

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

Аналіз системи електропостачання цукрового заводу Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" у селищі Томашпіль Вінницької області

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЕ-21Б спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шкулепа І. В.

Керівник: к.т.н., доцент доц. ЕСЕМ
Кравець О. М.

«16» 08 2025 р.

Рецензент: доц. каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Немрецький В.В.
«17» 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСЕМ
д.т.н., професор Бурбело М. Й.

«16» 06 2025 р.

Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

« 20 » 03 2025р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шкулепа Ілля Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз системи електропостачання цукрового заводу Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" у селищі Томашпіль Вінницької області

керівник роботи Кравець Олександр Миколайович, к.т.н., доц.,
затверджені наказом по ВНТУ від « _____ 2025 року, № _____

2. Строк подання студентом роботи « _____ 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Генплан підприємства; план одного із цехів з технологічними плануваннями, відомості про особливості технологічних процесів; відомості про електричні навантаження підприємства та цеху; відомості про джерела живлення; відомості про перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

Анотація.

Зміст

Вступ

1 Загальні відомості про підприємство

1.1 Короткий опис процесу

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

2 Розрахунок системи електропостачання підприємства

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

2.2 Вибір та розміщення підстанції

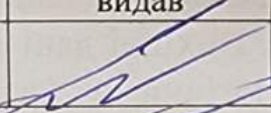
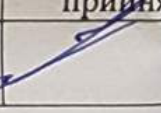
2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

2.2.2 Техніко-економічне порівняння двох класів напруги живлення

2.2.3 Вибір трансформатора ГПП

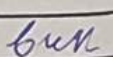
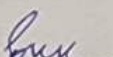
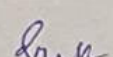
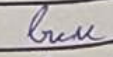
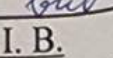
2.2.4 Вибір цехових ТП та їх розміщення

- 2.3 Розрахунок електропостачання підприємства
 - 2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання
 - 2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі
 - 2.3.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка вибраних вимикачів
- 2.4 Розрахунок електропостачання цеху
 - 2.4.1 Вибір схеми цехової мережі
 - 2.4.2 Підбір комутаційно-захисного обладнання та провідників мережі цеху
 - 2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В
- 3 Оцінка якості електроенергії на підприємстві «Зелена долина»
 - 3.1.2 Вплив несиметричних навантажень на роботу електроприймачів
 - 3.1.3 Вплив вищих гармонік на підприємстві
- 3.2 Аналізатор мережі Sonel PQM-700
- 3.3 Засоби покращення якості електроенергії
 - 3.3.1 Методи зниження рівня гармонік
 - 3.3.2 Зниження несиметрії напруг
- 4 Охорона праці
- Висновки
- Список використаних джерел
- Додатки
- 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальні відомості про підприємство	10.03.2025	
2	Розрахунок системи електропостачання підприємства	22.04.2025	
3	Оцінка якості електроенергії на підприємстві «Зелена долина»	17.05.2025	
4	Охорона праці	20.05.2025	
4	Графічна частина роботи	30.05.2025	

Студент

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Нормоконтроль

(підпис)

(підпис)

(підпис)

Шкулепа І. В.

(прізвище та ініціали)

Кравець О.М.

(прізвище та ініціали)

Войтюк Ю.П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шкулепа Ілля Володимирович. Аналіз системи електропостачання цукрового заводу Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" у селищі Томашпіль Вінницької області. Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Кафедра ЕСЕЕМ – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, 2025 – 74 с.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки системи електропостачання для цукрового заводу ТОВ «Зелена долина», розташованого у смт Томашпіль Вінницької області. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення надійного, енергоефективного та безпечного електропостачання підприємств з безперервним циклом роботи. У роботі виконано аналіз структури енергоспоживання заводу, розрахунок електричних навантажень основних цехів, проектування схеми живлення, техніко-економічне обґрунтування вибору класу напруги та електротехнічного обладнання. Проведено розрахунки струмів короткого замикання, перевірено вибрані кабелі та вимикачі на відповідність умовам термічної та електродинамічної стійкості. Також досліджено вплив показників якості електроенергії на роботу електроприймачів та запропоновано засоби її покращення. Результати роботи можуть бути використані для модернізації або проектування систем електропостачання аналогічних промислових об'єктів.

Рисунків – 15

Таблиць – 22

Бібліографій – 28

ABSTRACT

Shkulepa Illia Volodymyrovych Analysis of the power supply system of the sugar factory of the Limited Liability Company "Zelena Dolina" in the village of Tomashpil, Vinnytsia region. Specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics. - Department of ESEEM - Vinnytsia: VNTU, FEEEM, 2025 - 74 p.

The bachelor's qualification work considers the issue of developing a power supply system for the sugar factory LLC "Zelena Dolina", located in the town of Tomashpil, Vinnytsia region. The relevance of the topic is due to the need to ensure reliable, energy-efficient and safe power supply of enterprises with a continuous work cycle. The work includes an analysis of the plant's energy consumption structure, calculation of electrical loads of the main workshops, design of the power supply circuit, feasibility study of the choice of voltage class and electrical equipment. Calculations of short-circuit currents were performed, selected cables and switches were checked for compliance with the conditions of thermal and electrodynamic stability. The influence of electricity quality indicators on the operation of electrical receivers was also studied and means of its improvement were proposed. The results of the work can be used to modernize or design power supply systems of similar industrial facilities.

Figures – 15

Table – 22

Bibliography – 28

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	9
1.1 Короткий опис процесу	9
1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства	10
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	13
2.1 Розрахунок електричних навантажень	13
2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі	13
2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства	17
2.2 Вибір та розміщення підстанції	20
2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення	20
2.2.2 Техніко-економічне порівняння двох класів напруги живлення	21
2.2.3 Вибір трансформатора ГПП	24
2.2.4 Вибір цехових ТП та їх розміщення	25
2.3 Розрахунок електропостачання підприємства	30
2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання	30
2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі	30
2.3.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка вибраних вимикачів	33
2.4. Розрахунок електропостачання цеху	37
2.4.1 Вибір схеми цехової мережі	37
2.4.2 Підбір комутаційно-захисного обладнання та провідників для мережі цеху	37
2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В	41
3 ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ «ЗЕЛЕНА ДОЛИНА»	45
3.1.2 Вплив несиметричних навантажень на роботу електроприймачів	51
3.1.3 Вплив вищих гармонік на підприємстві	54
3.2 Аналізатор мережі Sonel PQM-700	56
3.3 Засоби покращення якості електроенергії	61
3.3.1 Методи зниження рівня гармонік	61
3.3.2 Зниження несиметрії напруг	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	65

	4
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах	65
4.1.2 Електробезпека	67
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	69
4.2.1 Мікроклімат	69
4.2.2. Склад повітря робочої зони	70
4.2.3 Виробниче освітлення	71
4.2.4. Виробничий шум	72
4.3 Пожежна безпека	73
ВИСНОВОК	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	79
ДОДАТОК А Вихідні дані	80
ДОДАТОК Б ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	82
ДОДАТОК В Картограма електричних навантажень	83
ДОДАТОК Г Однолінійна схема	84
ДОДАТОК Д План цеху	85
ДОДАТОК Е Розрахунково-монтажна таблиця	86

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасному етапі розвитку промисловості та енергетики особливої актуальності набувають питання забезпечення надійного, економічного та енергоефективного електропостачання виробничих підприємств, особливо таких, що мають значну потужність і безперервний цикл роботи, як цукрові заводи. Українська цукрова галузь є важливим елементом агропромислового комплексу країни, і стабільність її функціонування прямо залежить від ефективності електропостачання.

ТОВ «Зелена долина», що розташоване у смт Томашпіль Вінницької області, є одним із провідних представників цієї галузі. Його виробничі потужності включають декілька цехів, що працюють у три зміни протягом сезону цукроваріння, а також допоміжні об'єкти інфраструктури. Порушення у забезпеченні електроенергією може призвести до простоїв технологічного обладнання, зниження якості продукції, матеріальних збитків, а також негативного впливу на навколишнє середовище.

Крім того, сучасні вимоги до промислової енергетики вимагають врахування не лише поточних умов експлуатації, а й можливостей подальшої модернізації, автоматизації та інтеграції з системами диспетчерського керування. У зв'язку з цим, розробка сучасної, безпечної та адаптованої до змін конфігурації системи електропостачання цукрового заводу є надзвичайно важливою.

Мета роботи. Головною метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є виконання детального аналізу електропостачання підприємства ТОВ «Зелена долина» з урахуванням особливостей його структури та навантажень, проектування вдосконаленої системи електропостачання, яка б відповідала вимогам надійності, енергоефективності, безпеки та економічної доцільності. У процесі реалізації поставленої мети також передбачається використання сучасних методів техніко-економічного обґрунтування, перевірка

працездатності схем в аварійних і нормальних режимах роботи, а також оцінка технічного стану обладнання.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати структуру енергоспоживання та основні виробничі процеси підприємства.
2. Провести розрахунок активних і реактивних навантажень окремих цехів, ураховуючи типові режими роботи електроприймачів.
3. Розробити принципову схему живлення підприємства, обґрунтувати вибір конфігурації та схеми розподілу електроенергії.
4. Виконати техніко-економічне обґрунтування вибору класу напруги, трансформаторного обладнання, кабельних ліній, захисної апаратури.
5. Розрахувати струми короткого замикання та перевірити вибрані елементи системи на стійкість до аварійних режимів.
6. Проектувати розташування трансформаторних підстанцій відповідно до картограми навантажень і центру тяжіння енергоспоживання.
7. Надати рекомендації щодо підвищення енергоефективності та зменшення втрат електроенергії в системі постачання.

Об'єкт дослідження — система електропостачання промислового підприємства ТОВ «Зелена долина», яке спеціалізується на переробці цукрових буряків у сезонному режимі роботи з високим рівнем енергоспоживання.

Предмет дослідження — технічні рішення, принципи побудови, методи аналізу та проектування систем електропостачання, що забезпечують безперервне функціонування технологічного обладнання, включаючи вибір напруги живлення, електротехнічного обладнання, методики розрахунку навантажень та забезпечення електробезпеки.

Методи, використані у роботі: У дослідженні застосовуються аналітичні, розрахункові та графічні методи. Розрахунки виконані згідно з чинними нормативними документами (ПУЕ, ДСТУ, РТМ), із використанням методів коефіцієнтів попиту, використання, одночасності, а також побудовою

картограм навантажень, що дозволяє оптимізувати розміщення електротехнічних вузлів на території заводу.

Таким чином, дана кваліфікаційна робота має на меті не лише теоретичне обґрунтування, але й практичну реалізацію інженерних рішень для оптимального забезпечення електропостачання важливого промислового об'єкта в умовах сучасних викликів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис процесу

Цукрове виробництво характеризується як безперервно-потоковий процес із високим рівнем механізації та автоматизації основних технологічних операцій. Воно тісно пов'язане з різними секторами економіки. Відходи цукровиробництва застосовують у тваринництві, як добрива, для виготовлення спирту, кормових дріжджів, органічних кислот та сухого жому. Діяльність цукрових заводів має сезонний характер.

Технологія виготовлення цукру включає низку ключових етапів: миття буряків, нарізання їх на стружку, отримання дифузійного соку, його очищення, випарювання для утворення сиропу, кристалізація цукру, відокремлення кристалів, їх сушіння та пакування.

Буряки, доставлені з полів, зберігають у кагатах. Потім їх направляють до мийного цеху, де очищають у спеціалізованих машинах від бруду, піску й інших домішок. Очищені коренеплоди транспортують на конвеєр для огляду. Далі буряки подрібнюють на тонку стружку за допомогою барабанних різальних пристроїв. Дифузійний сік витягують із стружки в апаратах безперервної дії через процес дифузії. Залишки стружки віджимають на шнекових пресах, отримуючи жом.

Очищення дифузійного соку відбувається в кілька етапів. Спершу застосовують вапняне молоко для видалення некритичних речовин у котлах-дефекаторах – цей процес називають дефекацією. Під час дефекації сік забруднюється вапном, тому його обробляють вуглекислим газом у сатураторах – це сатурація. Після цього сік фільтрують.

Для очищення соку застосовують вакуумні фільтри, фільтр-преси або механічні фільтрувальні пристрої. Процес випарювання соку проводять у випарювальних апаратах, які усувають надлишкову вологу. Очищений сироп піддається уварюванню у вакуумних установках, конструкція яких подібна до

випарних. Кристали цукру виділяють у центрифугах, використовуючи відцентрову силу. Стінки центрифуг мають сітчасту поверхню, через яку відокремлюється рідина, відома як зелена патока. Цю патоку повторно обробляють у вакуумних апаратах, отримуючи мелясу та цукор жовтого кольору. Після зупинки центрифуг цукор подається на транспортер і направляється до сушильних барабанів. Висушений цукор пакують у мішки вагою 40 кг і зберігають на складах.

1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

Томашпільський цукровий завод у період виробництва цукру забезпечується електроенергією від власної теплоелектроцентралі (ТЕЦ). У міжсезонний період електропостачання може здійснюватися від районної трансформаторної підстанції (РТП) 110/35/10 кВ, розташованої за сім км від території заводу. Кількість годин використання пікового навантаження становить $T_m = 4$ к годин. У сезон цукроваріння підприємство функціонує у тризмінному режимі.

Вихідні дані для розрахунку:

Таблиця 1.1 - Вхідні дані про електричні навантаження заводу

Назва цеху	Навантаження, кВт
1. Газова піч	365
2. Мийний відділ	117
3. Цукровий склад	46
4. Бурякоперероблювальний цех	—
5. Котельня	782
6. Турбінний зал	610
7. Гараж	51
8. Матеріальні склади	22
9. Приймний пункт	60
10. Головний корпус	1050
11. Прохідна	26

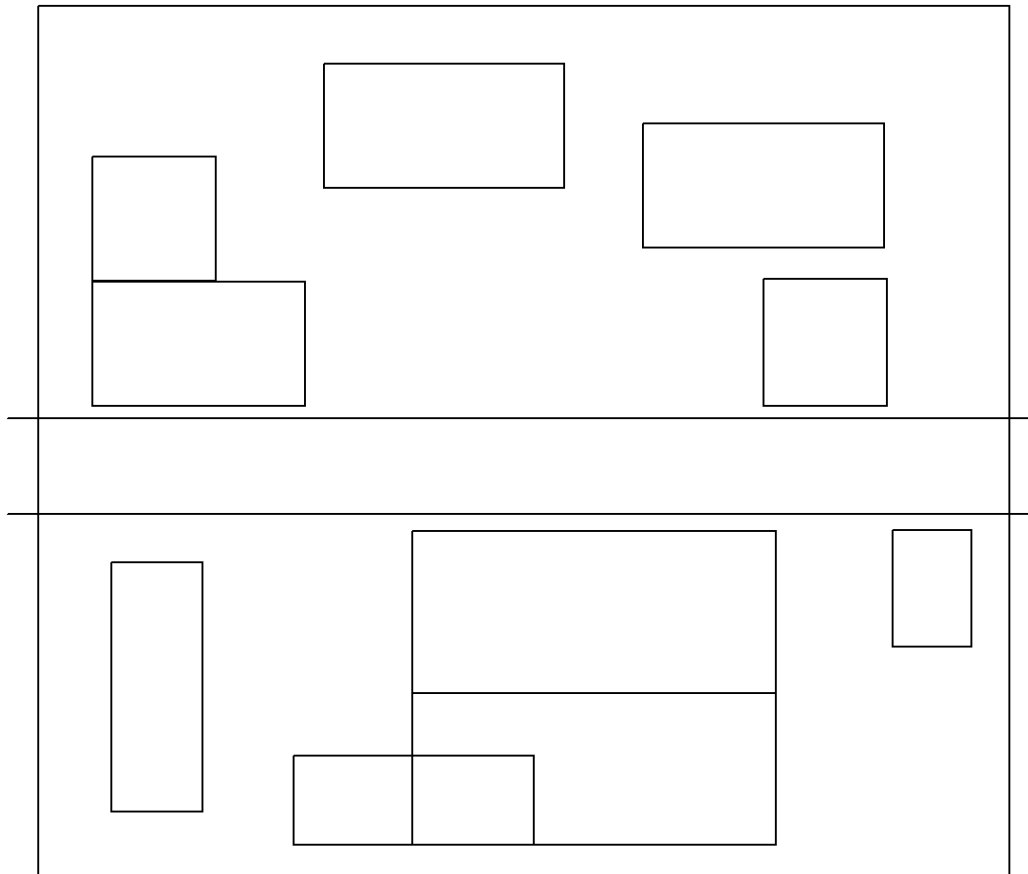


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

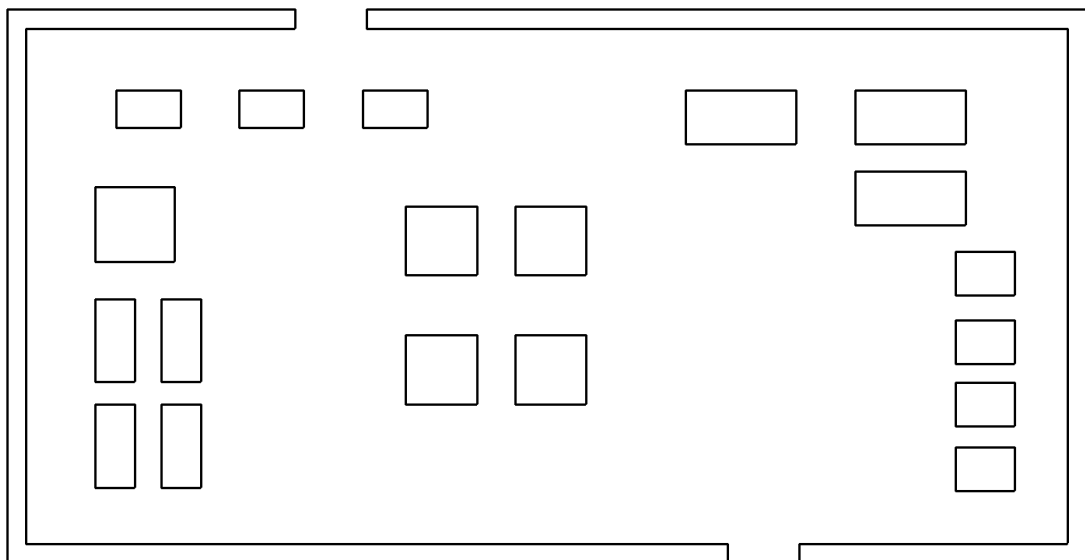


Рисунок 1.2 – План виробничого цеху

Таблиця 1.2 – Відомості про споживачів цеху

№ на плані	Найменування ЕП	n, шт	Потужність споживачів цеху
1-4	Дифузійний апарат	4	21
5	Мішалка жому	1	14
6-8	Жомові насоси	3	32
9	Мийка буряків	1	17
10-11	Компресор	2	14
12-15	Шнеки	4	11
16-19	Фільтри	4	16

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок електричних навантажень

2.1.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

Живлення електроприймачів (ЕП) здійснюється через 2 розподільчі пристрої які живляться від трансформаторної підстанції РУ-0,4 кВ ТП1. (рис. 2.1).

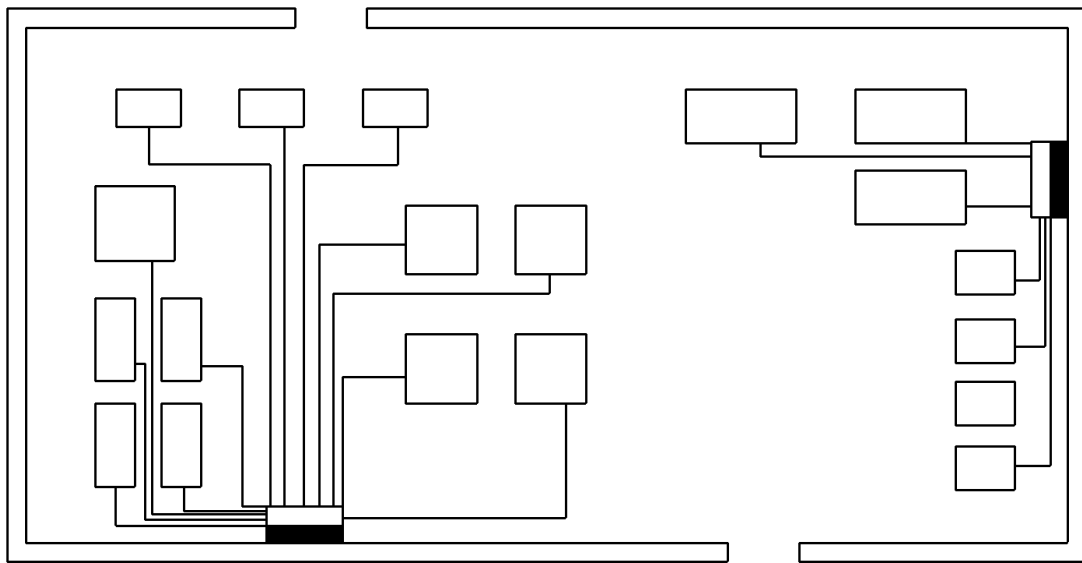


Рисунок 2.1 – План електропостачання цеху

Розрахунок виконаємо в табличній формі (форма Ф636-92) згідно з РТМ 36.18.32.4-92.

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, що забезпечують живлення двох чи трьох ЕП (І рівень), встановлюються на рівні їхніх номінальних значень:

$$P_p = P_n, \quad Q_p = \operatorname{tg} \varphi_n \cdot P_n; \quad (2.1)$$

де P_n – активна потужність ЕП, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності.

Номинальні параметри визначаються на основі паспортних характеристик електрообладнання. У разі відсутності таких даних їх розраховують.

$\operatorname{tg} \varphi_H = 0.75$ - для ЕП тривалого режиму роботи і $\operatorname{tg} \varphi_H = 0.18$ для ЕП повторно-короткочасного.

Для електроприймачів повторно-короткочасного режиму номінальна потужність приводиться до тривалого режиму роботи:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{T_{\text{ПВ.паса}}} \quad (2.2)$$

де $P_{\text{пасп}}$ – паспортні номінальна потужність, кВт.

$T_{\text{ПВ.паса}}$ - відносна тривалість повторного ввімкнення відповідно, с.

Розрахункове навантаження для живильних мереж із напругою до 1 кВ обчислюють за відповідними формулами:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \quad ; \quad (2.3)$$

$$Q_P = \begin{cases} P_P \operatorname{tg} \sum_{i=1}^n k_{Bi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci} & \text{при } n \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n k_{Bi} \operatorname{tg} \varphi_{Ci} & \text{при } n > 10 \end{cases} \quad (2.4)$$

Для магістральних шинопроводів:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot P_{Hi} \quad ;$$

$$Q_P \operatorname{tg} K_P : \sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot \varphi_{Ci} \quad (2.5)$$

де K_P – коефіцієнт розрахункового максимуму активної потужності;

n_e - ефективне число ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_C$ – усереднені значення для даного типу ЕП.

Значення K_P можна визначити з [6].

Середні значення активної та реактивної потужності обчислюються за виразом:

$$P_C = K_B \cdot P_H; \quad Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.6)$$

Груповий коефіцієнт використання та ефективне число ЕП обчислюються за виразом:

$$K_B = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Bi} \cdot H_i}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}; \quad (2.7)$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{Hi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}. \quad (2.8)$$

Розрахункове значення n_e округляється до меншого цілого числа.

За [6] таблицею 1 визначаємо коефіцієнт максимуму $K_P = f(K_B; n_e)$.

Знаходимо значення повної розрахункової потужності:

$$S_P = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (2.9)$$

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} U_H}. \quad (2.10)$$

де U_H – номінальна напруга, кВ.

Обчислення силового навантаження для РП1:

$$P_C = 58.80 + 7.70 + 72.00 + 25.60 = 164.10 \text{ (кВт)};$$

$$Q_C = 30.12 + 6.79 + 57.76 + 36.90 = 131.58 \text{ (кВар)};$$

$$K_B = \frac{164.10}{258} = 0.64$$

$$n_e = \frac{258^2}{6056.00} \approx 11 \text{ (т. л)}$$

Із джерела [1, таблиця 1.1] визначаємо $K_p = 1.02$ звідси:

$$P_p = 164.10 \cdot 1.02 = 167.382 \text{ (кВт)};$$

$$Q_p = 1.1 \cdot 167.382 = 144.739 \text{ (кВар)};$$

$$S_p = \sqrt{167.382^2 + 144.739^2} = 221.283 \text{ (кВА)};$$

$$I_p = \frac{221.283}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 336.60 \text{ (А)}.$$

Розрахунки електричних навантажень мережі записуємо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

№	Назва	Силове навантаження															
		n	P _н , кВт	P _{нр} , кВт	KB	cosφ	tgφ	n×K _в ×P _н	n×KB×QH	n×P _н ²	ne	КР	P _р , кВт	Q _р , квар	Sp, ква	I _{ном} , А	
1 – 4	Дифузійний апарат	4	21	84	0.7	0.89	0.51	58.80	30.12	1764.00							
5	Мийка жому	1	14	14	0.55	0.75	0.88	7.70	6.79	196.00							
6 – 8	Жомові насоси	3	32	96	0.75	0.78	0.80	72.00	57.76	3072.00							
16 – 19	Фільтри	4	16	64	0.4	0.57	1.44	25.60	36.90	1024.00							
	РП1	12	83	258	0.64	-	3.64	164.10	131.58	6056.00	11	1.020	167.382	144.739	221.283	336.60	
9	Мийка буряків	1	17	17	0.45	0.88	0.54	7.65	4.13	289.00							
10 – 11	Компресор	2	14	28	0.75	0.88	0.54	21.00	11.33	392.00							
12 – 15	Шнеки	4	11	44	0.6	0.85	0.62	26.40	16.36	484.00							
	РП2	7	42	89	0.62	-	1.70	55.05	31.82	1165	7	1.03	56.867	35.007	66.778	101.58	
	Всього по цеху	19	125	347	0.63	-	-	219.15	163.41	7221.00	17	1.00	219.150	179.747	283.435	431.15	
											T0=2.5год		0.88	192.852	179.747	263.630	401.02

2.1.2 Розрахунок навантажень підприємства

Загальне навантаження цукрового заводу формується на основі навантажень окремих цехів підприємства. Виконаємо розрахунок силового навантаження, враховуючи особливості роботи кожного виробничого підрозділу та їх електроспоживання. Для цього використовуємо паспортні дані електрообладнання, коефіцієнти використання та попиту, а також враховуємо сезонний характер роботи заводу. Розрахунки проводимо з урахуванням максимального навантаження для забезпечення стабільної роботи системи електропостачання..

$$P_p = K_{\Pi} \cdot P_{уст}; \quad (2.11)$$

$$P_p = 46 \cdot 0.65 = 29.9 \text{ (кВт)}$$

де K_{Π} – коефіцієнт попиту;

$P_{уст}$ –установлена сумарна потужність корпусу, (кВт)

Розрахункова потужність освітлення визначається на основі питомої густини навантаження на 1 м² корисної площі виробничих будівель [1]. Залежно від типу приміщення, специфіки робіт і висоти стелі використовуються люмінесцентні, дугові ртутні (ДРЛ) або світлодіодні (LED) лампи.

Розрахуємо для освітлення газової печі:

$$P_{мо} = P_{пит.о} \cdot K_{пра} \cdot K_{по} \cdot F; \quad (2.12)$$

$$P_{мо} = 1172 \cdot 0.01700 \cdot 1.2 \cdot 0.85 = 20.32 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{мо} = P_{мо} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (2.13)$$

$$Q_{мо} = 20.32 \cdot 0.1 = 2.03 \text{ (кВар)}$$

де $P_{мо}$ – розрахункова потужність, яка необхідна для освітлення ділянки, кВт;

$P_{пит.о}$ – розрахункова потужність, яка необхідна для освітлення ділянки, кВт;

$P_{пит.о}$ – питомі густина освітлювального навантаження, кВт / м² [2];

$Q_{\text{мо}}$ – розрахункова реактивна потужність, необхідна для освітлення дільниці, кВАр;

Площа цеху, яка визначається по генплану, м^2 .

Коефіцієнт попиту освітлювального навантаження [1];

Коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі [1];

Повна (S) розрахункова потужність визначається за формулою 2.14:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (2.14)$$

де P_{ps} – сумарна розрахункова активна потужність цеху, кВт;

$$P_M = P_{\text{мс}} + P_{\text{мо}}; \quad (2.15)$$

$$P_M = 29.9 + 20.32 = 50.22 \text{ (кВт)}$$

Сумарна розрахункова реактивна потужність цеху, кВАр.

$$Q_M = Q_{\text{мс}} + Q_{\text{мо}}; \quad (2.16)$$

$$Q_M = 22.43 + 2.03 = 24.46 \text{ (кВАр)};$$

$$S_M = \sqrt{50.22^2 + 24.46^2} = 55.86 \text{ (кВА)}.$$

Для інших цехів обчислення проводимо аналогічно та записуємо результати до таблиці 2.2.

Загальну розрахункову активну потужність заводу визначаємо за формулою:

$$P_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (P_{\text{м1}} + P_{\text{м2}} + \dots + P_{\text{мп}}); \quad (1.17)$$

$$P_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (268.56 + 75.97 + \dots + 15.45) = 2429.64 \text{ (кВт)}$$

де $P_{\text{мсум}}$ - активна потужність заводу, кВт;

K_0 – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження, вибираємо

рівним 0.95, за наявності двох приєднань на стороні 10 кВ ($n=2$) та коефіцієнта використання в межах $0,3 \leq K_B < 0.5$ [1];.

Сумарну розрахункову реактивну потужність заводу обчислимо за формулою [2]:

$$Q_{\text{мсум}} = K_0 \cdot (Q_{\text{м1}} + Q_{\text{м2}} + \dots + Q_{\text{мn}}); \quad (1.18)$$

$$Q_{\text{мсум}} = 0.95 \cdot (192.93 + 62.49 + \dots + 179.99) = 2196.68 \text{ (кВАр)}$$

де $Q_{\text{м1}}$ – реактивна потужність освітлення на заводу, кВАр;

$Q_{\text{мк}}$ – реактивна потужність заводу, кВАр.

Повне сумарне навантаження цукрового заводу Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" визначаємо за формулою:

$$S_p = \sqrt{2429.64^2 + 2196.68^2} = 3275.45 \text{ (кВА)}$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень заводу

192.93	330.67	0.4133
62.49	98.37	0.2435
24.46	55.86	0.0477
164.71	284.69	0.3559
438.48	771.16	1.0892
656.73	840.33	2.0800
27.63	41.45	0.0691
9.77	16.02	0.0568
21.48	34.63	0.1228
513.63	868.23	0.5566
179.99	180.65	0.9765
2196.68	3275.45	0.4551

2.2 Вибір та розміщення підстанції

2.2.1 Вибір оптимальної напруги живлення

Вибір номінальної напруги елементів електричної мережі є комплексним техніко-економічним завданням, яке виконується на етапі розробки схеми електропостачання шляхом порівняльного аналізу можливих варіантів. Під час проектування для визначення напруги ліній електропередачі застосовується формула Стілла, яка враховує технічні параметри системи, втрати електроенергії та економічні аспекти. Ця формула дозволяє оптимізувати вибір напруги, забезпечуючи баланс між ефективністю передачі електроенергії та витратами на обладнання. Для Томашпільського цукрового заводу розрахунок враховує відстань до РТП (7 км).

$$U_{\text{ек}} = 4.34 \cdot \sqrt{l + 16P_{\text{м}}} \text{ (кВ)}. \quad (2.19)$$

де L — довжина лінії, км;
 $P_{\text{р}}$ розрахункова активна потужність;
 N — кількість ліній електропередачі, шт.

Формула Стілла застосовується для ліній електропередачі завдовжки до 250 км із передачею потужності до 60 МВт. При розрахунку напруги за цією формулою зазвичай отримуємо нестандартне значення. Для подальших обчислень використовуємо найближчі стандартні напруги — більшу та меншу порівняно з розрахунковим значенням. Наступні розрахунки виконуємо для всіх відібраних варіантів стандартних напруг, враховуючи технічні характеристики мережі Томашпільського цукрового заводу та його сезонний режим роботи.

$$U_{\text{л}} = 4.34 \cdot \sqrt{3 + 16 \cdot 243} = 28.08 \text{ (кВ)}$$

На основі даних про рівні напруги на районній трансформаторній підстанції та визначеної оптимальної нестандартної напруги для техніко-економічного аналізу обираємо два варіанти схеми зовнішнього електропостачання зі стандартними напругами 35 кВ і 10 кВ, враховуючи

віддаленість підстанції від Томашпільського цукрового заводу (7 км) та вимоги до надійності електрозабезпечення.

2.2.2 Техніко-економічне порівняння двох класів напруги живлення

рім того, для оцінки доцільно застосовувати зведені річні витрати:

$$ЗВ = d(K - Л) + C \quad (2.20)$$

Капітальні вкладення K являють собою одноразові витрати на придбання основних та оборотних фондів. При порівнянні варіантів капітальні вкладення, окрім вартості обладнання, мають охоплювати додаткові витрати, зокрема на транспортування, будівельні роботи, монтаж і пусконаладження.

У разі реконструкції капітальні вкладення розраховуються за вартістю комірків РП і трансформаторних вузлів, зазначених у додатку А, із застосуванням коефіцієнта 1,1 [8].

Щорічні поточні витрати (собівартість продукції) в електроенергетиці зазвичай включають такі компоненти:

$$C = C_{TOP} + C_{\Delta W} \quad (2.21)$$

де C_{TOP} – витрати на технічне обслуговування та поточні ремонти електрообладнання;

$C_{\Delta W}$ – вартість річних втрат електричної енергії.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання можна розрахувати різними способами. Найточніше ці витрати визначаються за системою TOP ЕО. Відповідно до неї, C_{TOP} охоплює витрати на оплату праці ремонтного й обслуговуючого персоналу, а також на комплектуючі, запасні частини та матеріали, що застосовуються під час обслуговування й ремонту.

Витрати на заробітну плату розраховуються на основі трудомісткості ремонтних робіт і тарифних ставок персоналу, який займається обслуговуванням і ремонтом.

Витрати на матеріали розраховуються залежно від витрат на заробітну

плату. Система TOP EO визначає частоту та трудомісткість ремонтних робіт для основних видів електричного обладнання.

На етапі техніко-економічного обґрунтування варіантів витрати на поточний ремонт і обслуговування можна визначати пропорційно до капітальних вкладень, тобто:

$$C_{TOP} = E_{TOP} \cdot K ; \quad (2.22)$$

де E_{TOP} - норма витрат на поточний ремонті обслуговування (табл.2.3).

Таблиця 2.3 – Річні витрати на технічне обслуговування й ремонт електричних мереж [8].

Напруга, кВ	Норма витрат в процентах від вартості основних фондів	
	ПЛ	ПС
10	3.8	10
35	1.2	35

Ціна втрат електричної енергії розраховують за формулою 2.23.

$$C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W ; \quad (2.23)$$

де m_0 - вартість 1кВт·год. електроенергії;

ΔW - кількість втраченої електроенергії.

Об'єм втраченої електроенергії розраховується за формулою:

$$\Delta W = \Delta_{M \cdot Pt} \mp \Delta K_C \cdot P \cdot t_{\phi.P}^2 ; \quad (2.24)$$

де $\Delta_{M \cdot Pt}$ - відповідно максимальні й середні втрати потужності;
 $t_{\phi.P}$ - час максимальних втрат.

Час максимальних втрат та річний коефіцієнт форми можуть бути розраховані за формулами:

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760 ; \quad (2.25)$$

де T_M - час використання максимального навантаження ($T_M = W/PM$, де W

– обсяг спожитої енергії).

Наближено τ та $K_{\Phi.p}^2$ визначаються залежно від кількості годин використання максимальної потужності T_M і $\text{tg}\varphi$ з табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення розрахункових коефіцієнтів τ і $K_{\Phi.p}^2$

Режим роботи	T_M	τ при $\text{tg}\varphi = 0,75$	τ при $\text{tg}\varphi = 0$	$K_{\Phi.p}^2$
1 зміна	1500 – 2000	650 – 920	500 – 700	1.6
2 зміни	2500 – 4000	1250 – 2400	950 – 2050	1.4
3 зміни	4500 – 6000	2900 – 4550	2500 – 4000	1.1
Неперервний	6500 – 8000	5200 – 7500	4500 – 7000	1.05

Проведемо техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання:

Живлення напругою 35 кВ (включає встановлення підстанції 35/10 кВ на території заводу).

Живлення напругою 10 кВ

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Техніко-економічне порівняння напруги живлення заводу

Характеристика	10 кВ	35 кВ
1	2	3
Tм, год	4000	
T, год	2405.29	
Втрати в лініях живлення		
ΔP, кВт	84.69	9.83
ΔW, кВт*год	203698.19	23649.31
Втрати в трансформаторах ГПП		
ΔPзм, кВт	0.00	20.17
ΔP, кВт	0.00	3.90

Характеристика	10 кВ		35 кВ	
1	2		3	
ΔW, кВт*год	0.00		82677.81	
Техніко-економічні показники				
Загальні втрати кВт/год	203698.19		106327.13	
Тариф ц, грн/кВт*год	6.5		5.05	
Витрати на енергію тис. грн	63171		49079	
Річна вартість втрат тис. грн	1324.04		536.95	
Норми витрат на обслуговування ОФ, %	КЛ	3.8	КЛ	1.2
	ПЛ	3.8	ПЛ	1.2
	ПС	4.3	ПС	2.4
Капіталовкладення в лінії живлення тис. грн	10906		7980	
Капіталовкладення в ГПП тис. грн	0		9728	
Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, тис. грн	414.428		329.232	
Витрати на амортизацію, тис. грн	218.12		801.648	
Щорічні поточні витрати тис. грн	66217.71		52517.27	

При підключенні заводу до мережі з напругою 10 кВ річні витрати сягають 66217.71 тис. грн, тоді як при напрузі 35 кВ вони становлять 52517.27 тис. грн. Отже, обираємо живлення заводу напругою 35 кВ із облаштуванням головної трансформаторної підстанції.

2.2.3 Вибір трансформатора ГПП

На головній понижувальній підстанції зазвичай монтують два трансформатори однакової потужності, щоб у разі поломки одного з них другий міг забезпечити електроживлення ключових споживачів на час ремонту. При цьому враховують здатність трансформаторів до перевантаження та можливість тимчасового обмеження споживання без шкоди для основної роботи

підприємства. Допускається встановлення одного трансформатора, якщо забезпечується достатня надійність постачання електроенергії.

Споживачі I категорії мають отримувати живлення від двох незалежних джерел із автоматичним переходом на резервне джерело. Тому для таких об'єктів обов'язково передбачають два трансформатори. Для споживачів II та III категорій установка одного трансформатора можлива за умови забезпечення живлення основних споживачів від альтернативного джерела, наприклад, на напрузі 6 або 10 кВ.

Потужність трансформаторів ГПП розраховують, виходячи з прогнозованого навантаження на період 5 років. Вибір трансформаторів здійснюють з урахуванням допустимих навантажень у штатному режимі та під час аварійних перевантажень.

Номінальну потужність трансформаторів для підстанцій із двома трансформаторами визначають, враховуючи умову:

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq (0.5 \div 0.7) S_{\text{М}}; \quad (2.26)$$

$$S_{\text{НОМ,Т}} \geq (0.5 \div 0.7) \cdot 3275.45 = 1637.72 \div 2292.81 \text{ (кВА)}.$$

Обираємо трансформатор ТМ-1600/35.

2.2.4 Вибір цехових ТП та їх розміщення

Визначимо загальну розрахункову повну потужність усіх цехів цукрового заводу ТОВ "Зелена долина", електрообладнання яких працює від напруги 0,4 кВ. Для цього враховуємо сумарне навантаження технологічного обладнання, освітлювальних систем та допоміжних пристроїв, що підключені до низьковольтної мережі. Розрахунок базується на даних про встановлену потужність кожного цеху з урахуванням коефіцієнтів використання та попиту, що забезпечує точність оцінки для оптимізації електропостачання.

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_c^2 + S_c^2}; \quad (2.27)$$

де S_i – повна розрахункова потужність підприємства, кВА.

$$S_{\Sigma} = 3275.45 \text{ (кВА)}$$

Визначимо сумарну площу всіх цехів цукрового заводу ТОВ "Зелена долина".

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (2.28)$$

де F_i – площа цеха, м².

$$F_{\Sigma} = 7197 \text{ (м}^2\text{)}$$

Встановимо економічно обґрунтовану потужність трансформаторів залежно від щільності навантаження:

$$S_{num} = \frac{S_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}, \quad (2.29)$$

$$S_{num} = \frac{3275.45}{7197} = 0.4551 \text{ (кВА/м}^2\text{)}.$$

У [3] рекомендується за такої питомої потужності застосовувати трансформатори з потужністю до 1600 кВА. Оскільки цукровий завод Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" належить до II категорії за надійністю електропостачання, розглянемо два варіанти облаштування підстанцій із двома трансформаторами: $S_{ном TP} = 1000$ () та $S_{ном TP} = 1600$ ().

Обчислимо економічне число підстанцій [1]:

$$N_{ек} = \frac{S_{\Sigma}}{S_{ном.ТР} \cdot k_3}, \quad (2.30)$$

де $k_3=0.75 \div 0.8$ коефіцієнт завантаження трансформаторів

двотрансформаторної підстанції за умов переважання споживачів II та III категорій надійності електропостачання:

Варіант 1: $S_{ек} = S_{ном.ТР} = 1000$ кВА.

$$N_{ек} = \frac{3275.45}{2 \cdot 1000 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 2.18 \div 2.05 \quad (\text{шт}).$$

Для цього потрібно розмістити три трансформаторні підстанції.

Варіант 2: $S_{ек} = S_{ном.ТР} = 1600$ кВА.

$$N_{ек} = \frac{3275.45}{2 \cdot 1600 \cdot (0.75 \div 0.8)} = 1.365 \div 1.279 \quad (\text{шт}).$$

Для цього потрібно розмістити дві трансформаторні станції. трансформаторні підстанції.

Розподілимо трансформаторні підстанції між цехами та встановимо їхній фактичний коефіцієнт завантаження.

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

№Т П	Варіант 1				Варіант 2			
	№ на генплані	Sp, кВА	$S_{ном.ТР} = 1000$		№ на генплані	Sp, кВА	$S_{ном.ТР} = 1600$	
			N, шт	k_3			N, шт	k_3
1	1,2,4,6	1540.1	2	0.77	1,2,4,6	1540.1	2	0.48
2	3,10	923.2	2	0.46	3,5,7-11	1909.9	2	0.60
3	5,7,8,9,11	992.5	2	0.50				

У цьому випадку, порівнявши обидва варіанти, обираємо варіант №2,

оскільки він є економічно вигіднішим.

Для вибору місця розташування трансформаторних підстанцій складаємо картограму електричних навантажень, визначаючи центр електричних навантажень заводу. Картограму розробляємо на основі креслення генерального плану підприємства. Навантаження кожного цеху позначаємо колом, розмір якого пропорційний розрахунковій активній потужності [2].

$$P_p = m_p \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2.31)$$

де m_p – масштаб побудови, вибирають кратним 1,2,5.

Обираємо масштаб для створення картограми навантажень: установимо радіус кола навантаження 9,28 м для першого цеху, тоді масштаб побудови розраховуємо так:

$$m_p = \frac{P_p}{\pi \cdot r^2} \quad (2.32)$$

де r – радіус круга навантаження, м;

P_p – розрахункова активна потужність цеху, кВт.

Розрахуємо масштаб побудови для газової печі:

$$m_p = \frac{268.56}{3.14 \cdot 18.50^2} = 0.25 \quad (\text{кВт/м}^2).$$

Приймаємо $m_p = 0.25$ кВт/м².

Для визначення радіуса кола при заданому масштабі використаємо формулу 2.33:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1}}{\pi \cdot m_p}}; \quad (2.33)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{268.56}{3.14 \cdot 0.25}} = 18.50 \text{ (м)}$$

Сектор освітлювального навантаження для сокоочисного цеху складає [1]:

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot P_{mo}}{P_{p1}} ; \quad (2.34)$$

$$\alpha_1 = \frac{360^0 \cdot 13.06}{268.56} = 17.50^0$$

Аналогічні розрахунки по інших цехах зводимо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Дані для побудови картограми навантажень

№ п. п	Споживачі	Координати		Рм, кВт	Рмо, кВт	rk, м	αk
		Xk, м	Yk, м				
1	Газова піч	66	119	268.56	13.06	18.50	17.50
2	Мийний відділ	129	84	75.97	5.77	9.84	27.34
3	Цукровий склад	91	41	50.22	20.32	8.00	145.6 7
4	Бурякоперероблювальний цех	119	109	232.21	13.06	17.20	20.24
5	Котельня	26	94	620.07	10.11	28.11	5.87
6	Турбінний зал	18	104	524.27	5.77	25.85	3.96
7	Гараж	19	29	30.91	7.96	6.28	92.67
8	Матеріальні склади	51	11	12.69	3.45	4.02	97.91
9	Прийомний пункт	71	11	27.16	3.16	5.88	41.93
10	Головний корпус	98	17	700.00	17.50	29.87	9.00
11	Прохідна	151	46	15.45	2.45	4.44	57.15

Розрахуємо координати центру навантажень [1]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}} ; \quad (2.35)$$

$$X = \frac{268.56 \cdot 66 + \dots + 151 \cdot 15.45}{268.56 + \dots + 15.45} = 62.320 ()$$

де $P_{p.i}$ – розрахункова активна потужність і-го цеха, кВт;

X_i – координати абсциси і-го цеха, мм.

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_{p.i} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{p.i}} ; \quad (2.36)$$

$$Y = \frac{192.93 \cdot 119 + \dots + 179.99 \cdot 100.37}{192.93 + \dots + 100.37} = 75.255 ()$$

де $P_{p.i}$ – розрахункова активна потужність i -го цеха, кВт;

Y_i – координати ординати i -го цеха, м.

Розташувати ГПП безпосередньо в центрі навантажень неможливо. Встановлення ГПП передбачено на території заводу з боку лінії електропостачання. Розташування ГПП зображено на рисунку 2.2.

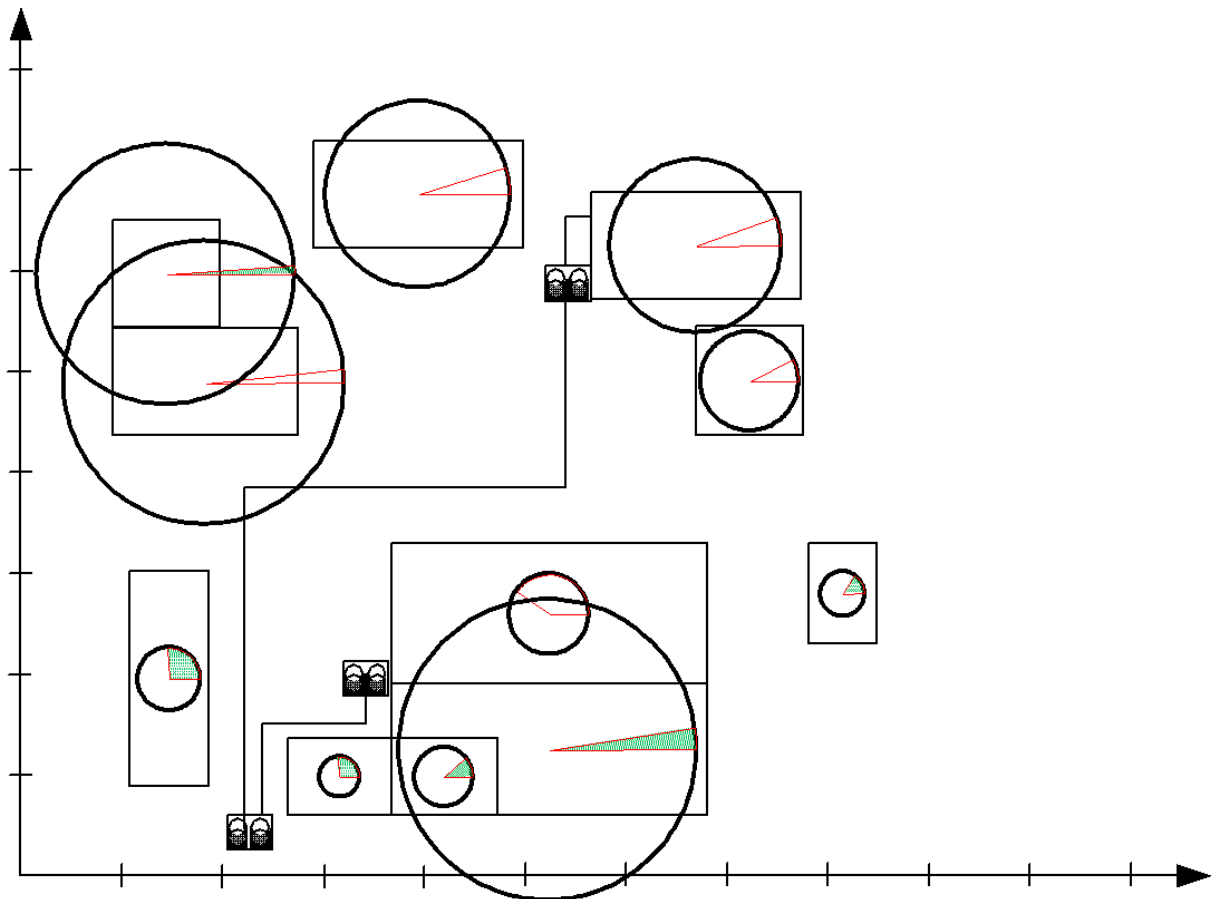


Рисунок 2.2 – Картограма навантажень заводу і електричні мережі підприємства

2.3 Розрахунок електропостачання підприємства

2.3.1 Розрахунок зовнішнього електропостачання

Електропостачання забезпечується від ПС, розташованої за 7 км, за допомогою двокової повітряної ЛЕП напругою 35 кВ. Заплановано будівництво головної понижувальної підстанції 35/10 кВ. Внутрішню мережу заводу організуємо за радіальною схемою від двох секцій шин РУ-10 кВ підстанції ГПП.

2.3.2 Вибір схеми та основних елементів заводської мережі

Заводські електромережі підприємства виконані кабелями, прокладеними в траншеях.

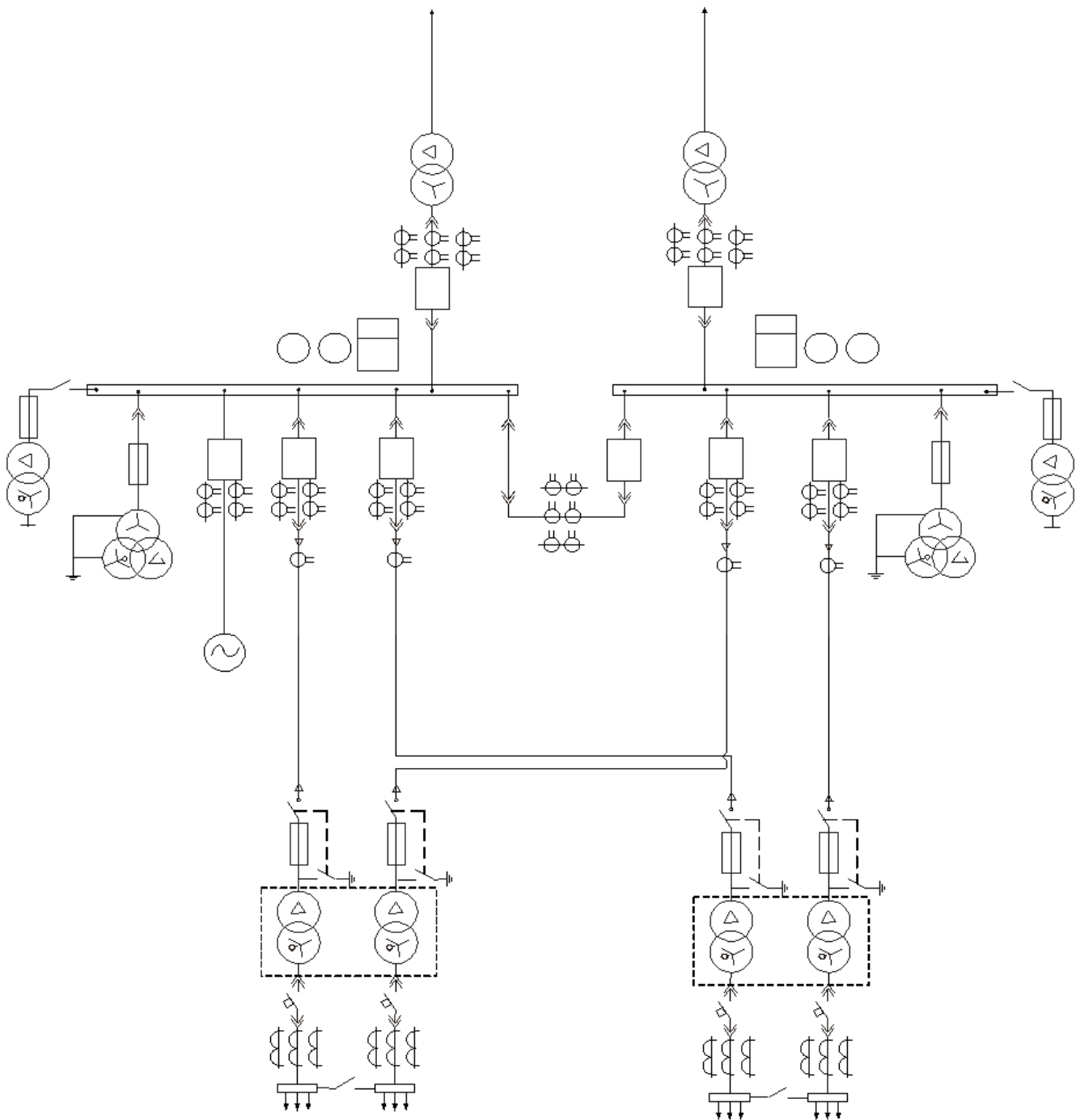


Рисунок 2.3 – Схема внутрішньозаводського електропостачання

Для електропостачання заводу обираємо повітряні ЛЕП із проводом АС. Вибір перерізу проводу здійснюємо за трьома критеріями: допустимий тривалий струм, механічна міцність і втрата напруги.

Розрахунковий струм для живлячої лінії:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} ; \quad (2.37)$$

$$I_M = \frac{3275.45}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 27.05 (\text{ }) ;$$

$$I_{ма} = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} ; \quad (2.38)$$

$$I_{ма} = \frac{3275.45}{\sqrt{3} \cdot 35} = 34.09 (\text{ }) .$$

Згідно з даної умови ми можемо взяти провід з перерізом 16 мм².

За умовою механічної міцності згідно ПУЕ мінімальний допустимий переріз для лінії напругою 35 кВ дорівнює 50 мм².

Порівнявши ці дві умови обираємо провід АС-50, проведемо його перевірку за показником втрат напруги згідно ПУЕ він має не перевищувати 5%

$$\Delta U \% = \frac{P_P \cdot R_0 + Q_P \cdot X_0}{U_{ном}^2} \cdot l \cdot 100 \% ; \quad (2.39)$$

$$\Delta U \% = \frac{2429.64 \cdot 0.64 + 2196.68 \cdot 0.446}{35000^2} \cdot 7 \cdot 100 \% = 1.45 \%$$

Таким чином повітряну ЛЕП виконуємо проводом АС-50 який відповідає всім умовам.

Високовольтні вимикачі підбираємо за номінальною напругою та розрахунковим струмом, враховуючи режими після аварій і можливі нерівномірності розподілу струмів між лініями та секціями шин [2]:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.мережі} ; \quad (2.40)$$

$$I_{ном.в} \geq I_{м.ав} . \quad (2.41)$$

Для монтажу на стороні 10 кВ обираємо вакуумні вимикачі типу ВР1. Номінальна сила струму цих вимикачів становить $I_{ном.в} = 630 \text{ А} > I_{м.ав}$. Власний час спрацьовування вимикача становить вимикача 0.04 с.

ГПП-ЦТП-1:

$$I_M = \frac{S_M}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} ; \quad (2.42)$$

$$I_M = \frac{1540.08}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 44.51 \text{ (A)} ;$$

$$I_{na} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} ; \quad (2.42)$$

$$I_{na} = \frac{1540.08}{\sqrt{3} \cdot 10} = 89.02 \text{ (A)}$$

Обираємо вакуумний вимикач ВР1. Номінальний струм вимикача $I_{ном.в} = 630 \text{ A} > I_{м.ав}$. Власний час відключення вимикача 0.04 с. Для решти приєднань вимикачі підбираємо аналогічно та заносимо до таблиці 2.8.

Вибір кабелів 10 кВ здійснюємо за допустимим струмом [6]:

Встановлюємо переріз провідників [1]:

$$I_{na} \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{доп} \quad (2.43)$$

$$89.02 \text{ (A)} \leq 0.87 \cdot 1 \cdot 0.87 \cdot 140 = 105.97 \text{ (A)}$$

де k_1 - поправочний коефіцієнт при температурі зовнішнього середовища ;
 k_2 - поправочний коефіцієнт в залежності від прокладених поруч кабелів ;
 k_3 - поправочний коефіцієнт в залежності від теплового опору ґрунту.

Обираємо кабель АСБл-10 3х50 з $I_{доп} = 105.97 \text{ A}$. Для решти приєднань кабелі підбираємо за аналогічним принципом і вносимо дані до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів та кабелів 10 кВ

Лінія	I_m , А	$I_{па}$, А	Вимикач	$I_{ном}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{доп}$, А
ЦТП1	44.51	89.02	ВР1	630	АСБл	3×50	105.97
ЦТП2	55.20	110.40	ВР1	630	АСБл	3×70	124.89

2.3.3 Розрахунок струмів КЗ і перевірка вибраних вимикачів

У системах електричних установок можуть виникати різні види коротких замикань (КЗ), для яких характерне різке збільшення струму. Усе електричне обладнання, що використовується в системах електропостачання, має витримувати струми КЗ і добиратися з урахуванням їхніх величин. Основними причинами виникнення струмів короткого замикання в мережі є: ушкодження ізоляції елементів електроустановок, помилки в діях персоналу, а також перекриття частин, що проводять струм.

Розрахунок струмів КЗ виконують для перевірки відповідності обраних вимикачів і кабелів. Для цього визначають: періодичну складову струму трифазного КЗ на початковому етапі, періодичну та аперіодичну складові в момент роз'єднання контактів, ударний струм КЗ, а також тепловий ефект B_K .

Складаємо схему заміщення (рисунок 2.4).

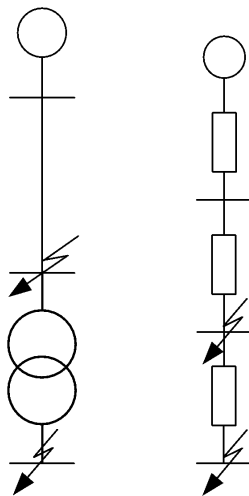


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема заміщення системи електропостачання

Розраховуємо опори елементів, що зведені до базисних умов:

$$S_6 = 1000 \text{ , } S_{K3} = 200 \text{ .}$$

$$X_c = \frac{S_6}{S_K} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ ;} \quad (2.44)$$

$$X_{ПЛ35} = X_{num} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{сер}^2} ; \quad (2.45)$$

$$X_{ПЛ35} = 0.446 \cdot 7 \cdot \frac{1000}{37^2} = 2.28 ;$$

$$X_T = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_{\bar{6}}}{S_{ном}} ; \quad (2.46)$$

$$X_T = \frac{6.5}{100} \cdot \frac{37}{2.5} = 26 .$$

Розраховуємо результуючі опори:

$$X_{сум2} = X_C + X_{ПЛ35} ; \quad (2.47)$$

$$X_{сум2} = 5 + 2.28 = 7.28 ;$$

$$X_{сум3} = X_{сум2} + X_T ; \quad (2.48)$$

$$X_{сум3} = 7.28 + 26 = 33.28 .$$

Початкове значення струму короткого замикання в точці К:

$$I_{\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}}} ; \quad (2.49)$$

$$kA_{\bar{6}35} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15.604 (\quad) ;$$

$$kA_{\bar{6}6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 (\quad) ;$$

$$I_{п0} = \frac{1}{X_{сум}} \cdot \bar{6} ; \quad (2.50)$$

$$kA_{п0_2} = \frac{1}{7.28} \cdot 15.604 = 2.143 (\quad) ;$$

$$kA_{п0_3} = \frac{1}{33.28} \cdot 54.986 = 1.652 (\quad) .$$

Ударний струм:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{П0} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right); \quad (2.51)$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 2.143 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.03}} \right) = 5.203 \text{ (кА)};$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1.652 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{0.03}} \right) = 4.011 \text{ (кА)}.$$

Аперіодичний струм при $t=0.065$ с:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{П0} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_a}\right)}; \quad (2.52)$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 2.143 \cdot e^{\frac{-0.065}{0.03}} = 0.347 \text{ (кА)};$$

$$i_{a3} = \sqrt{2} \cdot 1.652 \cdot e^{\frac{-0.065}{0.03}} = 0.268 \text{ (кА)}.$$

Розрахуємо тепловий імпульс:

$$B_K = t_{П0}^2 \cdot (T_{від} + t_{асх}); \quad (2.53)$$

$$B_{K2} = 2.143^2 \cdot (0.065 + 0.3) = 1.677 \text{ (}^2 \cdot \text{)};$$

$$B_{K3} = 1.652^2 \cdot (0.065 + 0.3) = 0.996 \text{ (}^2 \cdot \text{)}.$$

Перевіримо живлячу лінію за умовою термічної стійкості:

$$S_{ск} \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}; \quad (2.54)$$

де $C_T = 90 \cdot A \cdot C^{0.5} / \text{мм}^2$ для алюмінієвих кабелів

$$S_{min} = \frac{\sqrt{0.996}}{90} \cdot 10^3 = 11.091 \text{ (}^2 \text{)}.$$

$$50 \text{ мм}^2 > 11.091 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Умова виконується, отже, живильний кабель АСБл-10 3х50 обрано коректно.

Відповідно до ДСТУ 687-78, високовольтні вимикачі повинні проходити випробування на здатність до комутації, а також на динамічну й термічну витривалість до струмів короткого замикання.

Аналіз роботи вибраних вимикачів і провідників розглянемо на прикладі вимикача ВР1-10. Дані випробувань узагальнено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Перевірка вимикача ВР1-10/100

Умови вибору	Дані для вимикачів	Дані розрахунків
$I_{н.відк} \geq I_{пт}$	$I_{н.відк} = 20 \text{ кА}$	$I_{пт} = I_{пт.с} = 0.268 \text{ кА}$
$\sqrt{2} I_{н.відкл} \geq \sqrt{2} I_{пт.с} + i_{ат.с}$	$\sqrt{2} \cdot I_{н.відкл} = \sqrt{2} \cdot 20 = 28.3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 0.268 = 0.379 \text{ (кА)}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$i_{уд} = i_{уд.с} = 0.268 \text{ (кА)}$
$I_{дин} \geq I_{по}$	$I_{дин} = 52 \text{ кА}$	$I_{по} = I_{по.с} = 1.652 \text{ (кА)}$
$B_k = I_{по}^2 t_{по}$	$k_m^2 t_m \in 10^2 \cdot 4 = 400 \left(\text{ }^2 \cdot \text{ } \right)$	$B_k = 0.996 \left(\text{кА}^2 \cdot \text{с} \right)$

Даний вимикач виконує усім умовам перевірки.

2.4. Розрахунок електропостачання цеху

2.4.1 Вибір схеми цехової мережі

Оскільки радіальні схеми забезпечують надійне та стабільне електропостачання, для цехової мережі обрано радіальну конфігурацію, що відображена на рисунку 2.1.

Для комутації на лініях установимо автоматичні вимикачі виробництва ЕТІ моделей ЕВ й ЕВ2, оснащені напівпровідниковими або тепловими та електромагнітними розчіплювачами.

Згідно з вимогами ПУЕ застосовуємо такі методи прокладання кабельних ліній:

Від ТП до РП – кабелем з алюмінієвими жилами марки АВВГ, прокладеним у ґрунті;

Від РП до ЕП – кабелем з алюмінієвими жилами марки АВВГ, розміщеним відкрито в коробах та лотках.

2.4.2 Підбір комутаційно-захисного обладнання та провідників для мережі цеху

При виборі автоматичних вимикачів повинні виконуватись наступні умови:

$$K_{н.розч} \geq \frac{I_{с.в}}{I_{п}} \cdot p ; \quad (2.55)$$

$$I_{с.в} = K_{н} \cdot I_{п} . \quad (2.56)$$

$$I_{н.в.д.к} \geq I_{к.мак}^{(3)} . \quad (2.57)$$

де $I_{с.в}$ - струм спрацювання відсічки ;

$I_{н.розч}$ номінальний струм розчіплювача ;

$K_{відс}$ коефіцієнт відстроювання , визначається на основі умов забезпечення надійності налаштування захисту від перевантажень, а також його стійкості до неспрацювання (повернення) під час або після пуску чи самозапуску.

$K_{н}$ коефіцієнт надійності відстроювання ст румової відсічки;

$I_{м}$ розрахунковий струм окремого електропр иймача;

$I_{п}$ ніковий (пусковий) струм.

Оберемо автоматичний вимикач для захисту ЕП-2.

Розрахунковий струм ЕП-2:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{ном}} ; \quad (2.58)$$

$$I_p = \frac{21}{\sqrt{3} \cdot 0.89 \cdot 0.38} = 35.89 \quad (A).$$

Стартовий струм розрахуємо орієнтовно, залежно від типу приводу:

$$I_p = \begin{cases} 5 \cdot I_{р} \text{ для АД з КЗ ротором чи СД;} \\ 2.5 \cdot I_p \text{ – для АД з ФР;} \\ 5 \cdot I_{р} \text{ для ДПС та зварювальних Трив;} \end{cases} \quad (2.59)$$

$$I_{п} = K_{ПУСК} \cdot I_p = 2 \cdot 35.89 = 71.78 (A).$$

Для захисту ЕП-2 вибираємо автоматичний вимикач з комбінованим розчіплювачем. Розрахуємо номінальний струм розчіплювача та струм спрацювання відсічки для ЕП-2:

$$I_{н.розчип} \geq I_p ; \quad (2.60)$$

$$I_{с.відс} \geq 1.78 \cdot 2.1 = 150.75 (A).$$

За розрахованими параметрами струмів обираємо автоматичний вимикач ЕВ 100/3L 40А 3р із номінальним струмом 40 А, номінальним струмом розчіплювача 40 А та струмом відсічки 400 А.

Подібним чином здійснюємо підбір автоматичних вимикачів для всіх інших споживачів цеху.

Апарати захисту, які забезпечують безпеку РП, монтуються в РУ-0.4 кВ ТП.

Від ТП до РП1 визначаємо переріз проводу з урахуванням:

$$I_{доп} \geq I_M ; \quad (2.61)$$

$$425.94 \geq 336.60 \text{ (A)}$$

Підберемо два кабелі АВВГ із перерізом 3х120+1х50, прокладений у ґрунті, з допустимим тривалим струмом, що становить $I_{\text{доп}} = 425.94 \text{ (A)}$.

Від ТП до ЕП-2 вибираємо кабель АВВГ (3х50+1х25). Допустимий тривалий струм складає 46.5 А.

Перевіряємо даний кабель за наступними умовами:

$$I_{\text{доп}} = 46.5 \geq I_{\text{М}} = 35.89 \text{ (A)};$$

Перевірка

$$I_{\text{доп}} = 46.5 \geq I_{\text{н.розч}} = 40 \text{ (A)}.$$

Так само визначаємо перерізи інших кабелів АВВГ, а результати обчислень записуємо до таблиці 2.10.

Виберемо автоматичний вимикач для лінії від ТП до РП.

Визначаємо за формулою:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{р}} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} \quad (2.62)$$

де $I_{\text{н.макс}}$ номінальний струм найбільш потужного електроприймача ,

$I_{\text{п.макс}}$ пусковий струм найбільш потужного електроприймача ,

$K_{\text{в}}$ коефіцієнт використання найбільш потужного електроприймача .

$$I_{\text{п}} = I_{\text{М}} - K_{\text{в}} \cdot I_{\text{н.макс}} + I_{\text{п.макс}} = 336.60 - 0.2 \cdot 62.41 + 312.03 = 636.15 \text{ (A)}$$

Для захисту лінії від ТП до РП вибираємо автоматичний вимикач із комбінованим розчіплювачем EB2 400/3S 400A 3p, із номінальним струмом $I_{\text{ном.в}} = 400 \text{ A}$, номінальним струмом розчіплювача $I_{\text{н.розч}} = 400 \text{ A}$ та струмом спрацювання відсічки 4000 А.

$$I_{\text{н.розч}} = 400 \geq K_{\text{відс}} \cdot I_{\text{М}} = 336.60 \text{ (A)};$$

$$I_{\text{с.в}} = 4000 \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} = 2,1 \cdot 636.15 = 1335.92 \text{ (A)}.$$

Таблиця 2.10 – Результат комутаційно-захисної апаратури й провідників для цеху

№	Найменування ЕП	I_p , А	I_n , А	Тип АВ	$I_{ном}$, А	$I_{розч}$, А	$I_{св}$, А	Тип ЛЖ	S , мм ²	спос. прок.	$I_{доп}$, А
1 – 4	Дифузійний апарат	35.89	71.78	ЕВ 100/3L 40А 3р	40	40	400	АВВГ	10	відкрито	46.5
5	Мішалка жому	28.39	141.97	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
6 – 8	Жомові насоси	62.41	312.03	ЕВ 100/3L 80А 3р	80	64	800	АВВГ	25	відкрито	80.91
16 – 19	Фільтри	42.70	85.40	ЕВ 100/3L 50А 3р	50	50	500	АВВГ	16	відкрито	62.31
	РП1	336.60	636.15	ЕВ2 400/3S 400А 3р	400	400	4000	АВВГ	2х185	в землі	580.32
9	Мийка буряків	29.39	58.77	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
10 – 11	Компресор	24.20	121.00	ЕВ 100/3L 32А 3р	32	32	320	АВВГ	6	відкрито	34.41
12 – 15	Шнеки	19.69	98.43	ЕВ 100/3L 25А 3р	25	20	250	АВВГ	4	відкрито	26.97
	РП2	101.58	216.70	ЕВ2 250/3Е 125А 3р	125	125	1250	АВВГ	185	в землі	290.16

Таблиця 2.11 – Розрахунок втрат напруги для цеху

№	Найменування ЕП	L	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , %	ΔU , %
1 – 4	Дифузійний апарат	5	3.84	0.088	13.05	3.43
5	Мішалка жому	7	6.41	0.094	12.33	3.24
6 – 8	Жомові насоси	12	1.54	0.072	14.33	3.77
16 – 19	Фільтри	16	2.4	0.084	15.25	4.01
	РП1	27	0.77	0.2725	18.15	4.78
9	Мийка буряків	12	6.41	0.094	3.99	1.05
10 – 11	Компресор	2	6.41	0.094	3.54	0.93
12 – 15	Шнеки	16	9.61	0.098	9.78	2.57
	РП2	27	0.769	0.066	9.78	2.57

2.4.3 Розрахунок струмів КЗ в мережах напругою до 1000 В

Розрахунок струмів короткого замикання проводиться для оцінки відповідності захисних пристроїв вимогам комутаційної здатності.

Виконаємо обчислення струмів короткого замикання для ділянки, що

забезпечує живлення ЕП-2. Складемо розрахункову схему, зображену на рисунку 2.5.

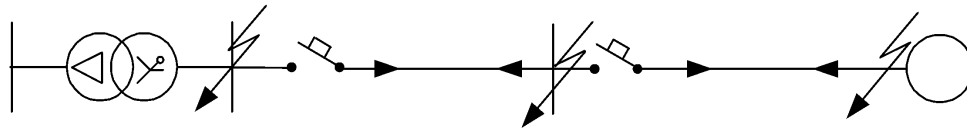


Рисунок 2.5 – Схема електропостачання ЕП-2

Розрахунок опорів приведений до 380 В

Опір трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = 1,1(X = 5,4 \text{ мОм}, (Z = 16,5 \text{ мОм} \quad (\quad)); \quad (2.63)$$

Визначаємо опори ліній Л1, Л2:

$$X = X_{\text{пит}} \cdot L; \quad (2.64)$$

$$X_1 = 0,032 \cdot 27 = 0,864 (\text{мОм});$$

$$X_2 = 0,094 \cdot 5 = 0,47 (\text{мОм});$$

$$R = R_{\text{пит}} \cdot L; \quad (2.65)$$

$$R_1 = 0,77 \cdot 27 = 20,79 (\quad);$$

$$R_2 = 6,41 \cdot 5 = 32,05 (\quad);$$

Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ та коефіцієнта чутливості наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Вихідні дані для розрахунку струмів КЗ і коефіцієнта чутливості

Ділянка кола	L, м	R, мОм	X, мОм	Zф-0, мОм
ТМ 1600/10/0.4	-	1.1	5.4	-
Л1	27	20.79	0.864	14.175
Л2	5	32.05	0.47	72.15

Обчислимо величину струму при трифазному металічному КЗ за

формулою:

- для точки К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T^2 + X_T^2)}} ; \quad (2.66)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(1.1^2 + 5.4^2)}} = 41.801 \text{ (кА)}$$

- для точки К2

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T^2 + R_T^2) + (X_T^2 + X_l^2)}} ; \quad (2.67)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1.05 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(1.1^2 + 20.79^2) + (5.4^2 + 0.864^2)}} = 10.118 \text{ (кА)} ;$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{T1}}{3} + Z_{\phi 01}} ; \quad (2.68)$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{16.5}{3} + 14.175} = 11.182 \text{ (кА)}$$

- для точки К3

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{U_{\text{фн}}}{\frac{Z_{T1}}{3} + Z_{\phi 01} + Z_{\phi 02}} ; \quad (2.69)$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{220}{\frac{16.5}{3} + 14.175 + 72.15} = 2.396 \text{ (кА)}$$

Проведемо перевірку обраних вимикачів на відповідність вимогам комутаційної здатності:

$$I_{\text{н.відк}} > I_{\text{к.мах}}^{(3)} ; \quad (2.70)$$

QF1: EB2 400/3S 400A 3p з $I_{cu}=50$ (кА)

$$I_{cu} = 50 \text{ кА} \quad I > \frac{(3)_{K. \max}}{1} = 801 \text{ (кА)}$$

Для точки K1 умова перевірки комутаційної здатності виконується.

QF2: EB 100/3L 40A 3p $I_{cu} = 16$ (кА).

$$I_{cu} = 16 \text{ кА} \quad I > \frac{(3)_{K. \max}}{1} = 18 \text{ (кА)}$$

Для точки K2 умова відповідності комутаційної здатності дотримується.

Проведемо аналіз селективності роботи захисту.

Перевіримо, чи виконується наступна умова:

$$I_{H. \text{POЗЧ}} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}; \quad (2.71)$$

Перевіримо чутливість захисту лінії ТП-РП:

$$I_{H. \text{POЗЧ}} = 400 \text{ (A)} \leq \frac{I_{K2}^{(1)}}{3} = \frac{11182}{3} = 3727 \text{ (A)}$$

Перевіримо чутливість захисту лінії РП- ЕП-2:

$$I_{H. \text{POЗЧ}} = 40 \text{ (A)} \leq \frac{I_{K3}^{(1)}}{3} = \frac{2396}{3} = 799 \text{ (A)}$$

Умови перевірки чутливості автоматичних вимикачів дотримані.

Оцінимо селективність роботи захисту. Селективність дії автоматичних вимикачів перевіряємо за такими умовами:

$$\begin{cases} I_{c.B1} > (1.3..1.5)I_{c.B2}; \\ t_{c.B1} = t_{c.B2} + \Delta t \end{cases}; \quad (2.72)$$

Проведемо перевірку селективності для вимикачів, які захищають лінії ТП – РП (вимикач 1), РП – ЕП-2 (дані про вимикачі містяться в таблиці 2.10).

$$I_{c.B1} = 400 \text{ (A)} > (1.3..1.5) \cdot 40 = 52...60 \text{ (A)}.$$

скільки вимикачі вищого рівня обрано селективними з $t_{c.B1} = 0.1$ с, то умови селективності по часу теж виконуються.

Карта селективності захисту наведена на рисунку 2.6.

~

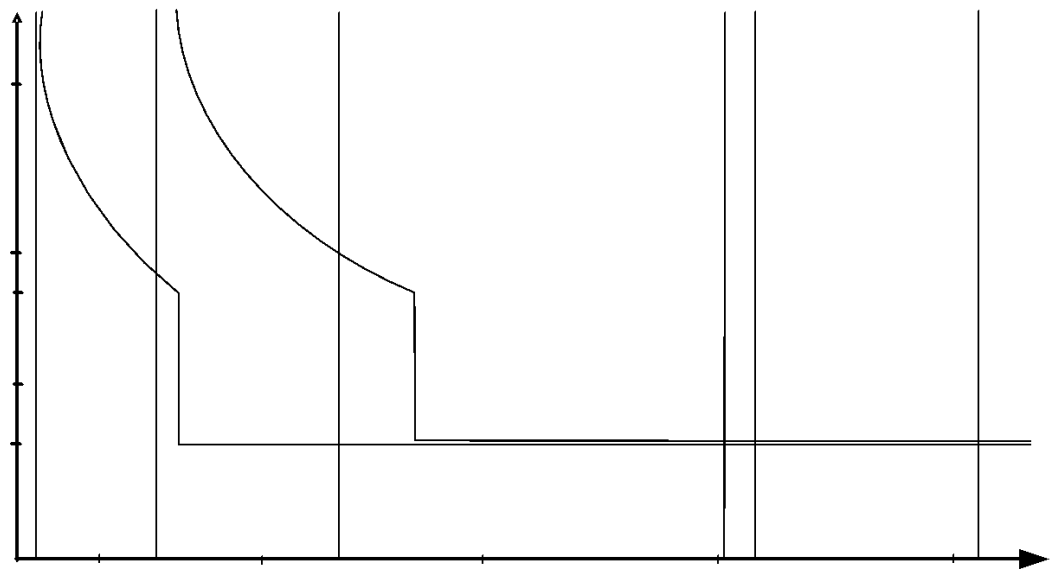


Рисунок 2.6 – Схема селективності роботи захисту

3 ОЦІНКА ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ «ЗЕЛЕНА ДОЛИНА»

3.1 Вплив характеристик електроенергії на роботу електричних приймачів

Відхилення показників якості електроенергії від нормативних вимог створюють труднощі в експлуатації електрообладнання як для енергопостачальних компаній, так і для споживачів, що може призводити до значних економічних збитків у промисловому та побутовому секторах через технологічні й електромагнітні порушення.

Електроприймачі різного призначення живляться від розподільних мереж загального користування.

Найпоширенішими видами електроприймачів, які активно використовуються на підприємствах різних галузей, є електродвигуни та системи освітлення. Також значного поширення набули електротермічні установки та перетворювачі вентильного типу.

Електродвигуни широко використовуються в різноманітних промислових механізмах. У системах, де регулювання частоти обертання під час роботи не потрібне, застосовують асинхронні або синхронні двигуни.

Встановлено найбільш економічно доцільні галузі використання асинхронних і синхронних двигунів залежно від рівня напруги. Синхронні двигуни вирізняються перевагами порівняно з асинхронними: вони можуть виступати джерелами реактивної потужності, їхній крутний момент менш чутливий до змін напруги на затискачах, а в багатьох випадках вони забезпечують вищий коефіцієнт корисної дії. Проте синхронні двигуни є дорожчими та складнішими у виготовленні й обслуговуванні.

Системи електричного освітлення, до складу яких входять лампи розжарювання, дугові, люмінесцентні, ртутні, натрієві та ксенонові, застосовуються на всіх підприємствах для внутрішнього та зовнішнього освітлення.

Зварювальні установки змінного струму, призначені для дугового та контактного зварювання, створюють нерівномірне однофазне навантаження з несинусоїдальним характером і низьким коефіцієнтом потужності: 0,3 – для дугового зварювання та 0,7 – для контактного.

Вентильні перетворювачі, через особливості їхнього регулювання, споживають реактивну потужність, що спричиняє помітні відхилення напруги в мережі живлення. Коефіцієнт несинусоїдальності при роботі тиристорних перетворювачів може перевищувати 30% на стороні напруги 10 кВ, хоча на симетрію напруги вони не впливають завдяки симетричності їхнього навантаження.

Зварювальні апарати можуть створювати перешкоди для стабільної роботи інших електричних пристроїв. Наприклад, потужні зварювальні установки викликають значні перепади напруги в електромережі, які перевищують коливання, спричинені запуском асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Ці перепади напруги є тривалими і охоплюють широкий частотний діапазон, зокрема зону, що негативно впливає на системи освітлення (приблизно 10 Гц).

Електротермічне обладнання, зокрема дугові печі для виплавки сталі, також негативно впливає на електромережу. Такі установки, зазвичай однофазні, мають високу потужність, що призводить до асиметрії струмів і напруг. Крім того, подібно до вентильних систем, дугові печі характеризуються нелінійною вольт-амперною характеристикою з низькою інерційністю, що спричиняє спотворення форми струмів і напруг.

Електричне навантаження сучасних житлових приміщень (квартир або котеджів) формується різноманітними побутовими приладами, які можна класифікувати за їх впливом на якість електроенергії:

- Прилади, що споживають активну потужність (наприклад, нагрівачі прасок, електроплит, обігрівачі, лампи розжарювання);
- Обладнання з трифазними асинхронними двигунами (наприклад, приводи ліфтів, насоси для систем водопостачання чи опалення);

- Прилади з однофазними асинхронними двигунами (компресори холодильників, пральних машин);
- Устаткування з колекторними двигунами (електроінструменти, пилососи);
- Зварювальні апарати змінного або постійного струму;
- Випрямлячі;
- Радіоелектронні пристрої;
- Високочастотне обладнання (наприклад, мікрохвильові печі);
- Люмінесцентні та світлодіодні джерела світла.

Хоча вплив окремого побутового приладу на електромережу незначний, масове підключення таких пристроїв до шин трансформаторної підстанції напругою 0,4 кВ може суттєво позначитися на стабільності електропостачання.

3.1.1 Вплив відхилень напруги

Асинхронні електродвигуни широко застосовуються в різних галузях промисловості як основні споживачі електроенергії. Їхня ефективна робота залежить від відповідності параметрів електричної мережі встановленим стандартам. Порухення цих умов може призвести до збоїв у функціонуванні двигунів. Таким чином, якість електроенергії визначається сукупністю її характеристик, які забезпечують стабільну роботу електрообладнання та виконання ним своїх функцій.

Критичним фактором, що впливає на продуктивність і термін експлуатації асинхронних двигунів, є відхилення напруги від номінальних значень. Такі відхилення можуть виникати через зміни в електричному навантаженні, спричинені добовими чи сезонними коливаннями, особливостями технологічних процесів, налаштуваннями компенсувальних пристроїв, регулюванням напруги на електростанціях чи підстанціях, а також модифікаціями конфігурації електромереж.

Зниження рівня напруги викликає зменшення обертового моменту

двигуна та швидкості обертання ротора через збільшення ковзання. Зв'язок між швидкістю обертання ротора та напругою описується рівнянням (3.1):

$$n = n_{\text{ном}} \left(1 - k_3 \frac{U_{\text{ном}}^2}{U^2} \cdot S \right) \quad (3.1)$$

У таблиці 3.1 наведено дані щодо розрахунків швидкості обертання ротора електродвигуна AIP160S2 при змінах напруги на $\pm 10\%$ від її номінального значення.

Таблиця 3.1 – Швидкість обертання ротора AIP160S2 за умов відхилень напруги.

Відхилення напруги dU, %	U, В	Частота обертання n, об/хв
0	380	2925
-1	376.2	2923
-2.5	370.5	2921
-5	361	2917
-7.5	351.5	2912
-10	342	2907
1	383.8	2926
2.5	389.5	2929
5	399	2932
7.5	408.5	2935
10	418	2938

При функціонуванні асинхронних електродвигунів під повним навантаженням зниження рівня напруги призводить до зменшення частоти обертання їхнього ротора. Отже, ефективність механізмів, залежних від частоти обертання ротора, при падінні напруги значно погіршується, що може призвести до дефіциту й недовироблення продукції. У разі суттєвого зниження напруги на клеммах двигуна можлива його зупинка, оскільки момент опору може перевищити обертальний момент.

Підвищення напруги, навпаки, сприяє зростанню швидкості обертання

ротора та збільшенню споживання реактивної потужності. На кожен 1% зростання напруги реактивна потужність зростає на 3%, що викликає підвищення втрат активної потужності.

Тривалі відхилення напруги прискорюють зношення ізоляції двигуна, скорочуючи термін його експлуатації. Тривала експлуатація асинхронного електродвигуна за умов зниженої напруги становить значну небезпеку, оскільки при незмінному рівні споживаної потужності струм у двигуні зростає, що призводить до постійного перегрівання ізоляційних матеріалів.

Термін служби двигуна визначається за формулою:

$$T = \frac{T_{\text{ном}}}{R} \quad (3.2)$$

де $T_{\text{ном}} = 15$ років – номінальний термін експлуатації ізоляції двигуна AIP160S2,

R - коефіцієнт, який визначається величиною відхилення напруги й рівнем завантаження двигуна, для від’ємних відхилень становить:

$$R = (47 \cdot \delta \cdot U^2 - 7.55 \cdot \delta \cdot U + 1) k_3^2 \quad (3.3)$$

де $0,2 < \delta U < 0$ - відхилення напруги.

Відносне відхилення номінального терміну експлуатації від його значення при зниженні напруги обчислюється за формулою:

$$\delta T = \frac{T_{\text{ном}} - T_i}{T_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

де T_i - термін експлуатації двигуна при i -му відхиленні напруги.

У таблиці 3.2 подано результати обчислень терміну експлуатації двигуна AIP160S2 за умов негативних відхилень напруги.

Таблиця 3.2 – Вплив відхилень напруги на скорочення терміну експлуатації асинхронного двигуна.

Відхилення напруги dU , %	Срок служби T , років	Відхилення строку служби від номінальної, %
0	15	0
-1	13.9	7.4
-2.5	12.3	17.8
-5	10.1	32.9
-7.5	8.2	45.2
-10	6.8	54.9

У таблиці 3.3 наведені показники АД та допустимі значення відхилення напруги.

Таблиця 3.3 – Характеристики асинхронного двигуна та припустимі межі відхилень напруги.

Характеристики АД	-10 % від $U_{ном}$	+10 % від $U_{ном}$
1. Пусковий та максимальний момент	-19	21
2. Ковзання	23	-17
3. ККД при номінальному навантаженні	-2	1
75 % від номінального навантаження	-2	1
50 % від номінального навантаження	-(1...2)	-(1—2)
4. Струм ротора	14	-11
5. Струм статора	10	-7

Системи освітлення застосовують різноманітні джерела світла, зокрема лампи розжарювання, ксенонові, натрієві, ртутні лампи високого тиску та

люмінесцентні лампи. Відхилення напруги впливають на інтенсивність освітлення, тривалість експлуатації ламп і величину світлового потоку. Зниження напруги на 1% призводить до зменшення світлового потоку приблизно на 3,5% і скорочення терміну служби ламп на 1,3%. Натомість підвищення напруги збільшує споживану потужність джерел світла (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Збільшення споживання потужності ламп освітлення

Тип лампи	Перевищення напруги, %					
	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %	10 %
Лампи розжарювання	1.6	3.2	4.7	8.1	11.5	16.4
Ртутні лампи	2.4	4.9	7.2	12.2	17	24.3
Натрієві лампи	2	8	11	18	24	34

Перепади напруги негативно впливають на роботу зварювальних апаратів. Наприклад, у машинах для точкового зварювання відхилення напруги на $\pm 15\%$ призводять до повного браку виготовленої продукції.

Конденсаторні установки. Коливання напруги в електричній мережі значно впливають на функціонування конденсаторних систем, які використовуються для компенсації реактивної потужності. У періоди зниженого навантаження напруга в мережі може зростати, створюючи ризик пошкодження обладнання, зокрема самих конденсаторів. Підвищена напруга також збільшує обсяг реактивної потужності, що надходить у мережу, що, у свою чергу, сприяє подальшому зростанню напруги. Навпаки, у періоди пікового навантаження зростає споживання реактивної потужності, що супроводжується зниженням напруги. Це знижує ефективність роботи конденсаторів, підвищує споживання реактивної потужності з мережі, збільшує втрати напруги та погіршує загальну якість електроенергії.

Оскільки короткочасні коливання напруги зазвичай не тривають достатньо довго, щоб викликати перегрівання чутливих елементів комутаційної

апаратури, основний вплив на ці пристрої чинять тривалі відхилення напруги.

3.1.2 Вплив несиметричних навантажень на роботу електроприймачів

Одним із важливих параметрів якості електроенергії є несиметрія. Режим роботи триф-ної електричної системи, за якого фазні напруги або струми втрачають симетричність, вважається несиметричним. Такі умови функціонування систем електропостачання призводять до виникнення несиметрії напруг і струмів.

Несиметрія в електромережах може виникати внаслідок двох основних причин:

- асиметрія, викликана нерівномірними параметрами самої електричної мережі (поздовжня несиметрія);
- асиметрія, спричинена підключенням до трифазної мережі навантажень із нерівномірним розподілом (поперечна несиметрія).

У разі несиметрії напруги можна розкласти на складові прямої, зворотної та нульової послідовності (див. рисунок 3.1).

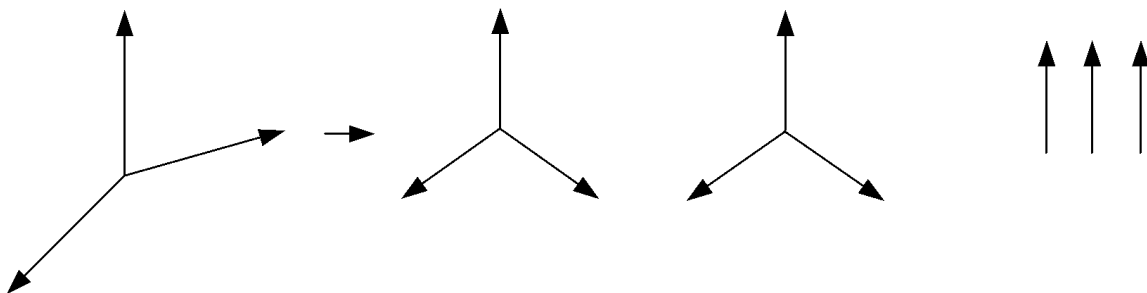


Рисунок 3.1 – Система зворотної, прямої та нульової послідовност

Нерівномірність напруг у фазах виникає через присутність складових нульової послідовності, тоді як нерівність міжфазних напруг пов'язана з компонентами зворотної послідовності. Напруга між нульовим провідником і заземленням відома як напруга зміщення нейтралі.

Рівень несиметрії оцінюється за допомогою таких параметрів:

- Коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю (K_{0U}), який визначається як співвідношення амплітуди напруги нульової послідовності до номінальної фазної напруги.
- Коефіцієнт несиметрії за зворотною послідовністю (K_{2U}), що розраховується як відношення амплітуди напруги зворотної послідовності до номінального значення.

Нерівномірність напруг чинить значний вплив на електричні системи та обладнання. В асинхронних двигунах поєднання струмів прямої та зворотної послідовностей спричиняє підвищене тепловиділення в роторі та статорі, що прискорює деградацію ізоляційних матеріалів і збільшує енергетичні втрати. У трансформаторах втрати енергії виникають через струми зворотної послідовності. У лініях електропередач, як кабельних, так і повітряних, ці струми також призводять до додаткових втрат. У системах із чотирьохпроводною конфігурацією нерівномірне навантаження може спричинити перевищення струму в нульовому проводі над фазним, що викликає його перевантаження та зростання втрат. Струми нульової послідовності, протікаючи через заземлювальні системи, можуть висушувати ґрунт навколо заземлювачів, підвищуючи опір заземлення. Крім того, вони здатні створювати перешкоди для низькочастотних сигналів, що негативно впливає на функціонування систем автоматизації та телемеханіки.

Підключення конденсаторних установок до мережі з нерівномірною напругою може посилювати несиметрію через нерівномірний розподіл реактивної потужності між фазами.

Несиметрія суттєво впливає на електричні мережі та обладнання. В асинхронних двигунах одночасна дія струмів прямої та зворотної послідовностей спричиняє додаткове нагрівання ротора й статора, що прискорює зношування ізоляції та підвищує втрати енергії. У трансформаторах втрати потужності виникають через струми зворотної послідовності. У

кабельних і повітряних лініях ці струми також спричиняють додаткові втрати. У чотирипровідних електричних мережах за умов нерівномірного розподілу навантаження струм у нульовому провіднику може перевищувати значення фазного струму, що спричиняє перевантаження провідника та збільшення втрат енергії. Струми нульової послідовності, протікаючи через заземлювальні пристрої, сприяють висушуванню ґрунту навколо заземлювачів, що підвищує опір розтікання. Крім того, вони можуть спотворювати низькочастотні сигнали, порушуючи роботу систем телемеханіки та автоматизації.

Підключення конденсаторних батарей до мережі з несиметричною напругою посилює нерівномірність розподілу реактивної потужності між фазами, що додатково ускладнює роботу системи.

3.1.3 Вплив вищих гармонік на підприємстві

У зв'язку з активним розвитком технологій та впровадженням новітніх рішень на промислових об'єктах значно зросло використання обладнання з нелінійними електричними характеристиками. До таких пристроїв належать електродугові печі, зварювальні апарати одно- та трифазного виконання, перетворювачі на основі вентильних схем, електронні баласти для освітлення, а також силові трансформатори, лампи газорозрядного типу й магнітні підсилювачі.

Ці пристрої спричиняють деформацію форми кривої змінного струму або напруги, що призводить до відхилень від ідеальної синусоїдальної форми, як показано на рисунку 3.2 [5].

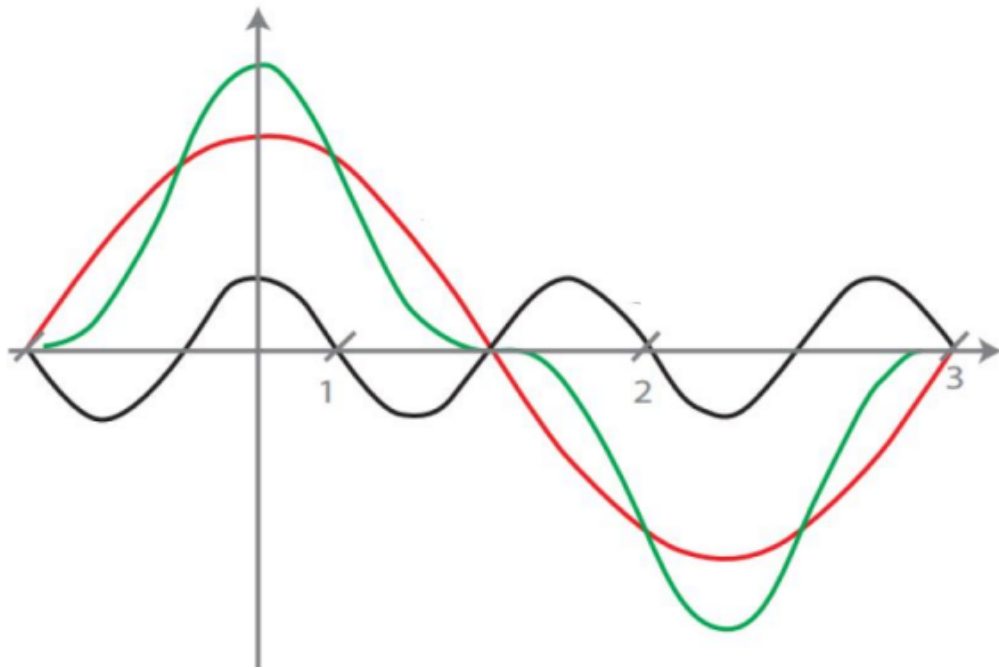


Рисунок 3.2 – Поява несинусоїдної напруги

У трифазній системі електропостачання криві напруги зміщені одна відносно одної на кут, що дорівнює третині періоду, тобто $2\pi/3$.

Гармоніки класифікуються за трьома основними ознаками: порядком, типом послідовності та частотою. У мережі з основною частотою 50 Гц порядок гармоніки показує, у скільки разів частота гармоніки більша за основну. Таким чином, порядок гармоніки розраховується як співвідношення частоти гармоніки до частоти основної хвилі.

$$n = \frac{f_n}{f_{50}} \quad (3.5)$$

Частота гармоніки визначається як результат множення порядку гармоніки на частоту основної хвилі. Парні гармоніки зазвичай спостерігаються в мережах із несиметричним навантаженням, тоді як непарні гармоніки присутні в усіх видах промислових систем.

Щодо впливу на електромережу, гармоніки прямої та зворотної послідовності мають однаково негативний ефект, незалежно від їхньої послідовності.

Несинусоїдальність напруги оцінюється за такими параметрами:

- коефіцієнт n-ї гармонійної складової напруги $U(n)K$;

- коефіцієнт спотворення форми кривої напруги UK.

Ці характеристики по-різному впливають на електрообладнання та енергосистему загалом. Струми, викликані несинусоїдальністю, збільшують втрати енергії в мережі та електроприймачах. Крім того, гармонійні складові можуть спровокувати резонанс в електроустановках. У разі резонансу на вищих гармоніках значення напруги або струму можуть перевищувати величину основної гармоніки, що призводить до резонансу струмів, викликаючи надмірне нагрівання, або резонансу напруг, що може спричинити пошкодження ізоляції.

Коефіцієнт спотворення n-ї гармонійної складової розраховується як відношення ефективного значення цієї гармоніки до ефективного значення основної складової напруги.

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(H)}} 100\% \quad (3.6)$$

Вищі гармоніки струму або напруги мають значний негативний вплив на системи електропостачання. При виникненні таких гармонік зростає їхня амплітуда, що призводить до підвищеного нагрівання електрообладнання та прискореного зносу ізоляції провідників.

У обертових електричних машинах вищі гармоніки спричиняють додаткові енергетичні втрати, які підвищують робочу температуру обладнання та можуть викликати локальні перегріви окремих компонентів. Струми гармонік у статорі генерують електрорушійну силу, що створює додаткові обертальні моменти на валу, які, у свою чергу, можуть викликати вібрації та механічні напруження.

3.2 Аналізатор мережі Sonel PQM-700

Аналізатор електричної якості Sonel PQM-700 – портативний пристрій, пристосований для роботи в різних умовах, що забезпечує надійний контроль і

фіксацію параметрів електромереж.

Використовуючи сучасні технології, Sonel PQM-700 точно вимірює, аналізує та записує дані мереж із частотою 50/60 Гц. Він відповідає стандарту EN 50160 для оцінки якості електроенергії та вимогам ІЕС 61000-4-30 класу S щодо точності й методів вимірювань.

Розширені функції приладу ідеально підходять для спеціалістів, які потребують зручного обладнання для перевірки стану електромереж.



Рисунок 3.3 – Аналізатор якості електроенергії | Sonel PQM-700

Аналізатор якості електроенергії Sonel PQM-700 оснащений чотирма струмовими входами, що дозволяють вимірювати фізичний струм у нейтральному провіднику.

Пристрій здатен одночасно фіксувати до 1100 параметрів, включаючи середні, максимальні, мінімальні та миттєві значення. Він забезпечує запис даних відповідно до вимог польського системного регламенту.

Для роботи в складних умовах прилад обладнаний вбудованим нагрівачем, що гарантує стабільне функціонування навіть за низьких температур до -20°C . Завдяки інтегрованій акумуляторній батареї аналізатор може працювати автономно щонайменше 6 годин.

Корпус із рівнем захисту IP65 забезпечує герметичність, дозволяючи використовувати пристрій під час дощу, снігу або в умовах підвищеної вологості.

Аналізатор Sonel PQM-700 забезпечує вимірювання широкого спектра параметрів електромережі. Пристрій оснащений чотирма входами для вимірювання напруги (L1, L2, L3, N), що дозволяє фіксувати середні, мінімальні, максимальні та миттєві значення напруги до 760 В. Він сумісний із трансформаторами напруги для адаптації до різних умов.

Для вимірювання струму (L1, L2, L3, N) передбачено чотири входи, які підтримують діапазон до 6 кА залежно від типу струмових кліщів, із можливістю підключення трансформаторів струму. Прилад визначає пік-фактори струму (CFI) та напруги (CFU), а також частоту мережі в межах від 40 до 70 Гц.

Sonel PQM-700 вимірює активну (P), реактивну (Q), повну (S) та спотворену (D) потужність, визначаючи характер реактивної потужності (ємнісний чи індуктивний). Розрахунок реактивної потужності виконується за методиками Будеану та IEEE 1459. Крім того, пристрій фіксує активну (E P), реактивну (E Q) і повну (E S) енергію, а також коефіцієнти потужності, $\cos\phi$ і $\text{tg}\phi$.

Аналізатор оцінює гармоніки напруги та струму до 40-го порядку, а також повний коефіцієнт гармонійних спотворень (THD) для обох величин. Він відстежує короткочасне (P ST) і тривале (P LT) мерехтіння, а також дисбаланс напруг і струмів відповідно до стандарту IEC 61000-4-30 класу S.

Пристрій записує події, пов'язані зі струмом і напругою, включаючи форми хвиль і діаграми RMS за половину періоду. Усі параметри фіксуються відповідно до вимог класу S стандарту IEC 61000-4-30, забезпечуючи високу точність і надійність даних.

Аналізатор Sonel PQM-700 призначений для роботи з різними типами електричних мереж, що функціонують на номінальній частоті 50 або 60 Гц. Прилад підтримує широкий діапазон номінальних напруг, включаючи 64/110 В, 110/190 В... та 400/690 В. Крім того, він сумісний із системами постійного струму.

Підтримувані конфігурації мереж охоплюють однофазні системи, двофазні з нульовим провідником, а також трифазні системи у форматі «зірка» (з нейтральним провідником або без нього) та «трикутник». Прилад також працює з трифазними системами в конфігурації Арона (зірка або трикутник без нейтралі) і підтримує використання трансформаторів струму та напруги для адаптації до специфічних умов.

Sonel PQM-700 забезпечує точне вимірювання параметрів електромережі відповідно до стандарту IEC 61000-4-30 класу S, що гарантує високу якість даних. Завдяки вбудованому нагрівачу пристрій надійно працює навіть за низьких температур до -20°C , зберігаючи стабільність вимірювань.

У разі відключення живлення аналізатор продовжує функціонувати завдяки внутрішньому акумулятору, який забезпечує до 6 годин автономної роботи. Дані зберігаються на знімній карті пам'яті об'ємом 2 ГБ. Для зчитування інформації можна використовувати USB-порт або зовнішній пристрій, а для подальшого аналізу передбачено спеціалізоване програмне забезпечення Sonel Analysis.

Представлення даних

Усі зафіксовані параметри, включно з подіями, зручно зчитуються через програмне забезпечення Sonel Analysis. Функціонал програми дозволяє переглядати отримані результати, зберігати їх на комп'ютері у форматі необроблених даних або сформованих звітів.

Програма Sonel Analysis регулярно отримує оновлення та вдосконалення, що забезпечує відповідність сучасним стандартам і нормам, дозволяючи користувачам працювати з актуальними вимогами.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики Sonel PQM-700

Параметр	Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Точність
Змінна напруга (TRMS)	0,0... 760,0 В	4 значущі цифри	$\pm 0.5\% U_{ном}$
Крест-фактор (Напруга)	1,00... 10,00 ($\leq 1,86$ для напруги 690 В)	0,01	$\pm 5\%$
Крест-фактор (Електрика)	1,00... 10,00 ($\leq 3,8$ для $I_{ном}$)	0,01	$\pm 5\%$
Змінний струм (TRMS)	залежно від затискачів	4 значущі цифри	$\pm 0,2\% I_{ном}$ (похибка не включає похибку затискачів)
Частота	40,00 ... 70,00 Гц	0,01 Гц	$\pm 0,05$ Гц
Активна, реактивна, повна та потужність споживання	в залежності від комплектації (трансформатори, затискачі)	4 значущі цифри	в залежності від комплектації (трансформатори, затискачі)
Активна, реактивна та повна енергія	в залежності від комплектації (трансформатори, затискачі)	4 значущі цифри	як помилка живлення
$\cos\varphi$ і коефіцієнт потужності (PF)	0,00 ... 1,00	0,01	$\pm 0,03$
$\tan\varphi$	0,00 ... 10,00	0,01	залежить від похибки активної та реактивної потужності

Параметр	Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Точність
Гармоніки (Напруга)	DC, 1 ... 40	те саме, що і для змінної напруги. Справжнє середньоквадратичне значення	$\pm 0,15\% U_{ном}$ для $<3\% U_{ном}$ $\pm 5\%$ від п. з м $> 10\% U_{ном}$
Гармоніки (Електрика)	DC, 1 ... 40	те саме, що і для змінного струму True RMS	$\pm 0,5\% I_{ном}$ для $<3\% I_{ном}$ $\pm 5\%$ від п. з м $> 10\% I_{ном}$
THD	0,0...100,0% (відносно ефективного значення)	0,1%	$\pm 0,5\%$
Індикатор мерехтіння	0,40 ... 40,00		$\pm 10\%$
Фактор асиметрії (Напруга і струм)	0,0...100,0%	0,1%	$\pm 0,3\%$ (абсолютна похибка)

Аналізатор Sonel PQM-700 відіграє важливу роль у промислових сферах, зокрема для електриків і сервісних служб, слугуючи доступним і багатофункціональним пристроєм для реєстрації параметрів електричного навантаження. Він також знаходить застосування серед споживачів і виробників відновлюваної енергії, таких як вітрові та сонячні електростанції, де необхідний чотириквadrантний аналіз потужності.

Пристрій забезпечує надійний моніторинг і запис даних, що дозволяє ефективно оцінювати стан електромереж у різноманітних умовах експлуатації.

3.3 Засоби покращення якості електроенергії

3.3.1 Методи зниження рівня гармонік

Методи зменшення несинусоїдальності напруги

Для зменшення спотворень напруги в електричних мережах, викликаних несинусоїдальністю, застосовуються різні підходи та технічні рішення, які можна поділити на три основні категорії.

Перша категорія включає схемотехнічні методи. Один із них полягає в організації окремого електроживлення для пристроїв із нелінійними характеристиками струму та напруги, що дозволяє ізолювати їхній вплив на основну мережу. Також ефективним є підключення таких навантажень до окремих трансформаторів або спеціально виділених обмоток, що зменшує взаємний вплив. Використання систем із вищою потужністю для підключення нелінійних споживачів сприяє зниженню спотворень. Крім того, застосовується групування перетворювачів за схемами фазового множення для додаткового зменшення гармонік.

Друга категорія передбачає використання спеціалізованих пристроїв для фільтрації вищих гармонік. Фільтрокомпенсуючі системи, такі як ФКУ та ФСУ, ефективно придушують гармонійні складові, покращуючи якість напруги. Також застосовуються джерела реактивної потужності, які компенсують спотворення та стабілізують роботу мережі.

Третя категорія зосереджена на використанні обладнання, яке за своєю конструкцією генерує мінімальну кількість вищих гармонік. Такі пристрої розробляються з урахуванням зниження впливу на електромережу, що сприяє зменшенню несинусоїдальності та підвищенню загальної ефективності системи електропостачання.

3.3.2 Зниження несиметрії напруг

Найефективнішим способом зменшення несиметрії в електромережах є рівномірний розподіл навантажень між фазами, що дозволяє знизити коефіцієнт несиметрії до прийнятного рівня. Проте цей метод не завжди забезпечує повне вирішення проблеми. У таких випадках застосовуються спеціалізовані симетрувальні пристрої.

У мережах із напругою до 1 кВ одним із рішень є заміна трансформаторів із конфігурацією «зірка-зірка» з нейтраллю на трансформатори зі схемою «трикутник-зірка» з нейтраллю. Така заміна дає змогу замикати струми

нульової послідовності, кратні трьом, у первинній обмотці, що знижує опір нульової послідовності та сприяє балансуванню системи.

Для боротьби з несиметрією використовуються як керовані, так і некеровані симетрувальні пристрої. Залежно від підходу, застосовуються індивідуальні, групові або комбіновані методи симетрування.

Використання несиметричної батареї конденсаторів є ефективним для виправлення несиметрії в системах із низьким коефіцієнтом потужності. Така схема компенсує несиметрію реактивних складових струмів, не впливаючи на активні складові.

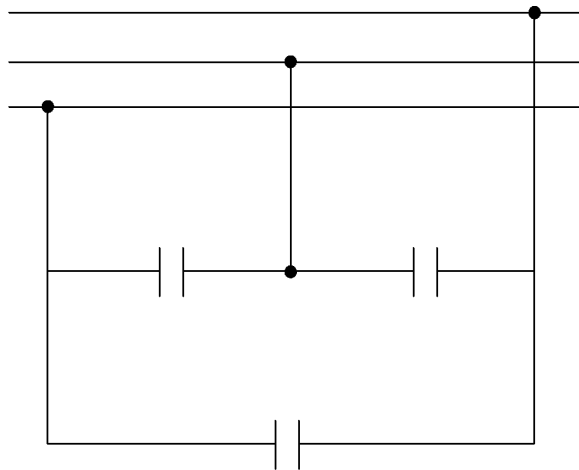


Рисунок 3.5 - Схема симетрування напруги за допомогою батареї конденсаторів

Для компенсації несиметрії навантаження в однофазних або фазно-несиметричних трифазних системах застосовують спеціальні пристрої симетрування, що поєднують індуктивні та ємнісні елементи. Вони дозволяють вирівняти струми та напруги у фазах, забезпечуючи більш стабільну й ефективну роботу електроустановок. Одним із найпоширеніших варіантів таких пристроїв є схема Штейменса, яка завдяки простоті реалізації та високій ефективності широко використовується у практиці електропостачання для вирівнювання фазних навантажень. Ця схема дозволяє створити умовну третю фазу, що забезпечує симетричне живлення споживачів у випадках, коли до

наявної мережі підключено лише однофазне навантаження.

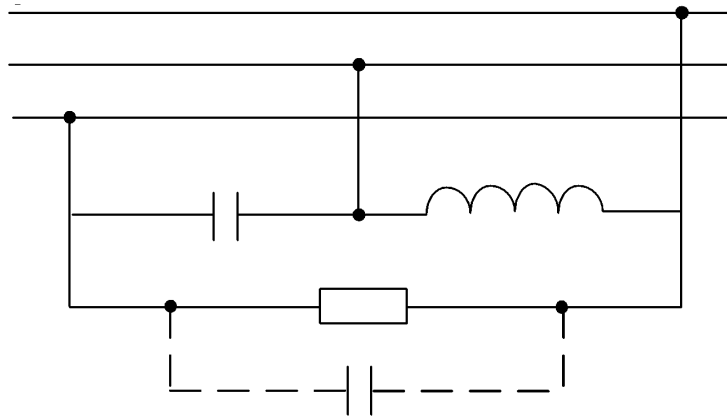


Рисунок 3.7 - Схема симетрування однофазного навантаження

За схемами випрямно-інверторного перетворювача (рисунок 3.7) реалізується перетворювач числа фаз. Ця схема перетворює трифазну напругу на постійну з рівномірним розподілом навантаження по фазах мережі.

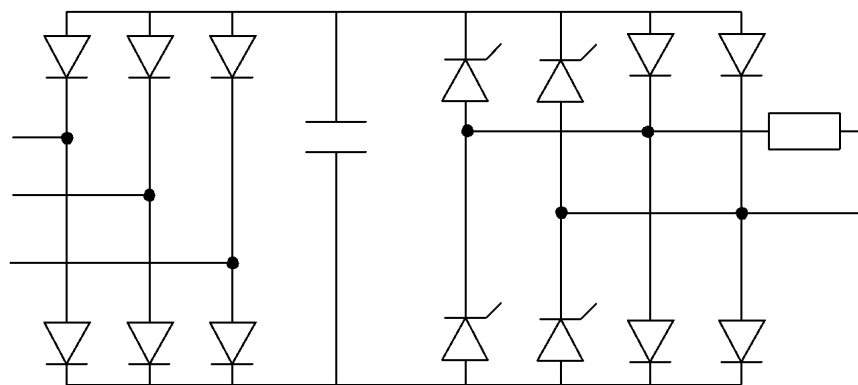


Рисунок 3.7 – Схема вентильного перетворювача

Тиристорний перетворювач дозволяє підключати однофазне навантаження до трифазної мережі без порушення симетрії системи. Завдяки керованому процесу випрямлення та перетворення енергії, він забезпечує рівномірний розподіл навантаження між усіма фазами. Це дозволяє уникнути перекосів напруги, зменшує втрати енергії та підвищує ефективність роботи електричної мережі, особливо в умовах, коли значна частина споживачів є однофазними..

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці під час монтажу системи електропостачання цукрового заводу ТОВ «Зелена долина» у селищі Томашпіль Вінницької області. Відтак, на будівельно-монтажний персонал, що здійснює монтаж системи електропостачання, впливають такі шкідливі виробничі фактори [13, 14]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць в пожежонебезпечних зонах

Вимоги поширюються на електроустановки, що розміщуються в пожежонебезпечних зонах всередині і зовні приміщень цукрового заводу ТОВ «Зелена долина» у селищі Томашпіль Вінницької області. До експлуатації в пожежонебезпечних зонах допускається електрообладнання, що відповідає

вимогам з урахуванням показників пожежо- вибухонебезпеки матеріалів (рідин, пилу, волокон).

Електрообладнання з частинами, що іскрять під час нормальної роботи або нагріваються понад небезпечні температури (тобто є імовірними джерелами займання) рекомендується встановлювати поза межами пожежонебезпечних зон. Для забезпечення ступеня захисту оболонок електрообладнання від проникнення пилу на рівні IP54, кришки, інші з'ємні частини оболонки і місця вводу кабелів слід ущільнювати за допомогою еластичних (гумових) прокладок, ущільнювальних кілець, сальників тощо.

Відкриті частини електричних машин, які нормально іскрять (наприклад, контактні кільця), слід розташовувати на відстані не менше 1 м від місць розміщення горючих матеріалів, або відокремлювати від них екраном з негорючого матеріалу. Переносні електричні ручні машини (електрифікований інструмент), які застосовуються в пожежонебезпечних зонах, повинні мати ступінь захисту оболонок не менше IP44.

При використанні електронагрівальних приладів їх робочі частини, які нагріваються, слід захищати від контакту з горючими речовинами, а самі прилади встановлювати на поверхні із негорючих матеріалів і відділяти від горючих речовин екранами.

Електроустановки в пожежонебезпечних зонах будь-яких класів в разі необхідності повинні мати апарати, що відключають частково або повністю технологічне і сантехнічне устаткування у випадках аварій і пожеж. Обсяг відключення визначається технологами і сантехніками проектної організації і спеціалістами служб охорони праці, з урахуванням особливостей технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах всіх класів рекомендується використовувати силові і освітлювальні розподільчі пункти, що мають ступінь захисту оболонок IP54. Електрообладнання вантажопідіймальних механізмів (кранів, талей тощо), котрі перебувають в пожежонебезпечних зонах і зв'язані з технологічним процесом, повинне мати ступінь захисту оболонок згідно з таблицями 7.4.1, 7.4.2 ПВЕ (як для пересувних механізмів).

В пожежонебезпечних зонах слід використовувати світильники, що мають ступінь захисту не менший, ніж IP44. Світильники з лампами розжарювання не повинні мати відбивачів і розсіювачів з горючих матеріалів. В разі встановлення світильників, що не мають штепсельних роз'ємів, на металевих кронштейнах (стійках), заземлення кронштейна слід забезпечувати жорстким кріпленням до нього заземленого металевого корпусу. В свою чергу, заземлення корпусу світильника слід виконати за допомогою перемички між заземлювальним і нульовим затискачами всередині ввідного пристрою світильника. В пожежонебезпечних зонах всіх класів крім захисту від струмів КЗ провідники освітлювальних мереж слід захищати від перевантажень. Крім того, від перевантажень слід захищати силові мережі, які прокладаються в пожежонебезпечних зонах складських приміщень, і в інших випадках, якщо перевантаження може виникнути за умовами технологічного процесу. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не розповсюджують горіння.

Складські приміщення з пожежонебезпечними зонами будь-якого класу, які замикаються, повинні мати апарати для відключення іззовні силових і освітлювальних мереж незалежно від наявності апаратів для відключення всередині приміщень. В пожежонебезпечних зонах будь-якого класу складських приміщень забороняється застосування електронагрівальних приладів.

4.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як виконуються назовні. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) Для запобігання електротравм від контакту з

нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;

- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Iб	22-28	55 при 28°C	0,1-0,2
Холодний	Iб	21-25	75 при 25°C	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;
- провітрювання приміщення.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості. При експлуатації здійснюється контроль за рівнем

напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4. Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

– безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;

– для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [23, 24]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [25], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [26].

Основні виробничі приміщення ТОВ «Зелена долина» у селищі Томашпіль Вінницької області за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини: цукор, тара). Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується II ступенем вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхо-ві (у т.ч. горищні та над підва-ла-ми	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-не-сучі	зов-ні ш-ні не-не-сучі	внут-рішні не-не-сучі (пере-город-ки				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В виробничому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежно ї перешкоди (у хвиликах)	Тип заповненн-я прорізів, не нижче	Тип протипожежног-о тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

ВИСНОВОК

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи проведено комплексне дослідження системи електропостачання цукрового заводу ТОВ «Зелена долина», розташованого в смт Томашпіль Вінницької області. Аналіз технологічного процесу та електричних навантажень підприємства дозволив обґрунтовано визначити структуру та параметри електромереж, необхідних для забезпечення стабільного функціонування виробництва у період цукроваріння.

Було здійснено поетапний розрахунок електричних навантажень як на рівні окремих цехів, так і підприємства в цілому, обрано конфігурацію системи живлення, підібрано типи трансформаторів та апаратури, що відповідають вимогам надійності та енергоефективності. На основі техніко-економічного порівняння обґрунтовано доцільність живлення заводу від ПС 35/10 кВ із розміщенням головної понижувальної підстанції безпосередньо на території підприємства.

Також проведено оцінку якості електроенергії, яка постачається споживачам. Виявлено потенційні джерела відхилень від нормативних показників, зокрема за рівнем напруги та коефіцієнтом потужності. Надано рекомендації щодо компенсації реактивної потужності та оптимізації навантажень.

Робота має як теоретичну, так і прикладну цінність, оскільки дозволяє не лише сформувати сучасне уявлення про побудову систем електропостачання промислових підприємств, але й слугує основою для практичної реалізації запропонованих рішень на об'єктах цукрової галузі. У подальшому доцільно провести поглиблений аналіз питань енергоощадності та цифрового моніторингу енергосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2005. 110с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617с.
4. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).
5. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
6. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
8. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
9. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>
10. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>

11. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756>

12.

<https://promsystem.com.ua/product/analizator-yakosti-elektroenergiyi-sonel-pqm-700/>

13. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

14. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

15. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

16. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

17. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

18. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

19. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

20. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

21. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку.

URL:

<http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-no-r4878.html>.

22. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

23. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

24. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

25. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

26. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

27. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

28. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вихідні дані

Таблиця А.1 - Вхідні дані про електричні навантаження заводу

Назва цеху	Навантаження, кВт
12. Газова піч	365
13. Мийний відділ	117
14. Цукровий склад	46
15. Бурякоперероблювальний цех	–
16. Котельня	782
17. Турбінний зал	610
18. Гараж	51
19. Матеріальні склади	22
20. Прийомний пункт	60
21. Головний корпус	1050
22. Прохідна	26

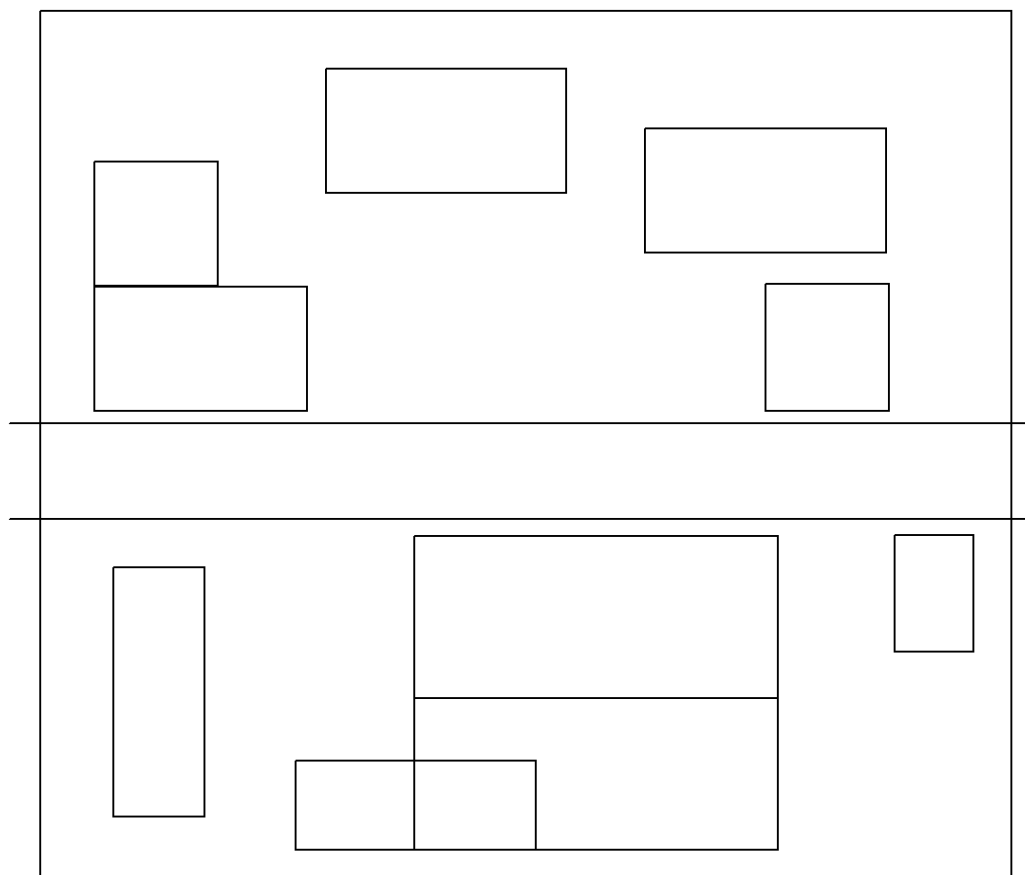


Рисунок А.1 – Генплан підприємства

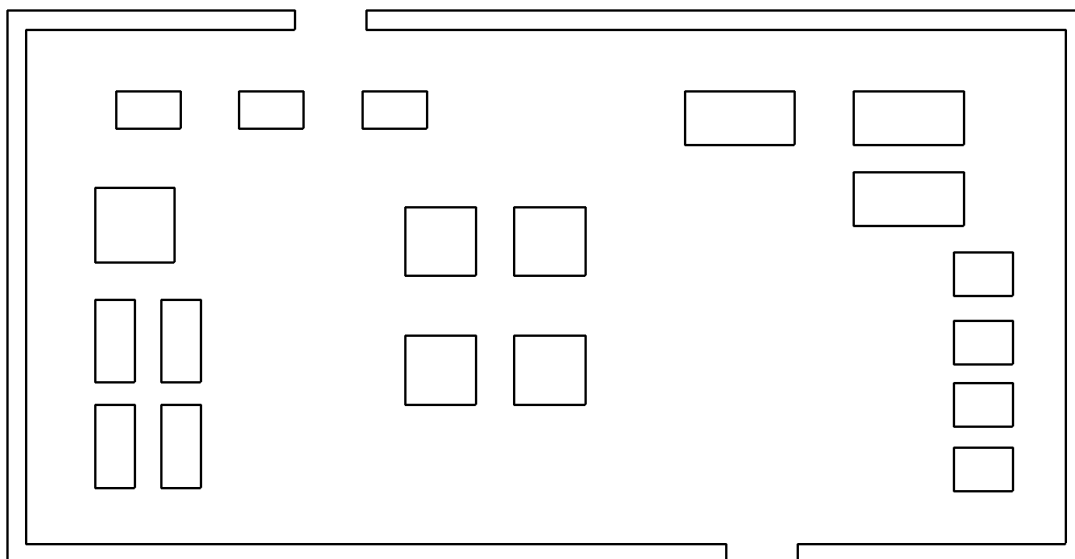


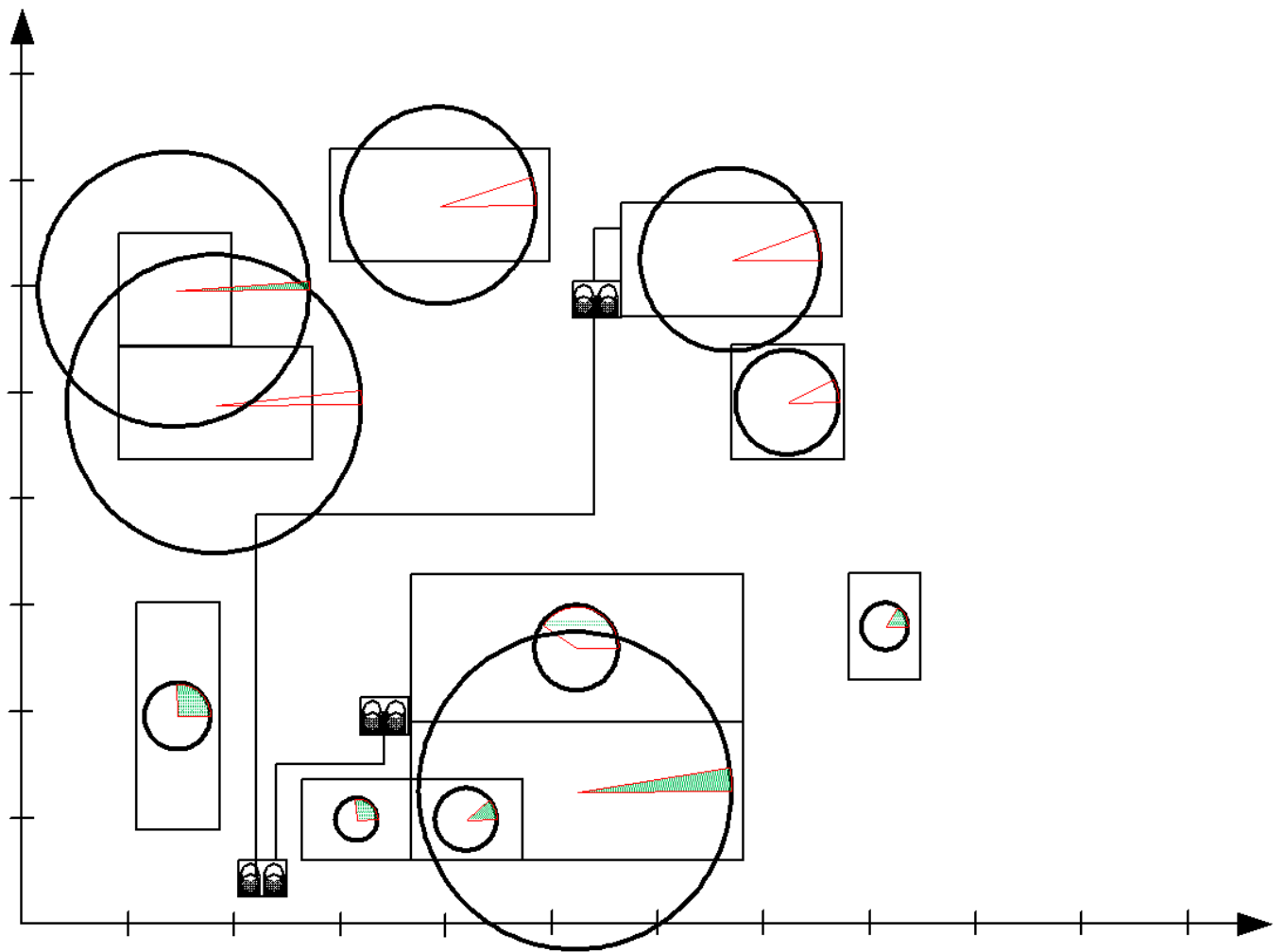
Рисунок А.2 – План виробничого цеху

Таблиця А.2 – Відомості про споживачів цеху

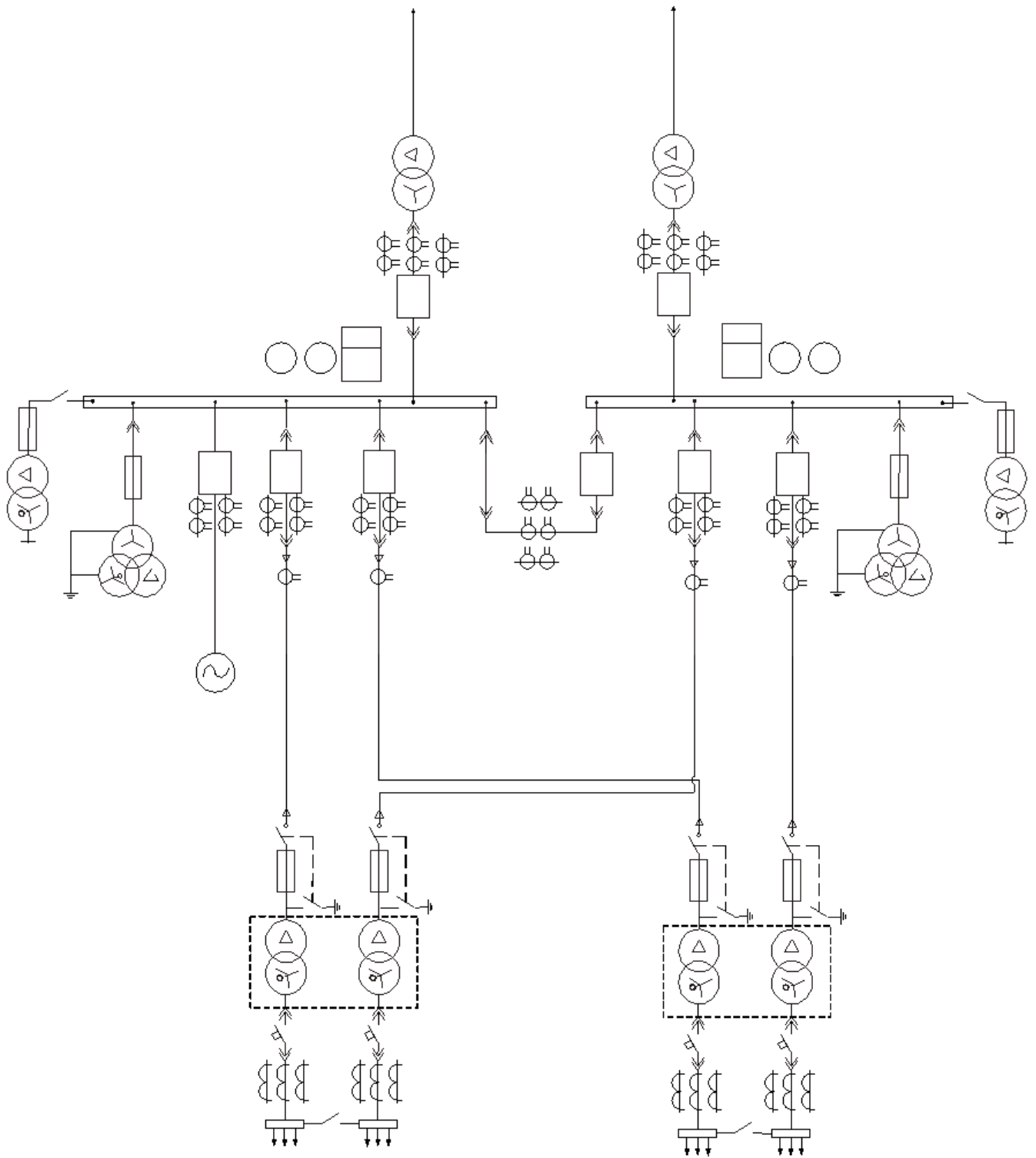
№ на плані	Найменування ЕП	n, шт	Потужність споживачів цеху
1-4	Дифузійний апарат	4	21
5	Мішалка жому	1	14
6-8	Жомові насоси	3	32
9	Мийка буряків	1	17
10-11	Компресор	2	14
12-15	Шнеки	4	11
16-19	Фільтри	4	16

ДОДАТОК Б (ПРЕЗЕНТАЦІЙНІ ДОДАТКИ)

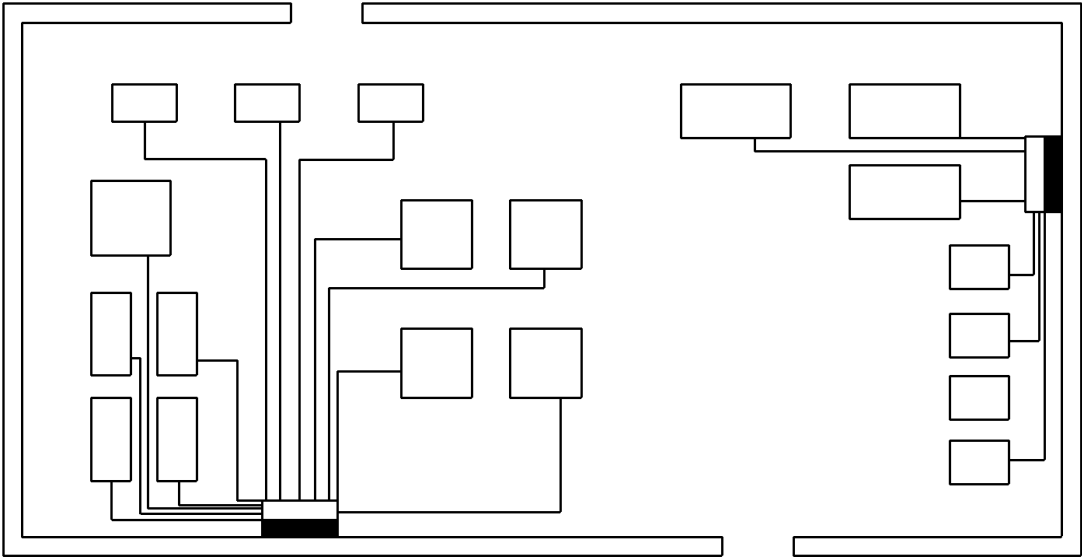
КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ



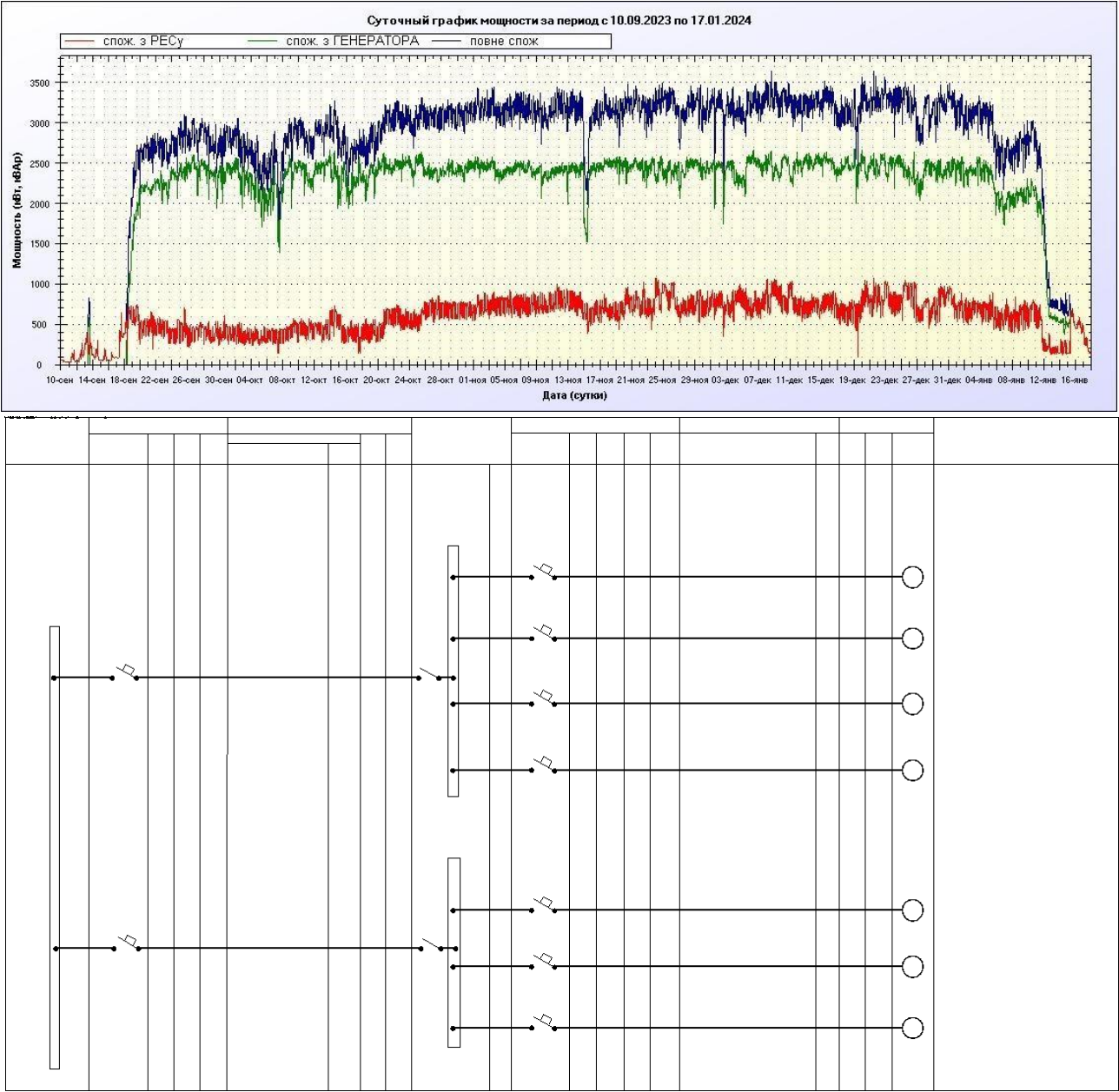
Однолінійна СХЕМА



ПЛАН ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ



РОЗРАХУНКОВО-МОНТАЖНА ТАБЛИЦЯ



ГРАФІК НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ПОТОЧНИЙ МІСЯЦЬ

ДОДАТОК В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз системи електропостачання цукрового заводу Товариства з обмеженою відповідальністю "Зелена долина" у селищі Томашпіль Вінницької області

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ЕСЕМ, ФЕЕМ, ЕЕ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 19,73 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бурбело М. Й., завідувач кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада) _____ (підпис)

Бабенко О. В., доцент кафедри ЕСЕМ
(прізвище, ініціали, посада) _____ (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Кравець О. М.
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ Шкулепа І. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

