

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: «Розробка схеми електропостачання цеху молочного заводу»

КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою
Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
ступеня вищої освіти «бакалавр»
групи 141ЕЕбд_31[3] (3 р.)
Подтикан Владислав Юрійович
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Басова Юлія Олександрівна

Полтава – 2026 рік

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»*
Спеціальність 141 *«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,

_____ **Станіслав ПОПОВ**
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
ПОДТИКАН Владислав Юрійович

1 Тема роботи: *«Розробка схеми електропостачання цеху молочного заводу»*,

керівник роботи канд. техн. наук, доцент **БАСОВА Юлія Олександрівна**,
затверджено засіданням кафедри, протокол № 9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи *план об'єкту; електричне навантаження об'єкту*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Огляд стану питання*

Розділ 2. *Розрахунок електричних навантажень*

Розділ 3. *Проектування схеми електропостачання*

Розділ 4. *Економіка та охорона праці*

5 Перелік графічного матеріалу: *загальний план об'єкта; схема зовнішнього електропостачання, вихідна схема та схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання*

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка	Ірина МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
Охорона праці	Наталія ПОПОВИЧ, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи	02.06-06.06.2026 р.	
7	Попередній захист роботи на кафедрі	до 06.06.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	10.06-12.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Владислав ПОДТИКАН

Керівник роботи _____ Юлія БАСОВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 3 додатки, 15 таблиць, 3 рисунків, 24 використаних джерел, 48 сторінок.

Мета роботи – розробка системи електропостачання цехів молочного заводу.

Об'єкт дослідження – система електропостачання цехів молочного заводу.

Предмет дослідження – принципи проектування, розрахунок та оптимізація схеми електропостачання цехів.

Практична значимість та реалізація досліджень полягає у розробці раціональної схеми електропостачання молочного заводу, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає вимогам ПУЕ та дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при проектуванні та модернізації систем електропостачання підприємств харчової промисловості.

У першому розділі виконано аналіз технологічних особливостей молочного заводу, розглянуто категорії надійності електроприймачів, вимоги нормативних документів до систем електропостачання промислових підприємств та наведено характеристику об'єкта проектування.

У другому розділі проведено розрахунок електричних навантажень підприємства, визначено центр електричних навантажень, виконано компенсацію реактивної потужності та обґрунтовано вибір раціональної напруги електропостачання.

У третьому розділі розроблено схему електропостачання підприємства, виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній, комутаційної апаратури, вимірювальних трансформаторів, шин, ізоляторів та пристроїв захисту від перенапруг.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці, електробезпеки, блискавкозахисту та заземлення підстанції, а також виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень.

Практичні результати роботи – розроблена система електропостачання цехів молочного заводу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для проектування та модернізації систем електропостачання підприємств харчової промисловості.

Сфера застосування результатів роботи – молокопереробні підприємства, харчова промисловість, промислові підприємства з безперервним технологічним циклом.

Текст роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень за допомогою системи «StrikePlagiarism» та є оригінальним на 88,84 %.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання молочного заводу. Проведено аналіз електричних навантажень підприємства, визначено центр електричних навантажень та виконано вибір раціональної напруги електропостачання. У роботі виконано вибір силових трансформаторів, кабельних ліній, комутаційної апаратури, вимірювальних трансформаторів та інших елементів системи електропостачання. Розроблено схему електропостачання підприємства та перевірено її працездатність у нормальних і аварійних режимах роботи. Результати роботи мають практичне значення для проектування та модернізації систем електропостачання промислових підприємств.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, КОМУТАЦІЙНА АПАРАТУРА, БЛИСКАВКОЗАХИСТ, ЗАЗЕМЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

ABSTRACT

The qualification work deals with the design of a power supply system for a dairy plant. An analysis of the electrical loads of the enterprise was carried out, the electrical load center was determined, and the rational supply voltage was selected. The work includes the selection of power transformers, cable lines, switching equipment, instrument transformers and other components of the power supply system. A power supply scheme for the enterprise was developed and its operation under normal and emergency conditions was verified.

The results of the work are of practical importance for the design and modernization of power supply systems for industrial enterprises.

POWER SUPPLY SYSTEM, DAIRY PLANT, ELECTRICAL LOADS, POWER TRANSFORMER, SWITCHGEAR, LIGHTNING PROTECTION, GROUNDING SYSTEM, ELECTRICAL SAFETY.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ	8
1.1 Категорії електропостачання споживачів	8
1.2 Вимоги до систем електропостачання промислових підприємств	9
1.3 Особливості електропостачання молочного виробництва	12
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХІВ МОЛОЧНОГО ЗАВОДУ	14
2.1 Вихідні дані для проектування	14
2.2 Розрахунок силових, освітлювальних навантажень та повної розрахункової потужності.....	15
2.3 Визначення розрахункової навантаження цехів молочного заводу з урахуванням компенсації реактивної потужності та втрат у трансформаторах	17
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХІВ МОЛОЧНОГО ЗАВОДУ	22
3.1 Визначення центру електричних навантажень	22
3.2. Вибір напруги живлення та вибір трансформатора	24
3.3 Розробка схеми електропостачання цехів молочного заводу	26
3.4 Схема електропостачання 110 кВ.....	27
3.5 Вибір кабелів і провідників.....	28
3.6 Розрахунок струмів короткого замикання.....	30
3.7 Вибір електрообладнання.....	31
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	35
4.1. Економіка	35
4.2. Заходи електробезпеки	38
ВИСНОВКИ.....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	43

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота	Літера	Аркуш	Аркушів	
Виконав		Подтикан В.Ю.				н	5	68	
Перевірив		Басова Ю.О.				ПДАУ, 2026 р.			
Керівник		Басова Ю.О.							
Н. контр.		Басова Ю.О.							
Затверд.		Попов С.В.							

ВСТУП

Розробка системи електропостачання промислових підприємств є одним із ключових завдань сучасної електроенергетики, оскільки від її ефективності залежить надійність роботи технологічного обладнання, економічність виробництва та рівень електробезпеки. Особливу актуальність ці питання набувають для підприємств харчової промисловості, зокрема молочних заводів, де безперервність технологічних процесів є критично важливою умовою виробництва.

Актуальність теми полягає у необхідності забезпечення надійного, безперебійного та економічно доцільного електропостачання цехів молочного заводу з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, якості електроенергії та відповідності нормативним документам. Раціонально спроектована система електропостачання дозволяє знизити втрати електроенергії, підвищити коефіцієнт потужності, забезпечити резервування живлення та створити безпечні умови праці.

Метою дипломного проєкту є розробка схеми електропостачання цехів молочного заводу.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі **завдання**:

- аналіз технологічного процесу та визначення електричних навантажень засоду;
- вибір оптимальної схеми електропостачання з урахуванням категорії надійності споживачів;
- розрахунок електричних навантажень і параметрів мережі;
- вибір силового та комутаційного обладнання;
- розрахунок режимів короткого замикання;
- забезпечення відповідності нормативним документам і стандартам;
- розробка заходів з електробезпеки та охорони праці.

Об'єкт дослідження – система електропостачання цехів молочного заводу.

Предмет дослідження – принципи проєктування, розрахунок та оптимізація схеми електропостачання цехів.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці раціональної схеми електропостачання молочного заводу, яка забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання, відповідає вимогам ПУЕ та дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію електроустановок. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при проектуванні та модернізації систем електропостачання підприємств харчової промисловості.

Структура та обсяг роботи. Дипломний проект складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел, додатків. Роботу ілюстровано таблицями та рисунками.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

1.1 Категорії електропостачання споживачів

Згідно з вимогами Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [1] та ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» [2], за ступенем надійності електропостачання всі об'єкти поділяються на три категорії. Вибір категорії визначається технологічними особливостями виробництва та можливими наслідками припинення подачі енергії.

До I категорії належать об'єкти, перерва в живленні яких загрожує життю людей, спричиняє значні матеріальні збитки, пошкодження дорогого обладнання або порушення складних технологічних процесів. Вони мають два незалежні взаєморезервуючі джерела. Допустима перерва - лише на час автоматичного введення резерву (АВР).

Особлива група потребує третього незалежного джерела (акумулятори, ДЕС) для безаварійної зупинки виробництва.

II категорія включає підприємства та заклади (навчальні установи, великі ТРЦ, котельні), де припинення електропостачання призводить до масового недовипуску продукції, простою персоналу та порушення нормальної життєдіяльності міських систем. Мають два незалежні взаєморезервуючі джерела. Допустима перерва - час, необхідний для ввімкнення резерву оперативним персоналом або виїзною бригадою.

До III категорії відносяться всі інші споживачі (житлові будинки, невеликі установи, допоміжні приміщення), де перерва в живленні не спричиняє катастрофічних наслідків. Вони мають одне джерело живлення. Допустима перерва - не більше 24 годин (час на ремонт або заміну пошкодженого елемента мережі) (табл. 1.1).

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Класифікація електроприймачів за надійністю електропостачання (згідно з ПУЕ)

Категорія надійності	Характеристика наслідків перерви у живленні	Кількість незалежних джерел живлення	Допустима тривалість перерви в електропостачанні
I	Небезпека для життя людей, значні матеріальні збитки, пошкодження обладнання, порушення складних техпроцесів.	2	Лише на час спрацьовування пристроїв АВР.
I (особлива група)	Необхідність безаварійної зупинки виробництва для запобігання вибухам, пожежам або загрозі життю.	3	Безперервне живлення (перерва не допускається).
II	Масовий недовипуск продукції, простої персоналу та механізмів, порушення нормальної життєдіяльності значної кількості людей.	2	Час, необхідний для дій чергового персоналу або виїзної бригади.
III	Всі інші споживачі, що не підпадають під критерії I та II категорій (житловий сектор, допоміжні цехи).	1	На час ремонту або заміни обладнання, але не більше 24 годин.

Для дипломного проекту молокозаводу важливо зазначити, що основні технологічні лінії (пастеризатори, охолоджувачі) доцільно прирівнювати до I або II категорії, оскільки зупинка на 24 години (як у III категорії) призведе до повного скисання та утилізації сировини. Допоміжні приміщення (склади тари, офіси) можуть жититися за III категорією.

1.2 Вимоги до систем електропостачання промислових підприємств

Вимоги до систем електропостачання промислових підприємств (СЕПП) регулюються нормативними документами, зокрема ДСТУ 9324:2025 Настанова щодо проектування систем електропостачання промислових підприємств [3], а також ПУЕ [1], НПАОП 40.1-1.32-01 [4] та стандартами якості електроенергії [5].

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вони базуються на забезпеченні надійності, безпеки, економічності, якості електроенергії та технічної гнучкості для забезпечення безперервного технологічного процесу [6].

Система електропостачання повинна забезпечувати безперервне живлення електроприймачів відповідно до їх категорії надійності.

- для споживачів I та II категорії необхідно передбачати резервування джерел живлення (дві незалежні лінії або два трансформатори).
- повинна бути забезпечена можливість автоматичного або оперативного перемикання на резервне живлення.

Ці вимоги спрямовані на мінімізацію перерв у технологічному процесі підприємства [1].

Якість електроенергії повинна відповідати вимогам стандартів (зокрема ДСТУ EN 50160) [5]. Основні показники наведені у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Основні показники якості електроенергії для промислових підприємств (за ДСТУ EN 50160)

Показник	Позначення	Нормативне значення
Відхилення напруги	ΔU	$\pm 10\%$ від номінального значення (у нормальному режимі, 95% часу за тиждень)
Частота мережі	f	50 Гц $\pm 1\%$ (тобто 49,5–50,5 Гц у нормальному режимі)
Коефіцієнт гармонічних спотворень напруги	THD_U	не більше 8 %
Окремі гармоніки напруги	U_n	не перевищують 3–6 % (залежно від порядку гармоніки)
Несиметрія напруги (за зворотною послідовністю)	$K_{несим}$	не більше 2 %
Короткочасні провали напруги	—	допускаються, але не повинні перевищувати значення, встановлені стандартом
Перенапруги	—	не більше 1,1–1,15 $U_{ном}$ у тривалому режимі

Наведені показники якості електроенергії є обов'язковими для дотримання при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств. Відхилення від нормативних значень може призводити до зниження ефективності роботи електрообладнання, його перегріву або виходу з ладу [6, 7].

Проектування СЕПП повинно забезпечувати мінімальні втрати електроенергії в мережах; раціональний вибір напруги та схеми живлення; оптимальний вибір перерізів проводів і кабелів; компенсацію реактивної потужності. Це дозволяє знизити експлуатаційні витрати підприємства.

Система електропостачання повинна відповідати вимогам електробезпеки та пожежної безпеки:

- застосування захисного заземлення та занулення;
- використання захисних апаратів (автоматичних вимикачів, реле захисту);
- забезпечення відповідного ступеня захисту електрообладнання (ІР);
- захист від коротких замикань і перевантажень.

Ці вимоги регламентуються ПУЕ [1]

Система електропостачання повинна передбачати можливість розширення виробництва; підключення додаткових електроприймачів; модернізацію обладнання без значної реконструкції мережі. Це досягається шляхом вибору резервних потужностей та гнучких схем електропостачання [7].

Згідно з вимогами ДСТУ 9324:2025 [7], при проектуванні необхідно:

- враховувати характеристики джерел живлення та споживачів;
- обирати оптимальну схему (радіальну, магістральну або змішану);
- забезпечувати мінімальну довжину ліній електропередачі;
- враховувати рівень напруги та потужність навантаження [7].

Система електропостачання повинна передбачати встановлення компенсуючих пристроїв (конденсаторних батарей) для зменшення реактивної потужності; підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії. Обов'язковим є впровадження релейного захисту; автоматичного вводу резерву

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(АВР); систем обліку електроенергії; диспетчеризації та контролю параметрів роботи мережі [1-7].

Таким чином, системи електропостачання промислових підприємств повинні забезпечувати комплекс вимог: надійність, безпеку, економічність та якість електроенергії. Виконання цих вимог є необхідною умовою стабільної роботи технологічного процесу та ефективного функціонування підприємства.

1.3 Особливості електропостачання молочного виробництва

Проектування системи електропостачання (СЕП) молокопереробного заводу обумовлене специфікою технологічного циклу, що характеризується безперервністю, високою енергоємністю та жорсткими вимогами до санітарно-гігієнічних умов експлуатації електрообладнання [8].

Для молокопереробних заводів характерний безперервний цикл переробки сировини. Відповідно до ПУЕ [1], основна частина електроприймачів відноситься до II категорії, проте окремі вузли потребують особливого підходу, а саме, I категорія (особлива група). Це стосується системи автоматизації та диспетчеризації (АСУ ТП), вакуумних насосів випарних установок, системи пожежогасіння та аварійного освітлення.

Оскільки молоко є продуктом, що швидко псується, раптове припинення електропостачання на термін понад 30-60 хв. призводить до незворотних втрат сировини в пастеризаторах та танках зберігання. Тому для таких об'єктів обов'язковим є використання двотрансформаторних підстанцій з АВР на стороні низької напруги (технологічне резервування).

Особливістю цехів розливу та переробки молока є висока вологість, наявність пари та регулярне проведення санітарної обробки (мийка під тиском із застосуванням лужних та кислотних розчинів). У виробничих зонах електрообладнання (двигуни насосів, клемні коробки, локальні пульти керування) повинно мати ступінь захисту не нижче IP65/IP67. Кабельні конструкції (лотки,

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

драбини) мають бути виконані з нержавіючої сталі AISI 304 або AISI 316, що відповідає вимогам харчової безпеки (запобігання корозії та накопиченню бактерій). Електропроводка має бути максимально прихованою або прокладеною в герметичних трубах, щоб виключити осадження органічного пилу та плісняви.

Технологічні лінії молокозаводів насичені великою кількістю асинхронних двигунів малої та середньої потужності (насоси, мішалки, гомогенізатори) [9-11]. Широке використання частотно-регульованих приводів (ЧРП) для енергозбереження створює вищі гармоніки в мережі. Це потребує застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв для дотримання норм ДСТУ EN 50160 [5] щодо коефіцієнта гармонічних спотворень (THD_U). Для потужних компресорів холодильних установок необхідно передбачати пристрої плавного пуску (soft-starters) для мінімізації провалів напруги в локальній мережі.

Через підвищену вологість приміщень усі розеткові мережі та переносне обладнання повинні бути захищені пристроєм захисного відключення (ПЗВ) з струмом витоку не більше 30 мА. Світильники в цехах переробки повинні бути в «харчовому» виконанні - без скляних елементів (використання ударостійкого полікарбонату), щоб у разі пошкодження уламки не потрапили в продукцію (табл. 1.3) [9-11].

Таблиця 1.3 - Особливості електропостачання молочного виробництва

Технологічна зона	Клас зони	Рекомендований ступінь IP
Приймальне відділення	Волога	IP54
Цех пастеризації та сепарування	Особливо сира / Агресивна	IP65/IP66
Холодильні камери	Холодна (конденсат)	IP55
Склад готової продукції	Нормальна	IP20/IP44

Таким чином, при проектуванні СЕПП молокопереробного заводу головний акцент зміщується з простого забезпечення потужності на захищеність обладнання від вологи та максимальну автоматизацію резервного живлення для запобігання псуванню харчової сировини.

РОЗДІЛ 2
РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХІВ
МОЛОЧНОГО ЗАВОДУ

2.1 Вихідні дані для проєктування

Вихідними даними для розробки системи електропостачання цехів молочного заводу є схема генерального плану підприємства (Додаток А), яка відображає розміщення виробничих, допоміжних будівель та інженерних мереж.

Умови зовнішнього середовища підприємства (температура, вологість, наявність агресивних середовищ) впливають на вибір електрообладнання, кабелів і пуско-захисної апаратури. Виробничий процес загалом характеризується нормальними умовами, однак окремі приміщення (пастеризаційні, мийні, холодильні відділення) належать до вологих або з підвищеною температурою та потребують застосування обладнання у захищеному виконанні (не нижче IP54) і кабелів зі стійкою ізоляцією.

Класифікація середовища здійснюється відповідно до вимог ПУЕ [1] та чинних нормативних документів.

Електроприймачі основного виробництва молочного заводу відносяться до II категорії надійності електропостачання, оскільки перерва в їх роботі призводить до втрат продукції та порушення технологічного процесу. Допоміжні споживачі відносяться до III категорії.

Характеристика середовища та класифікація електроприймачів наведені у табл. А.1 додатку А. Основою для розрахунків також слугують зведені дані про електричні навантаження, наведені у табл. А.1, що містять інформацію про встановлені та розрахункові потужності електроприймачів. Живлення підприємства передбачається здійснювати від генераторних шин теплоелектроцентралі (ТЕЦ) загальною встановленою потужністю 400 МВт, яка включає чотири турбогенератори по 100 МВт кожний, при цьому напруга на шинах становить 10,5

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кВ. Крім того, можливе електропостачання від підвищувальної підстанції ТЕЦ з трансформаторами напругою 10,5/110 кВ потужністю по 40 МВА. Потужність короткого замикання на шинах 10,5 кВ ТЕЦ становить 500 МВА. Відстань від джерела живлення до підприємства складає 5,2 км.

2.2 Розрахунок силових, освітлювальних навантажень та повної розрахункової потужності

На першому етапі проєктування системи електропостачання необхідно визначити електричні навантаження, за значенням електричних навантажень виконати перевірку втрат потужності та електроенергії. Нормативна оцінка очікуваних навантажень впливає на капітальні витрати на обладнання системи електропостачання, експлуатаційні витрати, надійність роботи електрообладнання.

На етапі проєктування системи електропостачання, а також при аналізі режимів її роботи електроприймачі розглядаються як навантаження. Різняться наступні види навантажень: активна потужність P , реактивна потужність Q , повна потужність S .

Для розрахунків на стадії проєктного завдання при зведенні варіантів та інших орієнтовних розрахунків, коли відсутні точні дані по електроприймачах, розрахункове активне навантаження (P_p) визначають за (2.1)

$$P_p = K_c \cdot P_{ном} \quad (2.1).$$

де K_c – коефіцієнт попиту [13, 14];

$P_{ном}$ – сумарна номінальна потужність електроприймачів, кВт.

Розрахункове активне навантаження для цеху 1

$$P_{p1} = 0,6 \cdot 29,4 = 17,64 \text{ кВт.}$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове реактивне навантаження (Q_p) визначимо за (2.2)

$$Q_p = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.2)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності, який відповідає $\cos \varphi$ даної групи електроприймачів [13, 14].

Розрахункове реактивне навантаження для цеху 1

$$Q_I = 17,64 \cdot 0,62 = 10,93 \text{ кВар.}$$

Загальне навантаження об'єкта розраховували за (2.3)

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.3)$$

Активне навантаження освітлення P_o обчислюється за (2.4)

$$P_{po} = K_c \cdot P_{ном} \quad (2.4).$$

де K_c – коефіцієнт попиту на освітлювальну установку [13, 14];

$P_{ном}$ – сумарна номінальна потужність освітлювального навантаження, кВт.

Активне навантаження освітлення $P_{po1} = 186,08 \cdot 0,6 = 111,65$ кВт.

Сумарна номінальна потужність освітлення визначається за (2.5)

$$P_{но} = P_o \cdot F, \quad (2.5)$$

де $P_{но}$ – питома потужність навантаження на 1 м^2 виробничої площі, кВт/м²;

F – площа відповідного об'єкта, м², яка визначається за генеральним планом підприємства.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальна потужність освітлювальною навантаження цеху 1

$$P_{\text{№1}} = 0,016 \cdot 11630 = 186,08 \text{ кВт.}$$

Реактивна потужність освітлювального навантаження (Q_{po}) визначається за (2.6), кВАр:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot tg\varphi \quad (2.6)$$

де $tg\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності світильників, що відповідає значенню $\cos \varphi$ для даного типу освітлювальних приладів.

$$\text{Реактивне навантаження освітлення } Q_{pol} = 111,65 \cdot 0,49 = 55,82 \text{ кВА.}$$

Повна розрахункова потужність об'єкта визначається за (2.7), кВА

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + (Q_p + Q_{po})^2} \quad (2.7)$$

Повна розрахункова потужність цеху 1

$$S_{p1} = \sqrt{(17,64 + 111,65)^2 + (10,93 + 55,82)^2} = 145,51 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Розрахунок навантаження для інших об'єктів проводимо аналогічно.

Результати розрахунків наведені в табл. А.1 додатку А.

2.3 Визначення розрахункової навантаження цехів молочного заводу з урахуванням компенсації реактивної потужності та втрат у трансформаторах

Із табл. А.1 додатку А повна розрахункова потужність навантаження цехів молочного заводу на рівні 0,4 кВ становить: $S_p = 7455,49 \text{ кВА.}$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки цехові трансформатори та трансформатори головної понижувальної підстанції (ГПП) на даному етапі ще не вибрані, втрати активної та реактивної потужності в них визначаємо наближено.

Втрати активної потужності в цехових трансформаторах визначають за (2.8)

$$\Delta P_{ц.тр} = 0,02 \cdot S_p \quad (2.8)$$

$$\Delta P_{ц.тр} = 0,02 \cdot 7455,49 = 149,11 \text{ кВт}$$

Втрати реактивної потужності (2.9):

$$\Delta Q_{ц.тр} = 0,1 \cdot S_p, \quad (2.9)$$

$$\Delta Q_{ц.тр} = 0,1 \cdot 7455,49 = 745,55 \text{ кВАр.}$$

Економічно доцільна реактивна потужність, що передається енергосистемою підприємству в години максимальних навантажень (2.10)

$$Q_e = K_\alpha \cdot P_{p\Sigma 0,4}, \quad (2.10)$$

$$Q_e = 0,29 \cdot 6136,17 = 1779,49 \text{ кВАр}$$

де $K_\alpha = 0,29$ при напрузі $U = 110 \text{ кВ}$.

Необхідна потужність компенсувальних пристроїв (2.11):

$$Q_{ку} = Q_p'' - Q_e, \quad (2.11)$$

$$\text{де } Q_p'' = Q_{p\Sigma 0,4} - \Delta Q_{ц.тр}, \quad (2.12)$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p'' = 4234,59 - 745,55 = 3489,04,$$

$$Q_{ky} = Q_p'' - Q_e, \quad (2.13)$$

$$Q_{ky} = 3489,04 - 1779,49 = 1709,55.$$

Некомпенсована реактивна потужність на шинах 10 кВ ГПП визначається за (2.14)

$$Q_{p\Sigma} = Q_{p\Sigma 0,4} \cdot K_{pm} + \Delta Q_{u,тр}, \quad (2.14)$$

де $K_{pm} = 0,95$ – коефіцієнт різночасності максимумів навантаження.

Тоді некомпенсована потужність (2.15) :

$$Q_p = Q_{p\Sigma} - Q_{ky}, \quad (2.15)$$

$$Q_p = 4768,41 - 1709,55 = 3058,86.$$

Як компенсувальні пристрої приймаємо батареї статичних конденсаторів. Втрати активної потужності в них визначаються за (2.16):

$$\Delta P_{ky} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{ky}, \quad (2.16)$$

$$\Delta P_{ky} = 0,002 \cdot 1709,55 = 3,42$$

де $\Delta P_{пит} = 0,002$ – питомі втрати в батареях статичних конденсаторів, кВт/кВАр.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна активна потужність, приведена до шин 6–10 кВ ГПП з урахуванням різночасності максимумів навантажень і втрат у компенсувальних пристроях, визначається за (2.17), кВт:

$$P_p = P_{p0,4} \cdot K_{pm} + P_{po} + \Delta P_{u,mp} + \Delta P_{ky}. \quad (2.17).$$

$$P_p = 4261,07 \cdot 0,95 + 1875,10 + 149,11 + 3,42 = 6075,64.$$

де $P_{p0,4}$ – розрахункова активна потужність заводу, віднесена до шин 10 кВ з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів силового навантаження $K_{pm} = 0,95$.

Розрахункова навантаження на шинах 10 кВ ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВ · А

$$S'_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.18)$$

$$S'_p = \sqrt{6075,64^2 + 3058,86^2} = 6802,21$$

Втрати потужності в трансформаторах ГПП (2.19), кВт

$$\Delta P_{ТГПП} = 0,02 \cdot S'_p \quad (2.19)$$

$$\Delta P_{ТГПП} = 0,02 \cdot 6802,21 = 136,04.$$

$$\Delta Q_{ТГПП} = 0,1 \cdot S'_p \quad (2.20)$$

$$\Delta Q_{ТГПП} = 0,1 \cdot 6802,21 = 680,22.$$

Повна розрахункова потужність завод на стороні вищої напруги ГПП, кВ · А

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S''_{pBH} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{TГПП})^2 + (Q_p + \Delta Q_{TГПП})^2} \quad (2.21)$$

$$S''_{pBH} = \sqrt{(6075,64 + 136,04)^2 + (3058,86 + 680,22)^2} = 7250,22$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХІВ
МОЛОЧНОГО ЗАВОДУ

3.1 Визначення центру електричних навантажень

Головна понижувальна підстанція (ГПП) є одним із основних елементів системи електропостачання промислового підприємства. Для визначення оптимального місця розташування ГПП на стадії проектування системи електропостачання на генеральний план підприємства наноситься картограма електричних навантажень.

Картограма навантажень має вигляд кіл, розміщених на генеральному плані, причому площі цих кіл у вибраному масштабі пропорційні розрахунковим електричним навантаженням відповідних об'єктів. Для кожного об'єкта будується окреме коло, центр якого збігається з центром електричних навантажень цього об'єкта.

Радіус кола визначається за формулою (3.1), мм:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot \mu}}, \quad (3.1)$$

де P_{pi} – розрахункова активна потужність і-го об'єкта, кВт;

μ – масштаб для визначення площі круга, кВт/мм².

Картограма електричних навантажень дозволяє наочно представити розподіл електричних навантажень по території підприємства.

Освітлювальне навантаження зображується у вигляді сектора кола. Кут сектора визначається за формулою (3.2):

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_i = \frac{P_{poi}}{P_{pi}} \cdot 360^\circ, \quad (3.2)$$

де P_{po} – активна потужність освітлювального навантаження і-го об'єкта, кВт;
 P_{pi} – сумарна активна потужність і-го об'єкта, кВт.

Розраховані значення r_i та α_i для всіх об'єктів наведені у додатку Б.

При визначенні центру електричних навантажень приймається, що навантаження рівномірно розподілене по площі об'єкта. У цьому випадку центр електричних навантажень збігається з геометричним центром відповідної фігури, що зображує об'єкт на генеральному плані.

Координати центру електричних навантажень підприємства визначаються за формулами (3.3) та (3.4), м:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (3.3)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}, \quad (3.4)$$

Розрахунок координат центру електричних навантажень наведено в таблиці 3.1.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Визначення центру електричних навантажень підприємства

№ цеху на генплані	$P_{p\Sigma}$, кВт	P_{po} , кВт	R	α	X, м	Y, м	$P_{p\Sigma} \cdot X$, кВт·м	$P_{p\Sigma} \cdot Y$, кВт·м
1	129,29	111,65	6	311	127	162	16354,93	20880,01
2	177,24	19,44	8	39	115	155	20293,98	27472,20
3	426,32	192,32	12	162	88	136	37516,25	57979,66
4	271,67	237,46	9	315	57	135	15484,96	36674,91
5	238,64	66,14	9	100	51	85	12170,74	20344,22
6	365,28	152,73	11	151	80	85	29222,24	31139,95
7	164,43	105,35	7	231	150	24	24664,29	3946,29
8	384,97	225,67	11	211	127	109	48698,20	41768,81
9	408,65	52,85	11	47	166	71	67631,24	29014,01
10	316,75	142,75	10	162	192	108	60815,81	34208,89
11	210,49	45,99	8	79	182	69	38257,21	14524,06
12	103,79	63,40	6	220	212	84	21951,25	8718,23
13	1271,18	178,41	20	51	216	167	274574,88	211651,47
14	463,64	86,24	12	67	261	170	121010,30	78818,97
15	1203,84	194,71	20	58	172	161	207059,96	193817,76
Разом	6136,17						995706,24	810959,43

3.2. Вибір напруги живлення та вибір трансформатора

У системах електропостачання промислових підприємств потужність силових трансформаторів повинна забезпечувати надійне живлення всіх електроприймачів у нормальному режимі роботи. Надійність електропостачання досягається встановленням на підстанції двох трансформаторів. У разі аварійного відключення одного з них інший повинен забезпечити живлення споживачів I та II категорій з урахуванням допустимого перевантаження трансформатора.

Рациональну напругу системи зовнішнього електропостачання визначаємо за формулою Стілла, кВ:

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{I} + 16 \cdot P \quad (3.5)$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У формулі Стілла потужність підставляється в мегаватах, тому розрахункову потужність 6211,68 кВт переведено в 6,21168 МВт

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{5,2 + 16 \cdot (6,21158)} = 44,38 \text{ кВ.}$$

На основі отриманого значення для подальшого аналізу приймаємо два варіанти напруги системи електропостачання: 10 кВ та 110 кВ, які підлягають техніко-економічному порівнянню.

Потужність трансформаторів головної понижувальної підстанції визначається за формулою (3.6), кВА:

$$Sm \geq S_{pBH} / (K_3 \cdot n_m). \quad (3.6)$$

де S_{pBH} - повна розрахункова потужність на стороні вищої напруги, кВА;

K_3 - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

n_m - кількість трансформаторів.

Підставляючи значення, отримуємо: $Sm \geq 7250,22 / (0,7 \cdot 2) = 5178,7$ кВА

Приймаємо стандартну потужність трансформатора: $S_{ст.тр} = 6,3$ МВА

Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$K_{з.нр} = S_{pBH} / (n_m \cdot S_{нм}) \leq 0,7 \quad (3.7)$$

$$K_{з.нр} = 7250,22 / (2 \cdot 6300) = 0,58 \leq 0,7$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів в аварійному режимі за (3.8):

$$K_{з.ав} = S_{pBH} / S_{нм} \leq 1,4 \quad (3.8).$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{з.ав} = 7250,22 / 6300 = 1,15 \leq 1,4$$

Отже, обрані трансформатори забезпечують надійну роботу як у нормальному, так і в аварійному режимах.

Для подальшого техніко-економічного порівняння обираємо силовий трансформатор типу ТМН-6300/110. Технічні характеристики трансформатора наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри силового трансформатора

Параметр	Значення
Номинальна потужність	6300 кВА
Номинальна напруга ВН	110 кВ
Номинальна напруга НН	10 кВ
Номинальний струм ВН	33,1 А
Номинальний струм НН	363 А
Напруга короткого замикання	10,5 %
Втрати холостого ходу	7,5 кВт
Втрати короткого замикання	54 кВт
Струм холостого ходу	1,0 %
Схема з'єднання обмоток	Y/Δ-11
Тип охолодження	масляний (М)
Маса трансформатора	≈ 18 тон

3.3 Розробка схеми електропостачання цехів молочного заводу

У результаті порівняння варіантів системи електропостачання було розглянуто два рівні напруги: 10 кВ та 110 кВ. З урахуванням розрахункової потужності підприємства, відстані до джерела живлення (5,2 км), а також вимог до надійності електропостачання, доцільно прийняти варіант схеми електропостачання з напругою 110 кВ.

Застосування напруги 110 кВ дозволяє зменшити втрати електроенергії при передачі, забезпечити необхідний рівень надійності живлення споживачів I та II категорій, а також створює можливість подальшого розвитку системи електропостачання підприємства.

У зв'язку з цим для подальшого проектування приймається схема електропостачання з головною понижувальною підстанцією 110/10 кВ (додаток В), оснащеною двома силовими трансформаторами типу ТМН-6300/110.

3.4 Схема електропостачання 110 кВ

Варіант зовнішнього електропостачання передбачає живлення об'єкта від мережі напругою 110 кВ із будівництвом повітряної лінії електропередач та головної понижувальної підстанції (ГПП) 110/10 кВ. До складу системи входять:

- повітряна лінія (ПЛ) 110 кВ довжиною 5,2 км;
- підстанція 110/10 кВ з двома силовими трансформаторами;
- комутаційне обладнання (вимикачі, роз'єднувачі), пристрої релейного захисту та автоматики.

Застосування напруги 110 кВ дозволяє забезпечити передачу значної потужності з мінімальними втратами та підвищеним рівнем надійності електропостачання. Така схема електропостачання на напрузі 110 кВ характеризується високою надійністю завдяки використанню двотрансформаторної підстанції; можливістю передачі значної потужності з мінімальними втратами та відповідністю вимогам ПУЕ [1] та сучасним нормам проектування електроустановок.

Разом з тим, цей варіант потребує значних капітальних вкладень на будівництво повітряної лінії електропередачі 110 кВ, головної понижувальної підстанції та придбання високовольтного обладнання, що обумовлює необхідність техніко-економічного порівняння з альтернативними варіантами електропостачання.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Вибір кабелів і провідників

Перед розрахунком струмів короткого замикання необхідно виконати вибір кабелів, що з'єднують головну понижувальну підстанцію (ГПП) з цеховими трансформаторними підстанціями, а також трансформатори, з'єднані за магістральною схемою.

Як приклад розглянемо найбільш навантажену ділянку: ГПП – ТП6. Для забезпечення надійності електропостачання передбачено прокладання двох паралельних кабельних ліній у траншеї з відстанню між ними 100 мм.

Розрахунковий робочий струм у нормальному режимі (3.9), А:

$$I_{\text{роб}} = \frac{S}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (3.9)$$

$$I_{\text{роб}} = \frac{2520}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 72,75 \text{ А}$$

Розрахунковий струм в аварійному режимі (3.10), А:

$$I_{\text{роб.макс}} = \frac{S}{(n-1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (3.10)$$

$$I_{\text{роб}} = \frac{2520}{(2-1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 145,49 \text{ А}$$

Для даної ділянки обираємо кабель марки ААШв-10 з алюмінієвими жилами, в алюмінієвій оболонці та захисному шланговому покриві, на напругу 10 кВ.

Вибір перерізу кабелю здійснюється з урахуванням допустимого струму, перевантажувальної здатності в аварійному режимі та зниження струмового навантаження при прокладанні кабелів у траншеї.

Для розрахунку приймаємо коефіцієнти:

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $K_1=1$ – коефіцієнт температури середовища;
- $K_2=0,9$ – коефіцієнт зниження при груповій прокладці;
- $K_3=1,25$ – коефіцієнт допустимого перевантаження.

Допустимий струм кабелю визначається за умовою (3.11):

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{роб.макс}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (3.11)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{145,49}{1 \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 129,33 \text{ А}$$

За довідковими даними обираємо кабель ААШВ-10 перерізом $3 \times 50 \text{ мм}^2$ з допустимим струмом $I_{\text{доп}}=134 \text{ А}$.

Оскільки $129,33 \leq 134 \text{ А}$, умова виконується. Обраний кабель відповідає вимогам нормального та аварійного режимів роботи. Результати розрахунку кабельних ліній напругою 10 кВ наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір кабелів напругою 10 кВ

Ділянка	n	S _p , кВА	I _{роб} , А	I _{роб.макс} , А	I _{доп.розр} , А	Марка кабелю	Переріз, мм ²	I _{доп} , А
ГПП–ТП1	2	800	23,09	46,19	41,06	ААШВ-10	3×35	110
ГПП–ТП2	2	2060	59,47	118,93	105,72	ААШВ-10	3×35	110
ГПП–ТП3	2	800	23,09	46,19	41,06	ААШВ-10	3×35	110
ГПП–ТП4	2	1600	46,19	92,38	82,11	ААШВ-10	3×35	110
ТП4–ТП5	2	800	23,09	46,19	41,06	ААШВ-10	3×35	110
ГПП–ТП6	2	2520	72,75	145,49	129,33	ААШВ-10	3×50	134
ТП6–ТП7	2	1260	36,37	72,75	64,66	ААШВ-10	3×35	110
ГПП–ТП8	2	1600	46,19	92,38	82,11	ААШВ-10	3×35	110
ТП8–ТП9	2	800	23,09	46,19	41,06	ААШВ-10	3×35	110

Вибір кабелів напругою 0,4 кВ виконується аналогічно. За довідковими даними приймаємо кабелі марки АВВГ. Розрахунок перерізу здійснюється за економічною щільністю струму, яка становить $j=3,1 \text{ А/мм}^2$.

Розрахунковий переріз кабелю визначається за формулою (3.12):

$$F_{\text{ек}} = I_{\text{роб}} / j, \quad (3.12)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір кабелів напругою 0,4 кВ

Ділянка	n	S _p , кВА	I _{роб} , А	I _{роб.макс} , А	I _{доп.розр} , А	Марка кабелю	Переріз, мм ²	I _{доп} , А
РП8–РП1	4	145,51	52,50	70,01	62,23	АВВГ	16	77
РП6–РП5	6	302,08	72,67	87,20	77,51	АВВГ	25	100
РП3–РП2	6	539,13	129,69	155,63	138,34	АВВГ	50	147
РП2–РП4	6	307,65	74,01	88,81	78,94	АВВГ	25	100
РП13– РП14	6	566,88	136,37	163,64	145,46	АВВГ	50	147
РП10–РП7	4	196,72	70,98	94,65	84,13	АВВГ	25	100
РП10–РП9	6	805,41	193,75	232,50	206,67	АВВГ	95	212
РП9–РП11	6	350,99	84,44	101,32	90,06	АВВГ	25	100
РП11– РП12	4	126,84	45,77	61,02	54,24	АВВГ	10	59

3.6 Розрахунок струмів короткого замикання

Перехідні процеси виникають в електроенергетичних системах як у нормальних режимах роботи (вмикання та вимикання навантажень, ліній, джерел живлення), так і в аварійних ситуаціях (короткі замикання, обриви ліній, порушення синхронізму машин тощо). Ці процеси супроводжуються сукупністю взаємопов'язаних електромагнітних і механічних явищ.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною причиною порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення коротких замикань у мережі або в елементах електрообладнання, що може бути спричинено пошкодженням ізоляції або помилками обслуговуючого персоналу.

Для розрахунку струмів короткого замикання використано схему заміщення, в якій усі елементи електроенергетичної системи представлені відповідними опорами, а магнітні зв'язки замінені електричними. Розрахунок виконано у відносних одиницях із приведенням параметрів до одного рівня напруги при базових умовах. Вихідна схема заміщення з позначеними точками короткого замикання наведена у додатку В.

Розрахунок струмів короткого замикання у заданих точках виконано за допомогою програмного комплексу MATLAB, результати наведено у додатку А та зведено в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	U_0 , кВ	I_0 , кА	I_k , кА	i_y , кА
К1	115	0,502	1,046	2,663
К2	10,5	5,499	2,561	6,81
К3	10,5	5,499	2,55	6,24
К4	0,4	144,338	13,259	24,376

3.7 Вибір електрообладнання

3.7.1 Вибір комутаційної апаратури. Вимикач – це комутаційний апарат, призначений для вмикання та вимикання електричних кіл у всіх режимах роботи: тривалому навантаженні, перевантаженні, короткому замиканні, холостому ході та при несиметричних режимах.

3.7.1.1. Вибір вимикачів і роз'єднувачів на стороні 110 кВ. Розрахунковий струм трансформатора отримуємо за формулою (3.9)

$$I_{BH} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 110} = 33.07 \text{ А}$$

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний робочий струм: $I_{роб. макс} = 1,4 \cdot 33,07 = 46,29 \text{ А}$

За результатами перевірки обираємо вимикач - ВБП-110Ш-31,5/2000 УХЛ1 та роз'єднувачі - РНДЗ.1-110/1000 У1 (табл. 3.6). Обране обладнання задовольняє умови за напругою, струмом, відключаючою здатністю та стійкістю до струмів короткого замикання.

3.7.1.2 Вибір вимикачів на стороні 10 кВ (НН трансформатора).

Розрахунковий струм:

$$I_{НН} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 346,41 \text{ А}$$

Максимальний робочий струм: $I_{роб. макс} = 1,4 \cdot 346,41 = 484,97 \text{ А}$

Приймаємо КРУ серії К-63 з вимикачами: ВБЕК-10-31,5/2000-3150 УХЛ2 (табл. 3.6). Вимикачі відповідають вимогам ПУЕ та забезпечують надійну роботу в нормальних і аварійних режимах.

3.7.1.3. Вибір вимикачів у колах кабельних ліній (КЛ) 10 кВ.

Розрахунковий струм кабельної лінії: $I_{КЛ} = 69,28 \text{ А}$. Максимальний струм: $I_{роб. макс} = 138,56 \text{ А}$.

Обираємо вимикач ВБЕК-10-20/630 У2 (табл. 3.6)

Таблиця 3.6 – Вибір комутаційної апаратури

Параметр	Розрахунок	ВБП-110	РНДЗ-110	ВБЕК-10 (ТР)	ВБЕК-10 (КЛ)
$U_{уст}, \text{ кВ}$	110 / 10	110	110	10	10
$I_{роб. макс}, \text{ А}$	46,29 / 484,97 / 138,56	2000	1000	2000	630
$I_{відкл}, \text{ кА}$	1,046 / 2,561	31,5	–	31,5	20
$i_{пит}, \text{ кА}$	2,663 / 6,81	80	80	80	63
$B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	0,33 / 1,97*	2976,75	2976,75	2976,75	1600

* – $B_k = 2,561^2 \cdot 0,3 = 1,97 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$.

3.7.2. Вибір запобіжників. Запобіжник – це апарат, призначений для автоматичного одноразового відключення кола при короткому замиканні або

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевантаженні [16]. Обираємо запобіжник типу ПКТ101-10-31,5-12,5 УЗ (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Комутаційні апарати та захист

Тип	Марка	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{відкл}}$, кА
Вимикач 110 кВ	ВБП-110	110	2000	31,5
Вимикач 10 кВ	ВБЕК-10	10	2000	31,5
Вимикач КЛ	ВБЕК-10	10	630	20
Запобіжник	ПКТ101	10	31,5	12,5

3.7.3 Вибір вимірювальних трансформаторів. Трансформатори струму вибираються за такими умовами [17]: за номінальним струмом; за допустимим навантаженням вторинного кола; за термічною та динамічною стійкістю. Результати вибору на стороні 110 кВ, на стороні 10 кВ та для кабельних ліній (КЛ) наведені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Трансформатори струму

Місце	Тип	$I_{\text{ном}}$, А	Z_2 , Ом	$Z_{\text{доп}}$, Ом	Висновок
ВН	ТВТ-110-300/5	300	0,69	1,2	Відповідає
НН	ТВТ-1000/5	1000	0,25	1,2	Відповідає
КЛ	ТЛК-10-600/5	600	0,2	0,4	Відповідає

Для НН: $Z_2 = 0,25 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$, умова виконується.

3.7.4 Вибір трансформаторів напруги. Трансформатори напруги вибираються за номінальною напругою; схемою з'єднання; класом точності; допустимою потужністю навантаження (3.9).

Таблиця 3.9 – Трансформатори напруги

Рівень	Тип	Клас	$S_{\text{ном}}$, ВА	$S_{\text{розр}}$, ВА	Висновок
110 кВ	НАМІ-110	0,5	1200	34	Відповідає
10 кВ	НАМІТ-10	0,5	225	44	Відповідає

3.7.5. Вибір ізоляторів. Вибір ізоляторів виконано відповідно до вимог ДСТУ EN 60383 [18] та положень ПУЕ [1] щодо механічної та електричної міцності ізоляції. Обрано тип ПІ-10/630-750 УХЛ1, які відповідають номінальній напрузі 10 кВ та забезпечують необхідну механічну міцність і електричну стійкість (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Вибір ізоляторів

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип	$U_{ном}, \text{кВ}$	$F_{доп}, \text{Н}$	$F_{розр}, \text{Н}$	Висновок
ІІ-10/630	10	450	33,72	Відповідає

Умова міцності виконується: $F_{доп}=450 \text{ Н} > F_{розр}=33,72 \text{ Н}$

3.7.6 Вибір трансформаторів власних потреб. Розрахункова потужність трансформаторів власних потреб: $S_{розр}=0,001 \cdot 7455,49=7,46 \text{ кВА}$. Обираємо 2 трансформатори ТСЗ-16/10.

3.7.7 Вибір шин

Сторона 110 кВ – обираємо провід АС-70/11.

$$I_{доп}=265 \text{ А} > I_{роб. макс}=46,29 \text{ А}$$

Сторона 10 кВ – обираємо алюмінієві шини перерізом 120×10 мм (табл. 3.11)

Таблиця 3.11 – Вибір шин

Рівень	Тип	Переріз	$I_{доп}, \text{А}$	$I_{роб}, \text{А}$	Висновок
110 кВ	АС-70/11	–	265	46,29	Відповідає
10 кВ	АІ	120×10 мм	2070	484,97	Відповідає

3.7.8 Захист від перенапруг. Для захисту обладнання від атмосферних і внутрішніх перенапруг застосовуються обмежувачі перенапруг (ОПН) [19]. Обрані пристрої (табл. 3.12) забезпечують надійний захист електрообладнання підстанції відповідно до вимог ПУЕ та стандартів.

Таблиця 3.12 – Обмежувачі перенапруг

Тип	$U_{ном}, \text{кВ}$	$U_{роб}, \text{кВ}$	Струм, кА
ОПН-110 УХЛ	110	73	5
ОПНН-110	110	73	1,5
ОПН-КР/ТЕЛ-10/12 УХЛ2	10	12	10

РОЗДІЛ 4.
ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Економіка

4.1.1 Техніко-економічні показники системи

Для оцінки ефективності спроектованої системи електропостачання цехів молочного заводу визначено основні техніко-економічні показники, які характеризують її потужність, режим роботи, рівень втрат та енергоспоживання [20]. Отримані результати розрахунків наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники системи електропостачання

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Установлена потужність	кВт	7327,9
Розрахункова активна потужність	кВт	6136,17
Повна розрахункова потужність	кВА	7455,49
Напруга зовнішнього електропостачання	кВ	110
Напруга внутрішнього електропостачання	кВ	10
Коефіцієнт потужності до компенсації	о.о.	0,82
Коефіцієнт потужності після компенсації	о.о.	0,89
Кількість і потужність трансформаторів ГПП	–	2×ТМН-6300/110
Конструктивне виконання ГПП	–	Двоблочна схема з вимикачами та неавтоматичною перемичкою
Максимальна заявлена потужність	кВт	6211,68
Кількість та потужність цехових підстанцій	–	12×400 кВА; 6×630 кВА
Схема внутрішнього електропостачання	–	Змішана
Річне споживання електроенергії	тис. кВт·год	27612,8
Компенсована реактивна потужність	квар	1709,55
Втрати активної потужності	кВт	53,88
Втрати електроенергії	тис. кВт·год	155,5

Аналіз показників табл. 4.1 показує, що спроектована система електропостачання забезпечує необхідний рівень потужності для живлення електроприймачів цехів молочного заводу при дотриманні вимог надійності та економічності.

Прийнята схема електропостачання з використанням напруги 110/10 кВ та встановленням двох силових трансформаторів на головній понижувальній підстанції забезпечує високу надійність електропостачання, зокрема можливість резервування живлення споживачів II категорії. Обрані параметри обладнання відповідають розрахунковим навантаженням і забезпечують допустимі режими роботи як у нормальних, так і в аварійних умовах.

Значення коефіцієнта потужності та впровадження заходів з компенсації реактивної потужності сприяють зниженню втрат електроенергії в мережі та підвищенню енергоефективності системи. Втрати активної потужності та електроенергії знаходяться в допустимих межах і не мають суттєвого впливу на загальні витрати підприємства.

Річне споживання електроенергії та відповідні експлуатаційні витрати, визначені з урахуванням тарифів станом на 2026 рік, підтверджують економічну доцільність прийнятих технічних рішень. Запроектowana система характеризується раціональним вибором схемних рішень, оптимальним підбором обладнання та ефективним використанням електричної енергії.

Таким чином, розроблена система електропостачання відповідає сучасним нормативним вимогам, забезпечує надійну та безпечну роботу електроустановок, а також є технічно обґрунтованою і економічно ефективною для умов функціонування молочного підприємства.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.2 Оцінка вартості електропостачання

Капітальні вкладення включають витрати на будівництво повітряної лінії та підстанції. Згідно нормативних методик НКРЕКП [21], базова вартість будівництва повітряної лінії (ПЛ) 110 кВ (станом на попередні роки) становила близько 1,9 млн грн/км (без ПДВ). З урахуванням інфляційних процесів, зростання вартості матеріалів та металоконструкцій, ускладнення логістики у 2022–2026 рр., реальна приведена вартість будівництва становить орієнтовно 10–30 млн грн/км. Таким чином, для довжини 5,2 км:

$$KL_{EP}=5,2 \cdot (10-30)=52-156 \text{ млн грн}$$

За даними інвестиційних програм та реалізованих проєктів в Україні [22], вартість будівництва або модернізації підстанцій даного класу напруги становить десятки мільйонів гривень. Наприклад, для об'єктів енергетичної інфраструктури витрати можуть становити десятки мільйонів гривень навіть для часткової реконструкції.

Орієнтовні капітальні витрати включають вартість силових трансформаторів, комутаційного обладнання, кабельних ліній, будівельно-монтажних робіт та пусконаладжувальних заходів.

Орієнтовна вартість нової підстанції 110/10 кВ може становити приблизно $K_{ГПШ} \approx 80-100$ млн грн. Загальні витрати (капітальні вкладення):

$$K_{\Sigma}=K_{L_{EP}}+K_{ГПШ}$$

$$K_{\Sigma}=(52-156)+(80-100)=132-256 \text{ млн грн}$$

Отже, загальний обсяг капітальних вкладень електропостачання становить приблизно 130–260 млн грн.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу експлуатаційних витрат входять:

- амортизаційні відрахування;
- витрати на технічне обслуговування;
- витрати на покриття втрат електроенергії.

Час використання максимального навантаження приймається:

$$T_{max}=4500 \text{ год/рік}$$

Час втрат визначається за залежністю:

$$\tau=(0,124+T_{max} 10000)^2 \cdot 8760 \approx 2886 \text{ год}$$

Втрати електроенергії включають втрати в повітряній лінії та втрати в трансформаторах.

Прийнята розрахункова вартість електроенергії для промислового споживача 6,50 грн/кВт·год (з ПДВ).

Річні витрати на покриття втрат визначаються: $I_{n.e.} = \beta \cdot \Delta E$

Загальні річні витрати: $I\Sigma = I_{ам} + I_{обс} + I_{n.e.}$

У відносному вигляді експлуатаційні витрати для підстанцій та ліній електропередач зазвичай становлять 3-6 % від капітальних вкладень на рік, що відповідає галузевим нормам.

4.2. Заходи електробезпеки

4.2.1 Захист від перенапруг та блискавки. Грозові перенапруги виникають унаслідок прямих ударів блискавки в електроустановку або поблизу неї, а також при індукованих впливах. Внутрішні перенапруги з'являються під час комутаційних процесів у нормальних і аварійних режимах роботи електричної мережі. Захист електрообладнання виконано відповідно до вимог ПУЕ [1] та ІЕС 60099 [19].

Захист повітряних ліній електропередачі від прямих ударів блискавки на підходах до відкритого розподільного пристрою (ОРУ) 110 кВ забезпечується підвісним двотросовим блискавкозахисним тросом на ділянці довжиною 2 км від підстанції. Кут захисту при цьому не перевищує 30°, що відповідає нормативним

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимогам. Додатково на кінцевих опорах встановлюються обмежувачі перенапруг типу ОПН-110.

У межах ОРУ-110 кВ для захисту силового трансформатора зі сторони високої напруги встановлюються обмежувачі перенапруг типу ОПН-110 без роз'єднувачів. У закритому розподільному пристрої (ЗРУ) 10 кВ застосовуються обмежувачі типу ОПН-10.

Найбільш високорозташованими елементами, що потребують захисту від прямих ударів блискавки, є гнучкі шини на висоті $h_x=9$ м.

Захист забезпечується встановленням шести стрижневих блискавковідводів висотою 20 м, розташованих по території підстанції. Відстані між блискавковідводами становлять:

- $a_1=22$ м;
- $a_2=21,5$ м;
- $L_{2-4}=30,74$ м.

При розміщенні двох і більше блискавковідводів утворюється спільна зона захисту, яка має більші розміри, ніж зона одного одиночного відводу.

Максимально допустима відстань між блискавковідводами визначається за формулою:

$$L_{max}=4,35 \cdot h=4,35 \cdot 20=87 \text{ м}$$

Гранична відстань без провисання зони захисту $L_c=2,25 \cdot h=45$ м

Оскільки фактична відстань між блискавковідводами менша за L_c , зона захисту не має провисання.

Параметри зони захисту одиночного блискавковідводу

$$h_0=0,72 \cdot$$

$$h=14,4 \text{ м}$$

$$r_0=0,7 \cdot h=14 \text{ м}$$

Радіус зони захисту на висоті шин

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{14(14,4 - 9)}{14,4} = 5,25 \text{ м}$$

Таким чином, усі струмопровідні частини підстанції знаходяться в межах надійної зони блискавкозахисту.

4.2.2 Розрахунок заземлювального пристрою. Розрахунок заземлювального пристрою виконано відповідно до вимог ПУЕ [1]. Площа підстанції становить 60×33 м. Ґрунт - глина, що відповідає питомому опору $\rho=40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Підстанція розташована у II кліматичній зоні.

Нормативний опір заземлювального пристрою: $R_3=0,5 \text{ Ом}$

Еквівалентний опір природних заземлювачів: $R_e=1,5 \text{ Ом}$

Необхідний опір штучного заземлювача

$$R_i = (R_e \cdot R_3) / (R_e - R_3) = 0,75 \text{ Ом}$$

Заземлювальний пристрій прийнято у вигляді сітки з 16 прямокутними комірками розміром 15×8,25 м із вертикальними електродами по периметру.

Характеристики електродів: довжина: 5 м; діаметр: 12 мм; глибина закладання: 0,8 м; горизонтальні провідники: сталева смуга 40×4 мм.

Розрахунок показав, що опір одного вертикального електрода: $R_e=8,01 \text{ Ом}$.

Остаточо визначено, що потрібно 11 вертикальних заземлювачів, рівномірно розташованих по периметру заземлювального контуру. Кількість електродів визначена з урахуванням коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження та проектування були зроблені наступні ключові висновки:

Більшість споживачів (лінії пастеризації, охолодження) віднесено до II категорії надійності, що потребує живлення від двох незалежних джерел. Системи АСУ ТП та безпеки класифікуються за I категорією. Через високу вологість та хімічну агресивність середовища обов'язковим є використання обладнання зі ступенем захисту IP65/IP67 та корозійностійких матеріалів (нержавіюча сталь).

Проект електропостачання цехів молочного заводу має враховувати специфічні вимоги до «харчового» виконання освітлення та обов'язкове встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) у вологих зонах.

Було виконано розрахунок електричних навантажень цехів молочного заводу. На основі вихідних даних визначено силові та освітлювальні навантаження окремих споживачів, а також сумарні активні, реактивні та повні потужності підприємства.

В результаті розрахунків встановлено, що повна розрахункова потужність навантаження на рівні 0,4 кВ становить 7455,49 кВА. З урахуванням втрат потужності в трансформаторах та компенсації реактивної потужності визначено необхідну потужність компенсуювальних пристроїв, яка складає 1709,55 кВАр.

Застосування батарей статичних конденсаторів дозволяє зменшити рівень реактивної потужності, що передається від енергосистеми, та підвищити коефіцієнт потужності підприємства. Визначено також втрати потужності в трансформаторах і компенсуювальних пристроях.

Отримані результати є основою для подальшого проектування системи електропостачання, зокрема вибору трансформаторів, схеми електропостачання та електрообладнання підприємства.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконано розрахунок електричних навантажень цехів молочного заводу та розроблено раціональну схему електропостачання з урахуванням особливостей технологічного процесу.

Визначено встановлені та розрахункові навантаження, побудовано графіки навантажень і визначено центр електричних навантажень, що дозволило вибрати місце розташування трансформаторної підстанції.

Обґрунтовано вибір схеми електропостачання цехів з урахуванням категорії надійності споживачів та необхідності резервування живлення. Виконано вибір силових трансформаторів, розраховано їх навантаження та перевірено відповідність робочим режимам.

Здійснено розрахунок струмів короткого замикання, що є необхідною умовою для правильного вибору комутаційного та захисного обладнання. На основі отриманих значень виконано вибір апаратури та перевірено її за умовами термічної та електродинамічної стійкості.

Крім того, визначено параметри кабельних ліній, виконано їх перевірку за допустимими струмовими навантаженнями, умовами нагрівання та падінням напруги. Розрахунки підтвердили правильність вибору перерізів провідників та забезпечення допустимих режимів роботи мережі.

Проаналізовано економічну ефективність проєктованої системи електропостачання. Визначено основні статті витрат на обладнання, монтаж та експлуатацію системи. Розрахунки підтверджують економічну доцільність обраних технічних рішень.

Розглянуто питання заходів електробезпеки та охорони праці.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ, 2017. 617 с.
2. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 103 с.
3. ДСТУ 9324:2025. Настанова щодо проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025.
4. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ, 2001. 120 с.
5. ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023.
6. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств. Київ: Каравела, 2018. 272 с.
7. Вимоги до безпечності та якості молока і молочних продуктів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0593-19> (дата звернення: 15.04.2026).
8. Харченко В. Ф. Електропостачання міст та промислових підприємств. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 238 с.
9. Мороз О. С., Теличко В. М., Савченко О. В. Електропривод та автоматизація установок і систем. Київ: Кондор, 2011. 444 с.
10. Теличко В. М. Електропривод підйомно-транспортних та технологічних машин харчових виробництв. Київ: НУХТ, 2008. 180 с.
11. Пушкаш М. М., Геревич О. В. Проектування підприємств молочної галузі. Ужгород: УжНУ, 2015. 164 с.
12. Рубаненко О. О. Основи проектування енергетичних об'єктів в АПК. Вінниця: ВНАУ, 2017. 94 с.
13. Кириленко О. В. та ін. Системи електропостачання з активним споживачем: моделі та режими. Київ: АБЕРС, 2016. 182 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. ДСТУ EN 62271-1:2018. Пристрої контрольні розподільчі високовольтні. Частина 1. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
15. ДСТУ EN 60269. Плавкі запобіжники низьковольтні. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
16. ДСТУ EN 60044. Вимірювальні трансформатори. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
17. ДСТУ EN 60383. Ізолятори для повітряних ліній. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
18. ІЕС 60099. Surge arresters (Розрядники для захисту від перенапруг).
19. Мельник Л. Г., Сотник І. М. Економіка енергетики. Суми: Університетська книга, 2015. 431 с.
20. Документи НКРЕКП. URL: <https://www.nerc.gov.ua/dokumenti> (дата звернення: 15.04.2026).
21. Інвестиційний атлас України. UkraineInvest, 2024. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua> (дата звернення: 15.04.2026).
22. Голінько В. І. Електробезпека. Дніпро: НГУ, 2010. 76 с.
23. Бондаренко Є. А. Охорона праці в електроенергетиці. Вінниця: ВНТУ, 2022. 138 с.
24. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за освітньо професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво / відпов. за випуск Попов С., Басова Ю., Семенов А., Бичков Я. Полтава: ПДАУ, 2022. 32 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].14.00.00.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

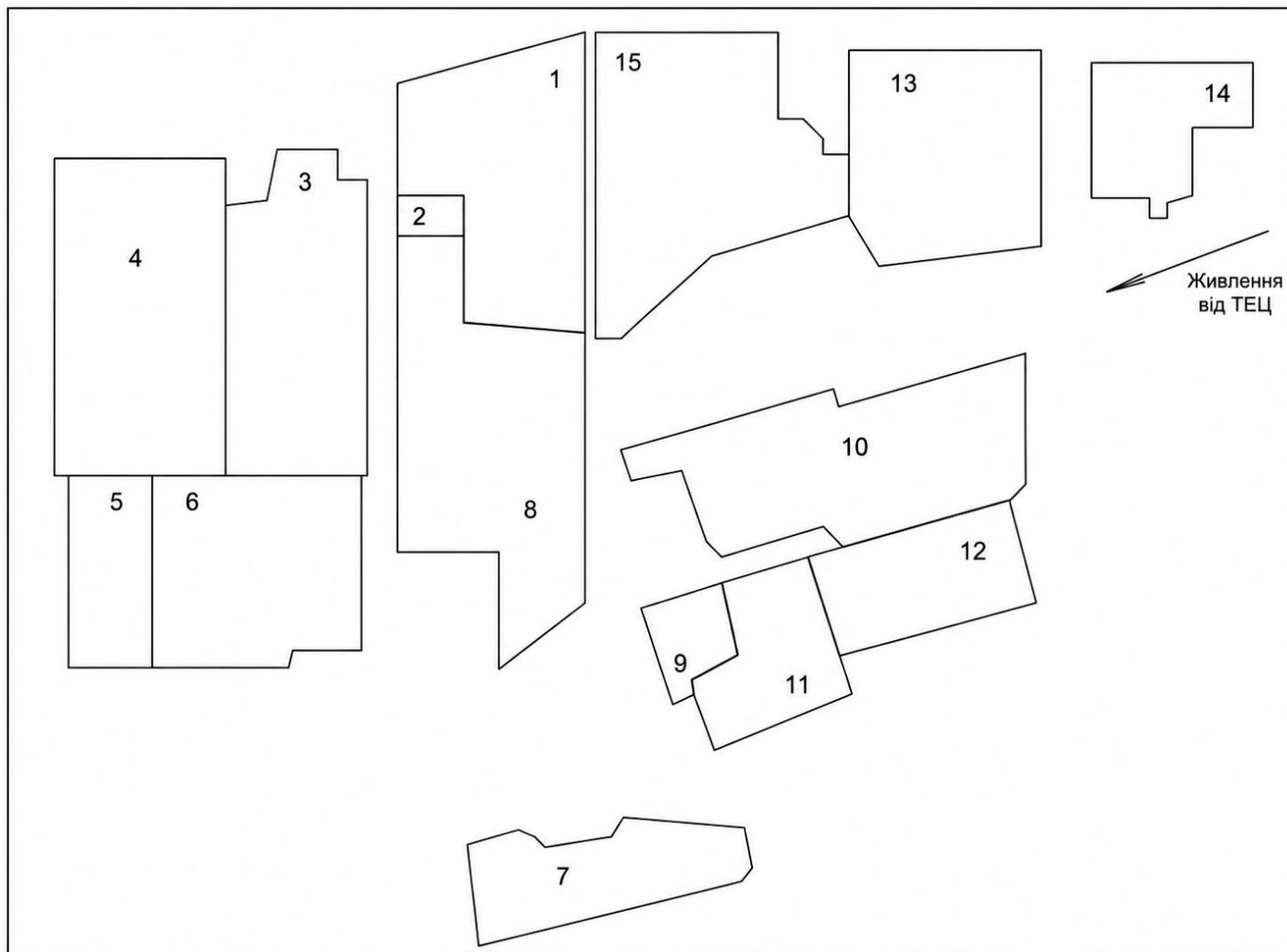


Рисунок 1.1 - Загальний план підприємства

Додаток Б

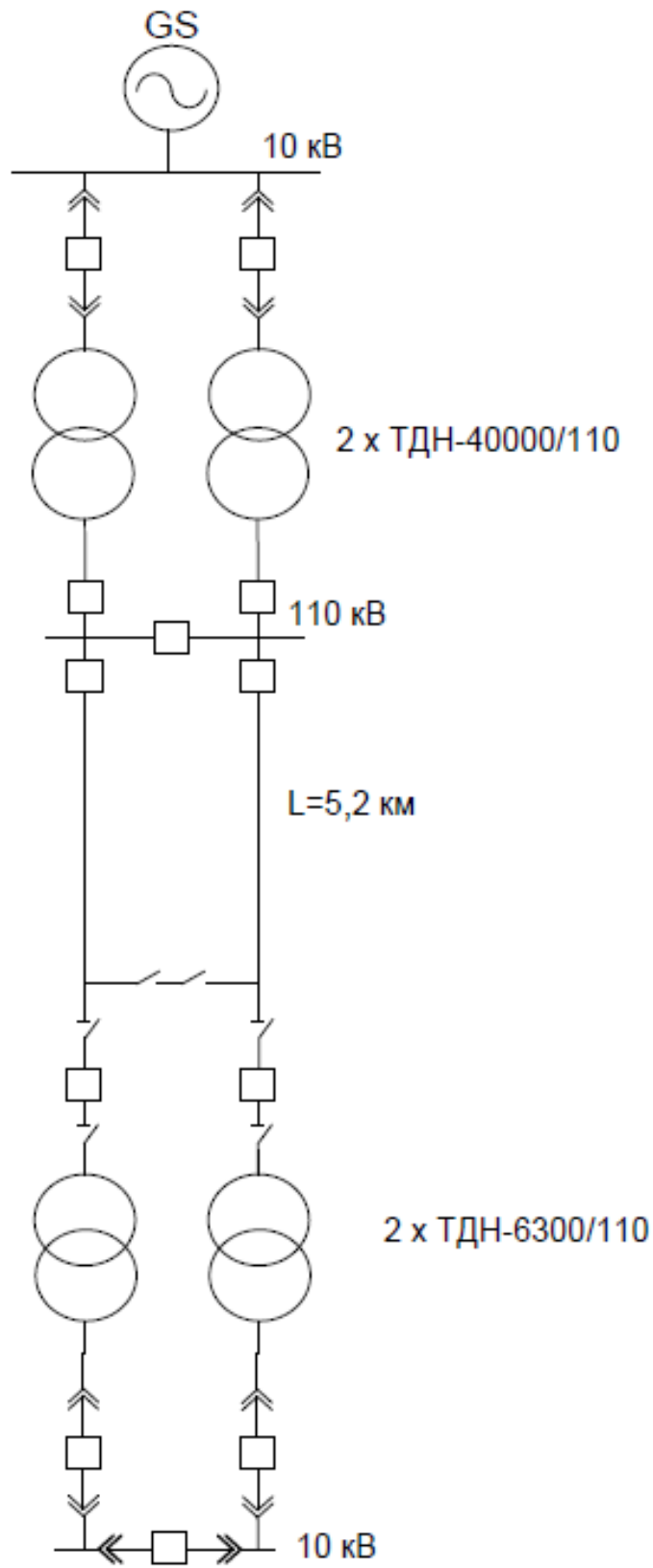


Рисунок Б.1 – Схема зовнішнього електропостачання