення та димососів. Утилізація попелу: Попіл лушпиння соняшнику містить калій та фосфор, що дозволяє використовувати його як добриво.

7.13 Висновки до розділу 7

Модернізація системи тепlopостачання ОЕЗ шляхом впровадження біопаливної котельні на базі котла ДКВр-6,5-13 та цеху гранулювання дозволяє повністю утилізувати 1,71 т/добу відходів. Це забезпечує економію 1,35 млн грн на рік та окупається за 1,9 року, що робить проект інвестиційно привабливим у рамках концепції «Зеленої енергетики».

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі комплексних розрахунків та аналітичних досліджень, проведених у бакалаврській роботі з розроблення системи електропостачання олійноекстракційного заводу (ОЕЗ), можна зробити наступні висновки:

У роботі спроектовано надійну та економічно ефективну систему електроспоживання ОЕЗ. На основі систематизації 387 одиниць електрообладнання за 11 основними цехами та дільницями (включаючи Дільницю розчинної екстракції, Сектор вхідного контролю та очищення сировини та Пресово-віджимні корпуси), встановлено сумарне розрахункове навантаження підприємства, яке складає 3672,5 кВт активної потужності.

Техніко-економічне порівняння варіантів зовнішнього живлення підтвердило, що для підприємства даної потужності при невеликій відстані від центру живлення найбільш доцільним є використання напруги 10 кВ (Варіант №2 із застосуванням КЛ). Цей варіант забезпечив нижчі приведені витрати (1220,27 тис. грн/рік) порівняно з варіантом напругою 35 кВ, насамперед за рахунок менших капіталовкладень у спорудження мереж.

Розрахунки довели економічну доцільність максимальної компенсації реактивної потужності на ОЕЗ, де основні споживачі (преси, вальці, тостери) мають низький власний коефіцієнт потужності ($\text{tg}\varphi \approx 0,94$). Впровадження конденсаторних установок сумарною потужністю 2007 квар на стороні 0,4 кВ та 900 квар на стороні 10 кВ дозволило знизити $\text{tg}\varphi$ до нормативного значення 0,15, що суттєво зменшило технологічні втрати активної потужності в трансформаторах ТМ-630 (на 46%), розвантажило лінії та виключило штрафні санкції з боку енергопостачальної компанії.

При виконанні спеціального розділу обґрунтовано впровадження на ОЕЗ котельного комплексу на базі парового котла ДКВр-6,5-13, оснащеного циклонним передтопком ПСФТ-1,4 «Лідер» для спалювання власного лушпиння соняшнику. Також спроектовано технологічну лінію гранулювання продуктивністю 171 т/добу, що забезпечує безвідходне виробництво. Порівняльний техніко-економічний аналіз показав, що використання власного біопалива є в 2,6 раза дешевшим за природний газ та в 7,2 раза дешевшим за електроенергію для потреб опалення та ГВП. Модернізація котельні забезпечує річну економію у розмірі 1,35 млн грн при терміні окупності 1,9 року, що підтверджує її інвестиційну привабливість та екологічну нейтральність.

Аналітичні розрахунки, проведені в спеціальному розділі, підтвердили значний вплив графіка навантаження та температури навколишнього середовища (особливо в літній період) на швидкість теплового зносу ізоляції асинхронних двигунів екстракторів та пресів. Впровадження частотно-регульованих електроприводів (ЧРЕП) для систем аспірації та насосних агрегатів забезпечує додаткове енергозбереження до 25-40% та продовжує ресурс двигунів.

Усі технічні та економічні рішення в роботі мають належне обґрунтування та базуються на чинних нормативних документах (ДБН, ПУЕ, ДСТУ) та інструкціях.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Навчальний посібник для виконання кваліфікаційного проекту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл.: П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 196 с.
2. 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.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту електропостачання промислових підприємств. – Кіровоград: КНТУ, 2004.
4. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г. та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
5. Клименко В. В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах і установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем, 2020. – 219 с.
6. Електротехнологічні установки: навчальний посібник / П. О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.
7. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Промислова теплотехніка. 2018. Т. 40, № 1. С. 72–80.
8. Дубровін В. О., Корчемний М. М. Енергетичне використання біомаси в АПК. – Київ: Урожай, 2015. – 368 с.
9. Енергетичні характеристики та технології спалювання лушпиння соняшнику : навч. посіб. / В. В. Запольський та ін. – Дніпро: Пороги, 2020. – 174 с.
10. Котельні установки та теплові мережі : підручник / М. С. Шнип, О. С. Сирцова. – Рівне: НУВГП, 2017. – 345 с.
11. Оцінка енергетичного потенціалу відходів сільського господарства в Україні / Біоенергетична асоціація України. Аналітична записка № 16. Київ, 2016. 34 с.
12. Поляков С. В. Енергоефективність в АПК: теорія та практика використання відновлюваних джерел енергії. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 248 с.

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