

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Чепіжний А.В.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електропостачання виробничих об'єктів
ТОВ «Плант-Агро» Сумського району Сумської області з розробкою питання
організації оптимальної енерготехнічної служби»

Виконала:

(підпис)

Аксіленко В. І.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ГЕЕ 2201 с.т.

(Науковий) керівник:

(підпис)

Вольвач Т. С.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
енергетики та електротехнічних систем

_____ **Чепіжний А.В.**

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Аксіленку Віктору Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Реконструкція системи електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «Плант-Агро» Сумського району Сумської області з розробкою питання організації оптимальної енерготехнічної служби»,

керівник роботи: _____ асистент Вольвач Тетяна Сергіївна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “09” грудня 2024 року № 4057/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: “23” травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали обстеження об'єкту, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

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

Вступ

1. Оцінка ефективності функціонування ТОВ «ПЛАНТ-АГРО»

2. Проектування електропостачання об'єкту

3. Вибір та перевірка електричних апаратів КТП 10/0,4 кВ

4. Обґрунтування оптимальної енерготехнічної служби підприємства

5. Охорона праці

6. Екологічна експертиза

7. Економічне обґрунтування

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. ТОВ «Плант-Агро». Мережі 0,4 та 10 кВ. Схема електрична розташування.

2. КТП-100-10/0,4 кВ. Креслення загального виду.

3. КТП-100-10/0,4 кВ. Кола первинних з'єднань. Схема електрична принципова.

4. Розрахунок оптимальної кількості працівників енерготехнічної служби ТОВ «Плант-Агро». Таблиця.

5. Показники техніко-економічні. Таблиця.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічне обґрунтування			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: “04” вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарства	09.09.2024 р. – 13.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	16.09.2024 р. – 15.11.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	18.11.2024 р. – 22.11.2024 р.	
4.	Написання вступу	25.11.2024 р. – 29.11.2024 р.	
5.	Підготовка розділу 1	02.12.2024 р. – 27.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділу 2 та 3. Підготовка листів 1 та 2 графічної частини.	03.02.2025 р. – 28.02.2025 р.	
7.	Підготовка розділу 4 та 5. Підготовка листів 3 та 4 графічної частини.	03.03.2025 р. – 28.03.2025 р.	
8.	Підготовка розділів 6 та 7. Підготовка листа 5 графічної частини.	31.03.2025 р. – 02.05.2025 р.	
9.	Написання висновків	05.05.2025 р. – 09.05.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Аксіленко В. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Вольвач Т. С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Аксіленко Віктор Іванович. Реконструкція системи електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «Плант-Агро» Сумського району Сумської області з розробкою питання організації оптимальної енерготехнічної служби.

Кваліфікаційна робота на здобуття бакалавра за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена реконструкції системи електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «Плант-Агро» Сумського району Сумської області з метою підвищення надійності, безпеки та ефективності енергопостачання. У роботі проведено аналіз існуючого стану електромережі підприємства, виявлено основні недоліки та причини низької якості електропостачання. Запропоновано заміну застарілого обладнання та впровадження сучасних технічних рішень, зокрема комплектної трансформаторної підстанції КТП-100/10/0,4 з трансформатором ТМГ-100, нових алюмінієвих проводів марок АС16, АС25, АС35 і АС50, автоматичних вимикачів ВА57-39 та ВА57-35, а також заміну опор на залізобетонні типу СВ 95-3. Розроблено рекомендації щодо організації оптимальної енерготехнічної служби підприємства для забезпечення ефективного обслуговування та експлуатації електрообладнання. Економічне обґрунтування підтверджує доцільність реконструкції з урахуванням капіталовкладень та очікуваної економії витрат на обслуговування і ремонт.

Ключові слова: реконструкція електропостачання, трансформаторна підстанція КТП-100/10/0,4, енерготехнічна служба, оптимізація енергоспоживання, електричні мережі, автоматичні вимикачі, алюмінієві проводи, капіталовкладення, надійність електропостачання, технічне обслуговування.

ABSTRACT

Aksilenko Viktor Ivanovych. Reconstruction of the Power Supply System of Production Facilities of LLC "Plant-Agro" in the Sumy District of Sumy Region with the Development of the Issue of Organizing an Optimal Energy Engineering Service.

Qualification work for a bachelor's degree in the educational programme "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" in the speciality 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

Qualification work is dedicated to the reconstruction of the power supply system of the production facilities of LLC "Plant-Agro" in the Sumy district of Sumy region, aiming to improve the reliability, safety, and efficiency of power supply. The work includes an analysis of the existing condition of the enterprise's electrical network, identifying the main deficiencies and causes of poor power quality. It proposes the replacement of outdated equipment and the implementation of modern technical solutions, namely a complete transformer substation KTP-100/10/0.4 with a TMG-100 transformer, new aluminum conductors of grades AS16, AS25, AS35, and AS50, automatic circuit breakers VA57-39 and VA57-35, as well as the replacement of supports with reinforced concrete types SV 95-3. Recommendations have been developed for organizing an optimal energy engineering service at the enterprise to ensure effective maintenance and operation of electrical equipment. The economic justification confirms the feasibility of the reconstruction, taking into account capital investments and expected savings in maintenance and repair costs.

Keywords: power supply reconstruction, transformer substation KTP-100/10/0.4, energy engineering service, energy consumption optimization, electrical networks, automatic circuit breakers, aluminum conductors, capital investments, power supply reliability, maintenance.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТОВ «ПЛАНТ-АГРО»	9
1.1. Загальна інформація про товариство.....	9
1.2. Аналіз ефективності функціонування ТОВ «ПЛАНТ АГРО».....	10
1.3. Аналіз існуючої системи електропостачання	12
1.4. Висновки та пропозиції.....	14
2. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ	16
2.1. Визначення електричних навантажень на вводах до споживачів	16
2.2. Визначення необхідної потужності для зовнішнього освітлення території господарства.....	16
2.3. Обчислення координат центру електричних навантажень	17
2.3. Визначення навантаження на повітряні лінії електропередачі 0,4 кВ	19
2.4. Визначення розрахункової потужності КТП 10/0,4 кВ.....	23
2.5. Вибір кількості та номінальної потужності силових трансформаторів для підстанції 10/0,4 кВ	24
2.6. Розрахунок перерізу проводів ПЛ-0,4 кВ	26
2.7. Перевірка ПЛ-0,4 кВ на стабільність напруги при запуску потужного електропривода	27
3. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ КТП 10/0,4 КВ ...	30
3.1. Вибір КТП 10/0,4 кВ	30
3.2. Складання схеми первинних з'єднань КТП 10/0,4 кВ	32
3.3. Розрахунок струмів короткого замикання в системі електропостачання .	33
3.4. Визначення робочих струмів відхідних ліній 0,4 кВ	36

3.5. Вбір та перевірка захисних апаратів відхідних ліній 0,4 кВ.....	37
4. ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЕНЕРГОТЕХНІЧНОЇ СЛУЖБИ ПІДПРИЄМСТВА	39
4.1. Особливості організації оптимальної енерготехнічної служби.....	39
4.2. Визначення річного об'єму робіт енерготехнічної служби	40
4.3. Визначення річного об'єму робіт по видам енергообладнання.....	41
4.4. Визначення річних витрат праці	41
4.5. Розрахунок річних витрат праці на обслуговування по видам обслуговування	43
4.6. Визначення чисельності обслуговуючого персоналу	46
4.7. Обґрунтування складу і кількості інженерно-технічного персоналу енерготехнічної служби	48
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	50
6. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА	54
7. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	57
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України потребує надійного, безперебійного та економічно ефективного електропостачання виробничих об'єктів. Електроенергія є основним джерелом енергії для більшості технологічних процесів у сільському господарстві, зокрема в рослинництві, тваринництві, переробці продукції, зберіганні та транспортуванні.

ТОВ «Плант-Агро», що розташоване в Сумському районі Сумської області, є сільськогосподарським підприємством із широким спектром виробничих процесів, що вимагають якісного та безперебійного електропостачання. На сьогоднішній день існуюча система електропостачання підприємства не відповідає сучасним вимогам з енергоефективності, надійності та технічної безпеки. Тому актуальним є питання її модернізації з урахуванням новітніх технологій та технічних рішень.

Крім технічної реконструкції, важливим аспектом є впровадження ефективної системи управління енергетичним господарством. Раціонально організована енерготехнічна служба сприяє оптимізації енергоспоживання, підвищенню технічного рівня обслуговування енергетичного обладнання, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню загальної ефективності роботи підприємства.

Метою дипломного проєкту є розробка технічного рішення щодо реконструкції системи електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «Плант-Агро» та обґрунтування структури оптимальної енерготехнічної служби, здатної забезпечити ефективну експлуатацію електротехнічного обладнання на підприємстві.

У процесі виконання проєкту проведено аналіз існуючого стану електропостачання, розроблено технічні заходи щодо його вдосконалення, підібрано відповідне електротехнічне обладнання та розроблено пропозиції щодо організаційної структури та функціонування енерготехнічної служби з урахуванням специфіки підприємства.

1. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТОВ «ПЛАНТ-АГРО»

1.1. Загальна інформація про товариство

ТОВ «ПЛАНТ АГРО» – це аграрне підприємство, що активно функціонує на території Сумського району Сумської області. Зареєстроване у 2017 році, воно за відносно короткий період закріпилося як стабільний учасник ринку первинного агровиробництва. Основним видом господарської діяльності є вирощування зернових, бобових культур та олійних культур, що визначає підприємство як базовий суб'єкт у сфері рослинництва.

Однак діяльність товариства не обмежується лише традиційним сільським господарством. Підприємство демонструє ознаки вертикальної інтеграції, розширюючи операції на післяурожайну обробку, логістику, оптову торгівлю насінням, зерном, хімічними продуктами, а також вантажні перевезення. Це свідчить про прагнення компанії охопити весь виробничо-збутовий цикл, що в довгостроковій перспективі дозволяє оптимізувати витрати, зменшити залежність від зовнішніх послуг та підвищити економічну стійкість.

Управління підприємством здійснюють кілька відповідальних осіб: Христич Андрій Григорович та Рудецький Сергій Іванович, що забезпечує розподіл функцій та зменшує ризики, пов'язані з персоніфікованим управлінням. Це також може вказувати на впровадження колективної моделі прийняття рішень, характерної для структур з широким спектром господарських операцій.

Підприємство функціонує в умовах зростаючих вимог до енергоефективності та технологічного оновлення, що особливо актуально в контексті сільськогосподарського виробництва, де електроенергія є критичним ресурсом для забезпечення безперебійної роботи зерносушарок, насосного обладнання, охолоджувальних установок, механізованих складів тощо.

Таким чином, ТОВ «ПЛАНТ АГРО» є типовим, але водночас перспективним представником середніх аграрних підприємств України, для

якого модернізація енергетичної інфраструктури та ефективна організація енерготехнічної служби є стратегічними завданнями для подальшого розвитку.

1.2. Аналіз ефективності функціонування ТОВ «ПЛАНТ АГРО»

Для оцінки економічної ефективності діяльності ТОВ «ПЛАНТ АГРО» проведено аналіз основних фінансових показників підприємства за останні чотири роки (2021–2024). Аналіз дозволяє простежити тенденції розвитку, визначити фінансову стійкість та ефективність управління ресурсами (рис. 1.1 – 1.3).

Дохід підприємства зростає майже щороку, особливо значний стрибок спостерігається у 2024 році – понад 105 млн грн, що на 55% більше, ніж у 2023 році (рис. 1.1.). Це свідчить про розширення обсягів виробництва, збільшення обсягів реалізації або вихід на нові ринки збуту.

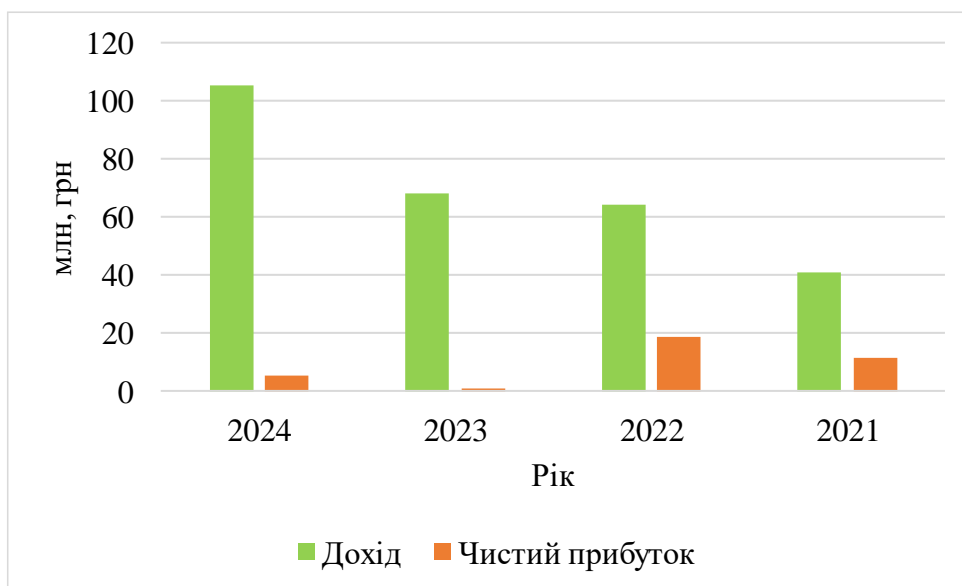


Рис. 1.1. Динаміка доходів та чистого прибутку за 2021-2024 рр.

Чистий прибуток (рис. 1.1.) демонструє більш нестабільну динаміку. У 2022 році він був на високому рівні (18,8 млн. грн), проте у 2023 році зафіксовано різке падіння до 796 тис. грн, що може свідчити про зростання витрат, збої в логістиці, несприятливі ринкові умови та воєнний стан в країні. Втім, у 2024 році

прибуток відновився й досяг рекордного показника – 25,4 млн. грн., що є свідченням ефективної адаптації підприємства до зовнішніх умов та покращення внутрішнього управління.

Загальна вартість активів залишається стабільною (рис. 1.2.), з незначним зниженням у 2024 році до 101,9 млн. грн. після пікових 106,5 млн. грн. у 2022 році. Така динаміка вказує на сталість виробничої бази та відсутність значних інвестицій у нові основні засоби або активи протягом останніх двох років.

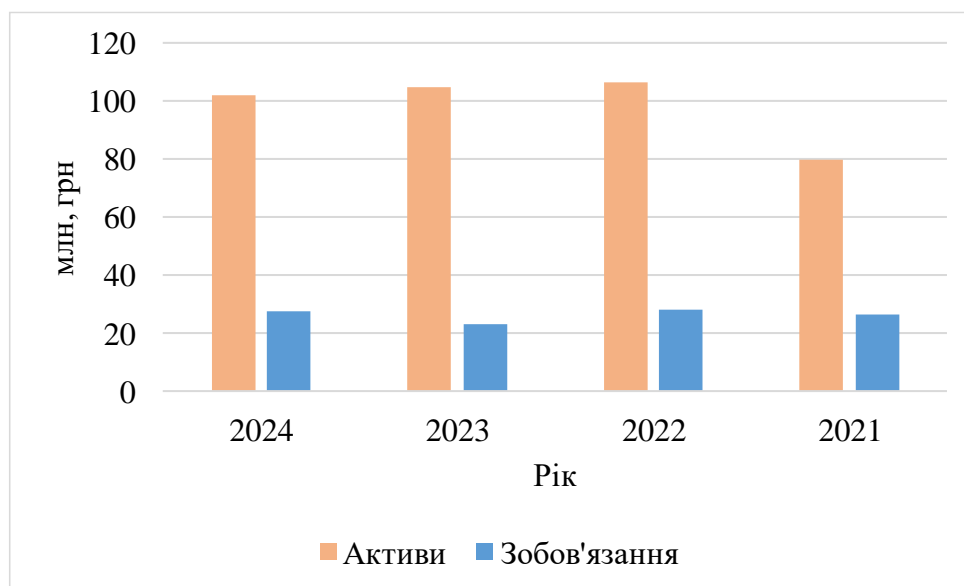


Рис. 1.2. Динаміка активів та зобов'язань за 2021-2024 рр.

Зобов'язання залишаються на помірному рівні без критичних стрибків (рис. 1.2.). У 2024 році вони зросли до 27,7 млн. грн., що, враховуючи зростання доходу й прибутку, не несе ризику для фінансової стійкості підприємства.

Кількість працівників коливається – з 13 у 2021 році до 7 у 2022–2023 рр. і знову зростає до 10 у 2024 році (рис. 1.3). Це свідчить про оптимізацію кадрової політики, автоматизацію виробництва або адаптацію до сезонного навантаження. У поєднанні зі зростанням доходу це також вказує на підвищення продуктивності праці.

Фінансовий стан ТОВ «ПЛАНТ АГРО» у 2024 році є стабільним і таким, що демонструє позитивну динаміку розвитку. Підприємство нарощує дохід і

прибутковість, утримує прийнятний рівень зобов'язань і активно реагує на виклики внутрішнього та зовнішнього середовища.

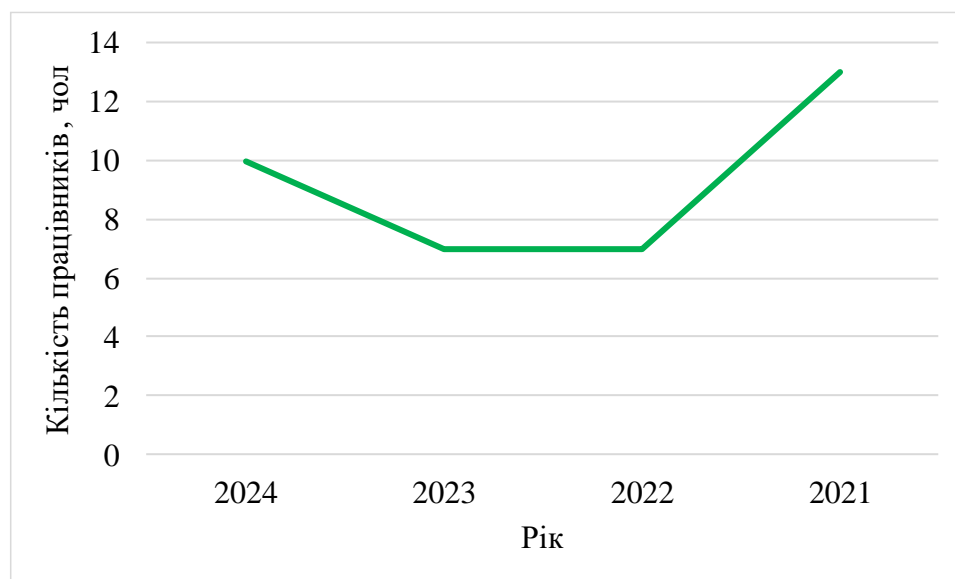


Рис. 1.3. Кількість працівників ТОВ «Плант Агро» у 2021-2024 рр.

Проведений аналіз фінансової звітності підприємства показує, що на сьогодні підприємство має сприятливе підґрунтя для реалізації проєктів модернізації, зокрема – реконструкції системи електропостачання та впровадження ефективної енерготехнічної служби.

1.3. Аналіз існуючої системи електропостачання

На сьогоднішній день система електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «ПЛАНТ АГРО» перебуває у незадовільному технічному стані, що створює серйозні ризики для стабільного функціонування підприємства. Живлення здійснюється від трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ потужністю 63 кВА, яка була введена в експлуатацію ще у 1980-х роках. Обладнання підстанції давно вичерпало свій нормативний ресурс. Використовується застарілий трансформатор типу ТМ-63/10, що має сліди механічного зносу та витоку масла. На стороні низької напруги встановлено застарілі апарати – рубильники РЕ-19 та

запобіжники ПН-2, які не забезпечують ефективного захисту та не відповідають сучасним вимогам електробезпеки.

Повітряні лінії електропередачі виконані з використанням неізолюваних алюмінієвих проводів типу А-50 і А-35. Проводи мають численні пошкодження, місцями – механічні дефекти, оголення та корозійні ураження, що створює безпосередню загрозу аварій. Підвіс проводів порушує нормативні вимоги щодо висоти та відстаней. Опори ліній частково представлені залізобетонними конструкціями типу СК-105, але значна частина – дерев'яні стійки з залізобетонними приставками. Такі опори є застарілими, фізично зношеними та нестійкими до кліматичних навантажень.

На відгалуженнях і розподільчих дільницях використовуються захисні пристрої типу ПН, що не здатні оперативно реагувати на перевантаження або короткі замикання. Відсутня автоматизація процесів управління навантаженням, облік електроенергії здійснюється за допомогою морально застарілих приладів. Система не має можливості гнучкого регулювання навантажень, аварійного резервування або диспетчерського контролю.

Динаміка споживання електроенергії виробничими об'єктами ТОВ «Плант Агро» показана на рис. 1.4.

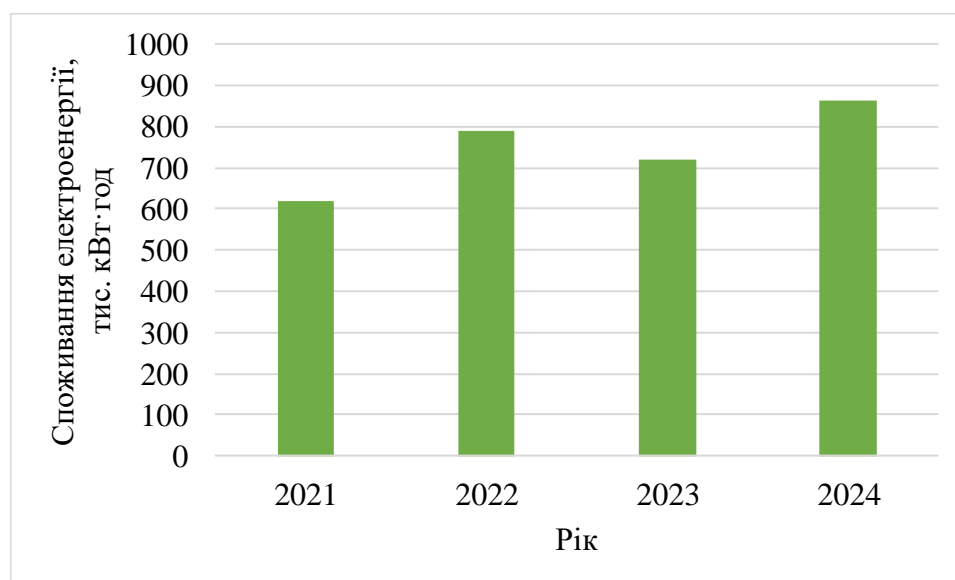


Рис. 1.4. Динаміка споживання електроенергії виробничими об'єктами ТОВ «Плант Агро»

Аналіз даних рис. 1.4. показує поступове зниження питомого споживання електроенергії, що пов'язано з модернізацією окремих технологічних процесів та переходом на енергоощадне обладнання. Водночас, загальне споживання зростає пропорційно до доходів і обсягів виробництва. У 2024 році споживання електроенергії досягло понад 800 тис. кВт·год.

Окрему проблему становить стан енерготехнічної служби підприємства. Її структура є неформалізованою та неефективною: персонал або відсутній, або представлений одним-двома фахівцями без чітких функціональних обов'язків та технічного забезпечення. Відсутні регламентовані графіки обслуговування електрообладнання, не ведеться систематичний моніторинг параметрів електропостачання, а аварійні ситуації ліквідуються лише після факту їх виникнення. Неналежна організація енергетичного обслуговування призводить до додаткових втрат, простоїв обладнання та загального зниження ефективності роботи виробничих підрозділів.

1.4. Висновки та пропозиції

Проведений аналіз стану системи електропостачання виробничих об'єктів ТОВ «ПЛАНТ АГРО» засвідчив її технічну та організаційну неспроможність забезпечувати стабільне, надійне й безпечне енергозабезпечення господарської діяльності підприємства. Основними проблемами є застаріле та зношене обладнання трансформаторної підстанції, аварійний стан повітряних ліній з використанням неізолюваних проводів, ненадійні опори, відсутність сучасних засобів захисту, автоматики й обліку. Додатковим фактором ризику виступає відсутність повноцінної енерготехнічної служби, здатної ефективно обслуговувати електроінфраструктуру.

Наявні недоліки системи призводять до частих відмов, перебоїв в енергопостачанні, зниження продуктивності обладнання, підвищених втрат електроенергії та зростання експлуатаційних витрат. Сучасні вимоги до

енергоефективності, надійності та безпеки вимагають якісно нових підходів до організації енергозабезпечення.

У зв'язку з цим пропонуються наступні заходи:

– комплексна реконструкція системи електропостачання з повною заміною зношених елементів – трансформатора, комутаційної апаратури, силових кабелів і повітряних ліній.

– перерахунок та оновлення проводів повітряних ліній, що значно підвищить електробезпеку, знизить втрати енергії та витрати на обслуговування.

– модернізація опор із встановленням сучасних залізобетонних або композитних конструкцій, які відповідають нормативам за механічною міцністю та строком служби;

– розрахунок та встановлення нової комутаційної апаратури на відхідних повітряних лініях.

– обґрунтування ефективної енерготехнічної служби з чітко визначеною структурою, технічним оснащенням і регламентованими процедурами технічного обслуговування, контролю та аварійного реагування.

Реалізація запропонованих заходів дозволить не лише підвищити технічний рівень енергозабезпечення підприємства, а й створити умови для подальшого розвитку виробничої бази, зниження енерговитрат та запобігання аварійним ситуаціям. Реконструкція системи електропостачання повинна розглядатися як стратегічний крок у підвищенні загальної ефективності діяльності ТОВ «ПЛАНТ АГРО».

2. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

2.1. Визначення електричних навантажень на вводах до споживачів

Параметри електричних навантажень, як у денний, так і у вечірній періоди, для вводів у виробничі будівлі ТОВ «ПЛАНТ АГРО» приймаються на основі інформації, наданої електротехнічною службою. Всі отримані значення заносяться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Електроспоживачі у виробничих підрозділах ТОВ «ПЛАНТ АГРО»

№	Найменування споживача	К-ть	P_D кВт	P_B кВт
1	Зерноочисний сушильний пункт	1	35	3
2	Адміністративна будівля	1	13	13
3	Майстерня для обслуговування с.г. техніки	1	30	10
4	Безбаштова водопостачальна установка	1	1,5	1,5
5	Автопарк на 25 автомашин	1	10	3
6	Пилорама	1	25	2

Схему розташування виробничих об'єктів господарства представлено на аркуші графічної частини роботи.

2.2. Визначення необхідної потужності для зовнішнього освітлення території господарства

Загальна електрична потужність, що забезпечує роботу системи зовнішнього освітлення підприємства, становить:

$$P_{з.о.} = L \cdot P_{0 \text{ вул.}} + N \cdot P_{0 \text{ прим.}} \quad (2.1)$$

де L – сумарна протяжність вуличної мережі в межах населеного пункту, м;

N – загальна кількість виробничих будівель, одиниць;

$P_{0\text{ вул.}}$, $P_{0\text{ прим.}}$ – нормативні значення потужності для зовнішнього освітлення: на кожен метр довжини вулиці та на одне виробниче приміщення відповідно [1;2], кВт.

$$P_{з.о.} = 6 \cdot 0,25 = 1,5 \text{ кВт.}$$

2.3. Обчислення координат центру електричних навантажень

Зазвичай трансформаторну підстанцію розміщують у точці, яка є приблизним центром розподілу електроспоживання в межах обслуговуваної території.

Положення центру навантаження визначається за методикою, описаною у джерелах [3, 4]:

$$x_{ц.н.} = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i}, \quad (2.2)$$

$$y_{ц.н.} = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i} \quad (2.3)$$

де P_i – розрахункова електрична потужність на ввіді до i -того споживача, кВт;

x_i, y_i – координатні відстані до i -го пункту споживання електроенергії.

Координати розташування споживачів визначаються згідно з графічним матеріалом на аркуші графічної частини роботи.

Визначення центра електричних навантажень виконується для того режиму (денного або вечірнього), у якому сумарна потужність досягає більшого значення.

Результати розрахунків подано у вигляді табличної форми – таблиця 2.2.

Таблиця 2.2. – Результати розрахунків центру навантажень

№ з/п	Найменування споживача	P_D , кВт	P_B , кВт	$\cos\varphi_D$	$\cos\varphi_B$	x , см	y , см	$P \cdot x$	$P \cdot y$
1	Зерноочисний сушильний пункт	35	3	0,7	0,75	15	24	525	840
2	Адміністративна будівля	13	13	0,75	0,85	14	6	182	78
3	Майстерня для обслуговування с.г. техніки	30	10	0,65	0,75	36	15	1080	450
4	Безбаштова водопостачальна установка	1,5	1,5	0,8	0,8	17	13	25,5	19,5
5	Автопарк на 25 автомашин	10	3	0,92	0,95	28	22	280	220
6	Пилорама	25	2	0,75	0,78	37	28	925	700
	Разом:	114,5	32,5					3017	2307

Відповідно:

$$x_{ц.н.} = \frac{3017}{114,5} = 26,3 \text{ см};$$

$$y_{ц.н.} = \frac{2307}{114,5} = 20,1 \text{ см}.$$

З огляду на особливості планування території та характер існуючої забудови, доцільним є розміщення комплектної трансформаторної підстанції за такими координатами:

$$x = 26,3 \text{ см}, y = 17,2 \text{ см}.$$

2.3. Визначення навантаження на повітряні лінії електропередачі 0,4 кВ

Для кожної з повітряних ліній напругою 0,4 кВ складається індивідуальна розрахункова схема. На ній зазначаються електроспоживачі, величини навантаження в періоди денного та вечірнього максимуму, а також проводиться нумерація окремих ділянок із вказанням їх довжини. Для живлення виробничих споживачів ТОВ «ПЛАНТ АГРО» приймаємо 3 повітряні лінії від КТП 10/0,4 кВ.

Графічні схеми цих ліній зображуються без урахування масштабу (рис. 2.1 – 2.3).

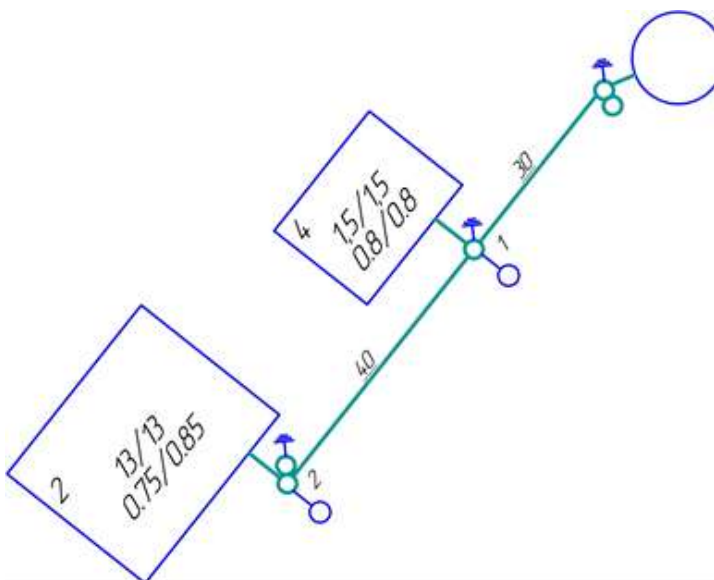


Рис. 2.1. – Розрахункова схема ПЛ №1

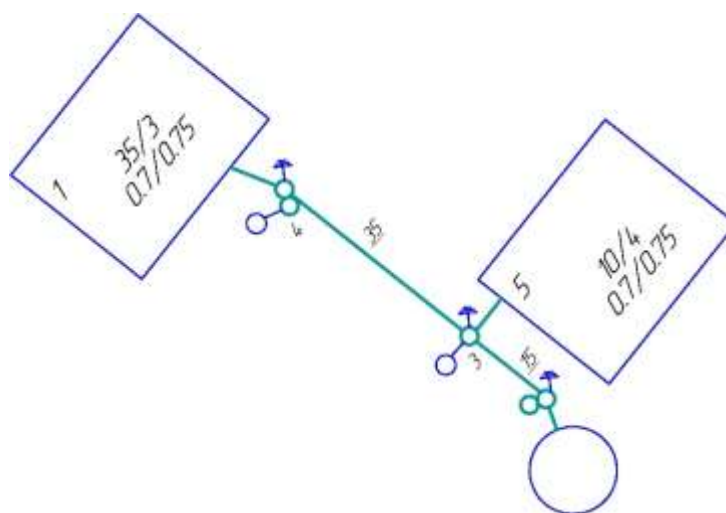


Рис. 2.2. – Розрахункова схема ПЛ №2

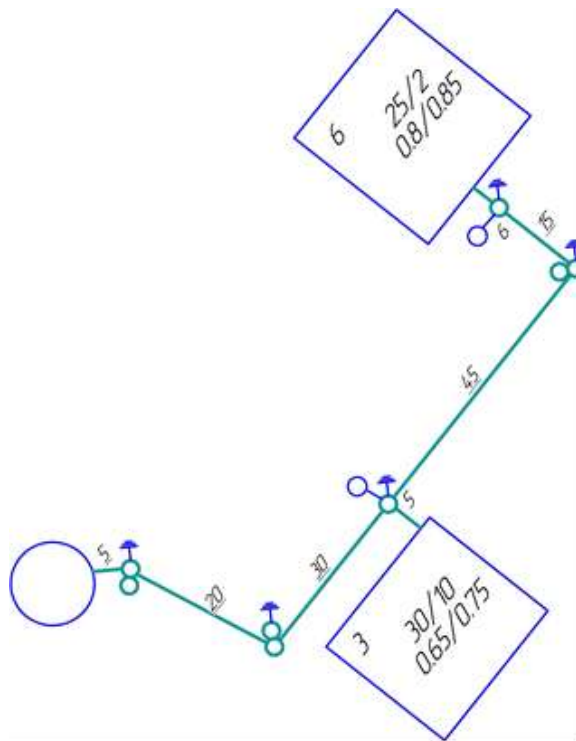


Рис. 2.3. – Розрахункова схема ПЛ №3

Розрахунок навантаження для окремих фрагментів повітряної лінії 0,4 кВ виконується з урахуванням специфіки підключених споживачів. Оскільки споживання електроенергії є неоднорідним і навантаження різного рівня, використовується метод розрахунку за надбавками [1, 2].

$$P_p = P_{\sigma} + \Delta P_m, \quad (2.4)$$

де P_{σ} – більше значення серед двох навантажень на ділянках, кВт;

ΔP_m – додаткове навантаження, що враховує вплив меншого значення, кВт [1].

У разі, коли ділянка лінії охоплює споживачів із різними типами навантаження, середньозважене значення коефіцієнта потужності обчислюють за наступною формулою:

$$\cos \varphi_{\text{св}} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum P_i} \quad (2.5)$$

де P_i – розрахункова потужність i -го споживача, кВт;

$\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності i -го споживача [2].

Повна потужність на окремих ділянках лінії визначається за такими формулами:

$$S_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{\cos \varphi_{\delta}} \quad (2.6)$$

$$S_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{\cos \varphi_{\epsilon}} \quad (2.7)$$

Розглянемо приклад розрахунку навантажень на ПЛ №1. Розрахунок виконуємо, починаючи з кінцевої точки лінії.

Ділянка 2–1:

$$P_{рд} = 13 \text{ кВт}; \cos \varphi_{д} = 0,75;$$

$$S_{рд} = 130,75 = 17,3 \text{ кВА};$$

$$P_{рв} = 13 \text{ кВт}; \cos \varphi_{в} = 0,85;$$

$$S_{рв} = \frac{13}{0,85} = 15,3 \text{ кВА}.$$

Для ділянки 1–ТП:

$$P_{рд} = 13 + 0,9 = 13,9 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi_{д} = \frac{13 \cdot 0,75 + 1,5 \cdot 0,8}{14,5} = 0,76;$$

$$S_{рд} = \frac{13,9}{0,76} = 18,3 \text{ кВА};$$

$$P_{рв} = 13 + 0,9 = 13,9 \text{ кВт};$$

$$\cos \varphi_B = \frac{13 \cdot 0,85 + 1,5 \cdot 0,8}{14,5} = 0,84;$$

$$S_{рв} = \frac{13,9}{0,84} = 16,5 \text{ кВА}.$$

Обчислення навантажень для інших ділянок повітряних ліній 0,4 кВ виконується за такою ж методикою та оформлюється у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення навантажень на повітряних лініях напругою 0,4 кВ

Ділянка лінії	Максимальне навантаження		Мінімальне навантаження		Надбавки		Розрахункове навантаження		Коефіцієнт потужності		Повна розрах. потужність	
	P_D , кВт	P_B , кВт	P_D , кВт	P_B , кВт	ΔP_D , кВт	ΔP_B , кВт	$P_{рД}$, кВт	$P_{рВ}$, кВт	$\cos \varphi_D$	$\cos \varphi_B$	$S_{рВ}$, кВА	$S_{рД}$, кВА
ПЛ 1												
2-1	13	13					13	13	0.75	0.85	17,3	15,3
1-ТП	13	13	1,5	1,5	0,9	0,9	13,9	13,9	0.76	0.84	18,3	16,5
ПЛ-2												
4-3	35	3					35	3	0.7	0.75	50	4
3-ТП	35	4	10	3	6	1,8	41	5,8	0.7	0.75	58,6	7,7
ПЛ-3												
6-5	25	2					25	2	0.8	0.85	31,3	2,4
5-ТП	30	10	25	2	15,7	1,2	35,7	11,2	0.73	0.85	48,9	13,7

2.4. Визначення розрахункової потужності КТП 10/0,4 кВ

Розрахунок необхідної потужності для підстанцій з одним або двома трансформаторами здійснюється методом надбавок. Для цього сумують розрахункові активні потужності на основних ділянках повітряних ліній 0,4 кВ, що виходять від підстанції, окремо для денного та вечірнього періодів. Потужність зовнішнього освітлення населеного пункту додається повністю до вечірнього навантаження [2]:

$$P_{PДтр} = P_{PД\text{ лін.Б}} + \sum \Delta P_{PД\text{ лін.М}}, \quad (2.8)$$

$$P_{PВтр} = P_{PВ\text{ лін.Б}} + \sum \Delta P_{PВ\text{ лін.М}} + P_{з.о.}, \quad (2.9)$$

де $P_{PД\text{ лін.Б}}$, $P_{PВ\text{ лін.Б}}$ – найбільші значення розрахункових денних та вечірніх навантажень повітряних ліній, підключених до підстанції, кВт;

$\sum \Delta P_{PД\text{ лін.М}}$, $\sum \Delta P_{PВ\text{ лін.М}}$ – сумарні значення надбавок, що враховують менші з денних або вечірніх навантажень на лініях, кВт;

$P_{з.о.}$ – потужність, необхідна для зовнішнього освітлення, кВт.

Повна потужність, яку має забезпечувати трансформаторна підстанція (в розрахунку на денний або вечірній максимум), визначається із застосуванням відповідного коефіцієнта потужності згідно з формулою (2.6) або (2.7) [2]:

$$P_{PДтр} = 41 + 23 + 9,5 = 73,5 \text{ кВт};$$

$$P_{PВтр} = 13,9 + 4 + 7,3 + 1,5 = 26,7 \text{ кВт};$$

$$S_{PД} = \frac{73,5}{0,74} = 99,3 \text{ кВА}$$

$$S_{pв} = \frac{26,7}{0,79} = 33,7 \text{ кВА}$$

Як розрахункову потужність трансформаторної підстанції приймаємо ту, яка відповідає більшому навантаженню. У даному випадку – це денне навантаження.

$$S_{p \text{ тр}} = S_{pд} = 99,3 \text{ кВА}$$

2.5. Вибір кількості та номінальної потужності силових трансформаторів для підстанції 10/0,4 кВ

Підбір номінальної потужності трансформаторів для одно- та двотрансформаторних підстанцій здійснюється з урахуванням забезпечення нормального режиму роботи обладнання в межах економічно доцільних навантажень [3]:

$$S_{ек. \min} \leq \frac{S_p}{n} \leq S_{ек. \max} \quad (2.10)$$

де $S_{ек. \min}$, $S_{ек. \max}$ – межі економічного діапазону навантажень для вибраного типу трансформатора, кВА;

S_p – розрахункове повне навантаження на підстанцію, кВА;

n – кількість трансформаторних агрегатів, шт.

У розрахунках приймається трансформатор з номінальною потужністю 63 кВА:

$$86 \text{ кВА} \leq 99,3 \text{ кВА} \leq 125 \text{ кВА}$$

Вибрану номінальну потужність трансформатора необхідно перевірити на

відповідність умовам стабільної роботи в межах допустимих систематичних навантажень.

Щоб забезпечити нормальний експлуатаційний режим трансформаторної підстанції, прийняту потужність трансформатора перевіряють за наступним співвідношенням [5]:

$$\frac{S_P}{n S_H} \leq k_C \quad (2.11)$$

де S_P , S_H – відповідно розрахункове та номінальне значення потужності трансформатора, кВА;

k_C – допустимий коефіцієнт систематичного навантаження [1].

$$k_C = k_{cm} - \alpha (t_n - t_{nm}), \quad (2.12)$$

де k_{cm} – табличне значення допустимого коефіцієнта навантаження при заданій температурі навколишнього середовища [5];

α – температурний градієнт, прийнятий для розрахунків [5], $1/^\circ\text{C}$;

t_n – фактична середньодобова температура повітря, $^\circ\text{C}$;

t_{nm} – табличне середньодобове значення температури повітря, $^\circ\text{C}$ [5].

$$k_C = 1,65 - 0,92 \cdot 10^{-2} \cdot (10,2 - (-10)) = 1,46;$$

$$\frac{99,3}{1 \cdot 63} = 1,57 > 1,4.$$

Оскільки нерівність (2.11) не задовольняється, виникає необхідність підібрати трансформатор із вищою номінальною потужністю (на один ступінь) та повторно здійснити перевірку його відповідності умовам експлуатації.

$$k_c = 1,59 - 0,92 \cdot 10^{-2} \cdot (10,2 - (-10)) = 1,4;$$

$$\frac{99,3}{1 \cdot 100} = 0,99 > 1,4.$$

Оскільки співвідношення, подане у формулі (2.11), виконується, остаточним вибором є трансформатор з номінальною потужністю 100 кВА.

2.6. Розрахунок перерізу проводів ПЛ-0,4 кВ

Підбір перерізів провідників у мережах напругою 0,38 кВ здійснюється за методом економічно доцільних інтервалів з обов'язковою перевіркою на відповідність допустимим втратам напруги [2;3].

Розрахунок проводиться для найзначнішого режиму споживання (денного або вечірнього максимуму) на головних ділянках ліній.

Кожен розмір перерізу має відповідний інтервал навантаження, в якому зведені річні витрати електроенергії досягають мінімуму.

Вибір типу проводу здійснюється з урахуванням еквівалентного навантаження для конкретної кліматичної зони (з урахуванням ожеледиці) та типу застосованих опор.

$$S_{EKB} = k_\delta \cdot S_P, \quad (2.13)$$

де k_δ – коефіцієнт врахування перспективного зростання навантаження, для новозбудованих ліній приймається рівним 0,7 [2];

S_P – потужність, розрахована для конкретної ділянки лінії, кВА.

Втрати напруги на окремих фрагментах електричної мережі визначаються за наступним виразом:

$$\Delta U_{\text{дiл.}} = \Delta U_{\text{нiм.}} \cdot S_P \cdot L_{\text{дiл.}}, \quad (2.14)$$

де $\Delta U_{nut.}$ – питома втрата напруги згідно з нормативними даними [5],
 %/(кВА·км);

$L_{dil.}$ – протяжність відповідної ділянки мережі, км.

На першому етапі здійснюється попередній вибір основного перерізу проводу. Якщо отримане значення не забезпечує дотримання допустимого рівня втрати напруги, проводиться заміна на більший переріз. Збільшення перерізів слід розпочинати з головної ділянки повітряної лінії. Підсумкові дані розрахунків систематизовані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. – Результати вибору проводів для ПЛ 0,4 кВ

Ділянка	S_P , кВА	k_ϕ	$S_{ЕКВ.}$, кВА	$L_{dil.}$, км	$F_{осн.}$, мм ²	Втрати напруги, %	
						$\Delta U_{nut.}$, %/кВА	· км на ділянці
ПЛ 1							
2-1	17,3	0,7	12,1	0,04	АС25	0,82	0,39
1-ТП	18,3	0,7	12,8	0,034	АС25	0,83	0,36
ПЛ 2							
4-3	50	0,7	35	0,035	АС50	0,47	0,58
3-ТП	58,6	0,7	41	0,019	АС50	0,47	0,37
ПЛ 3							
6-5	31,3	0,7	21,9	0,06	АС35	0,59	0,78
5-ТП	48,9	0,7	34,2	0,055	АС50	0,47	0,88

2.7. Перевірка ПЛ-0,4 кВ на стабільність напруги при запуску потужного електропривода

Виконуємо аналіз коливань напруги в мережі 0,38 кВ, які можуть виникати під час пуску великої електродвигунної установки, щоб оцінити вплив пускового струму на якість електропостачання.

Фактичні коливання напруги в мережі під час запуску електродвигуна визначаються за формулою [2]:

$$\Delta U_{\phi} \% = \frac{Z_M}{Z_M + Z_{en}} \cdot 100\% \leq \Delta U_{\text{доп.}} \%, \quad (2.15)$$

де Z_M – повний опір електромережі, Ом;

Z_{en} – повний опір КЗ асинхронного електродвигуна, Ом.

Повний опір мережі розраховується як сума опорів лінії та трансформатора:

$$Z_M = Z_L + Z_m, \quad (2.16)$$

де Z_L – повний опір лінії від трансформатора до двигуна, Ом;

Z_m – повний опір трансформатора, Ом.

Опір лінії визначається за формулою:

$$Z_L = \sum l_i \sqrt{r_{oi}^2 + x_{oi}^2}, \quad (2.17)$$

де r_{oi}, x_{oi} – питомі активний та реактивний опори проводу i -ї ділянки лінії [1], Ом/км;

l_i – довжина i -ї ділянки лінії, км.

$$Z_T = \frac{U_K \% \cdot U_H^2}{100 \cdot S_{HT}}, \quad (2.18)$$

де U_H – номінальна напруга трансформатора на низьковольтній стороні, кВ;

S_{HT} – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_K \%$ – відсоток напруги короткого замикання трансформатора [2], %.

Повний опір КЗ асинхронного двигуна:

$$Z_{en} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot k_i \cdot I_{HД}}, \quad (2.19)$$

де k_i – коефіцієнт кратності пускового струму для двигуна [6];

$I_{HД}$ – номінальний струм двигуна [6], А.

Для прикладу приймаємо, що асинхронний електродвигун моделі АИР180S2У3 (потужність 22 кВт, номінальний струм 42,1 А, коефіцієнт пускового струму $k=7$ [6]) встановлено на об'єкті № 6 (пилорама) (див. рисунок 2.4).



Рис. 2.4. – Розрахункова схема електричної мережі живлення електродвигуна

Тоді:

$$Z_{л} = 0,055 \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,95)^2 + 0,6^2} + 0,06 \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,95)^2 + 0,6^2} = 0,08 \text{ Ом};$$

$$Z_T = \frac{4,5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 100} = 0,00072 \text{ Ом};$$

$$Z_{,м} = 0,08 + 0,00072 = 0,08072 \text{ Ом}.$$

$$Z_{en} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 42,1} = 0,76 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{\phi} \% = \frac{0,08072}{0,08072 + 0,76} \cdot 100 \% = 11,9 \% \leq \Delta U_{доп.} = 20 \%.$$

Умову, наведену у виразі (2.15), виконано.

3. ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ КТП 10/0,4 КВ

3.1. Вибір КТП 10/0,4 кВ

Під час вибору комплектної трансформаторної підстанції для сільськогосподарського підприємства враховуються низка загальних технічних та організаційних факторів. Насамперед це відповідність потужності трансформатора розрахунковому навантаженню підприємства з урахуванням резерву для можливого розширення. Також береться до уваги характер споживання електроенергії – сезонність, наявність потужного електротехнологічного обладнання, специфіка роботи електродвигунів, систем вентиляції та насосних станцій.

Важливим є й тип місцевості та умови навколишнього середовища, де буде експлуатуватись підстанція: рівень запиленості, вологість, температура, наявність захищеного майданчика або його відсутність. Конструктивні особливості та технічне оснащення підстанції повинні відповідати чинним нормам щодо безпеки, надійності, енергоефективності та зручності обслуговування. Окрім того, важливим критерієм є уніфікованість обладнання, що спрощує ремонт і технічну підтримку у сільській місцевості.

З урахуванням наведених вимог, а також фактичного електроспоживання ТОВ «ПЛАНТ АГРО», яке не перевищує 800 тис. кВт·год на рік, обрано комплектну трансформаторну підстанцію кіоскового типу КТП-100/10/0,4 (рис. 3.1). Вона оснащується силовим трансформатором потужністю 100 кВА, що дозволяє забезпечити стабільне електропостачання існуючих об'єктів і резерв на перспективу.

Такий тип підстанції є компактним, захищеним, простим у встановленні та обслуговуванні, а також повністю відповідає вимогам до експлуатації в умовах сільського господарства.

Технічні параметри КТП 10/0,4 кВ показані в таблиці 3.1.



Рис. 3.1. Кіоскова КТП-100/10/0,4

Таблиця 3.1. – Основні технічні характеристики КТП-100/10/0,4

Параметр	Значення
Тип підстанції	Кіоскова КТП-100/10/0,4
Номінальна потужність трансформатора	100 кВА
Номінальна напруга ВН	10 кВ
Номінальна напруга НН	0,4 кВ
Тип трансформатора	ТМГ (маслонаповнений, герметичний)
Схема та група з'єднання обмоток	Y/Δ-11
Ступінь захисту оболонки	IP44 (зовнішнє виконання)
Кліматичне виконання	У1 або УХЛ1 (для помірного клімату)
Тип високовольтного вводу	Кабельний або повітряний
Комутаційна апаратура ВН	Вимикач навантаження, роз'єднувач, ПР-10

Захист на стороні ВН	Плавкі запобіжники типу ПКТ або ПТ
Комутаційна апаратура НН	Автоматичні вимикачі
Наявність обліку електроенергії	Передбачено (комерційний та технічний облік)
Система заземлення	Передбачено (контур заземлення)
Умови монтажу	Зовнішній, на підготовленому майданчику
Габаритні розміри (орієнтовно)	2200×1800×2200 мм
Маса підстанції	~2000–2500 кг (в залежності від комплектації)

3.2. Складання схеми первинних з'єднань КТП 10/0,4 кВ

Під час складання схеми первинних з'єднань комплектної трансформаторної підстанції (КТП) необхідно керуватись вимогами чинних нормативних документів, зокрема ПУЕ та ДСТУ. Схема має забезпечувати надійне та безпечне живлення електроприймачів відповідної категорії, враховуючи характер навантаження, режим роботи, а також можливість захисту та оперативного обслуговування обладнання.

Для ТОВ «ПЛАНТ АГРО», електроспоживачі якого належать до третьої категорії надійності, допускається застосування одностороннього живлення без резервного вводу. Це означає, що у разі короткочасного припинення електропостачання з основного джерела не передбачене автоматичне переключення на резерв, що є допустимим для підприємств із незначними технологічними втратами при знеструмленні.

Схема первинних з'єднань КТП включає високовольтний ввід напругою 10 кВ, що надходить до розподільчого пристрою високої напруги, де розміщуються елементи захисту – зазвичай це запобіжники з відключаючим пристроєм або вимикачі навантаження. Далі електроенергія надходить до силового трансформатора типу ТМГ, який понижує напругу до 0,4 кВ. На стороні низької

напруги розміщується розподільчий пристрій, що містить автоматичні вимикачі або пакетні вимикачі для захисту відходящих ліній, які живлять технологічне обладнання, освітлення, допоміжні об'єкти та офісно-побутові приміщення.

Обов'язковим елементом схеми є система заземлення, яка виконує функцію захисту людей і обладнання від ураження струмом та перенапруг. Вся схема має бути виконана з дотриманням електричної селективності захисту, а також передбачати можливість безпечного відключення окремих ділянок без припинення живлення інших споживачів. Особлива увага приділяється забезпеченню зручного доступу до всіх елементів схеми для огляду, технічного обслуговування й аварійного ремонту. Таким чином, схема первинних з'єднань КТП для споживачів третьої категорії повинна поєднувати простоту, ефективність і відповідність мінімальним вимогам безпеки та надійності.

Принципова електрична схема первинних з'єднань КТП-100/10/0,4 показана в графічній частині роботи.

3.3. Розрахунок струмів короткого замикання в системі електропостачання

Розрахунок струмів короткого замикання у електричних мережах проводиться з метою вибору апаратури та перевірки її здатності витримувати теплові й електродинамічні навантаження, а також для розробки систем релейного захисту і оцінки їх чутливості.

У розподільній мережі напругою 0,38 кВ потрібно обчислити струм трифазного короткого замикання на збірних шинах трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ, а також визначити значення струму однофазного к.з. у кінцевих точках кожної з ліній 0,38 кВ [2].

Крім того, для виконання цих розрахунків слід побудувати структурну схему мережі (див. рис. 3.2) та скласти відповідні схеми заміщення (рис. 3.3).

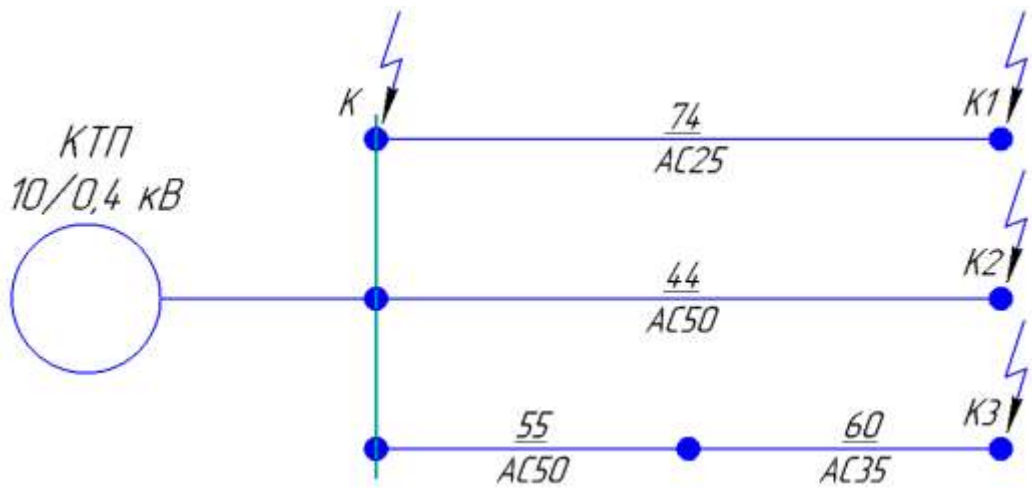


Рис. 3.2. Розрахункова схема мережі електропостачання ТОВ «ПЛАНТ АГРО»

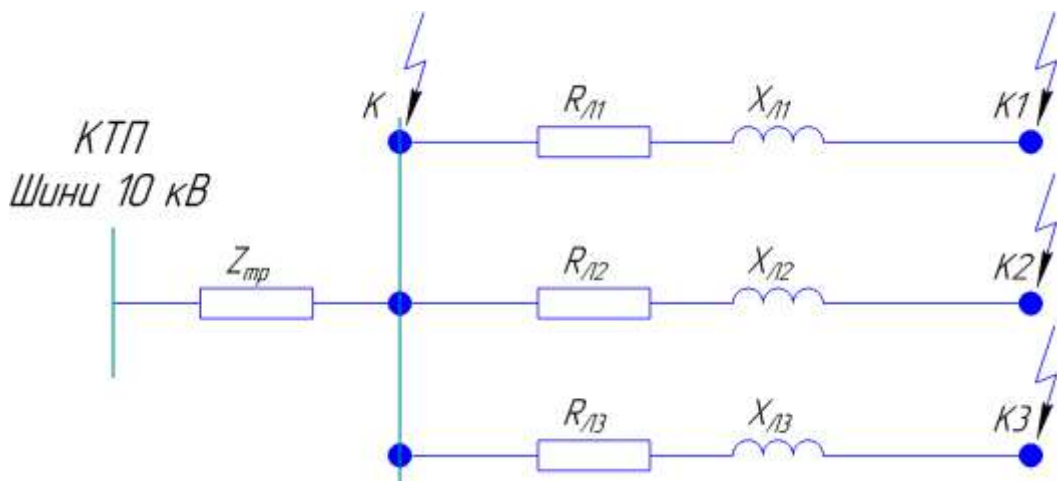


Рис. 3.3. Схема заміщення мережі електропостачання ТОВ «ПЛАНТ АГРО»

Розрахунок трифазного струму короткого замикання на шинах низької напруги (0,4 кВ) трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ здійснюється за формулою:

$$I_K^{(3)} = \frac{100 \cdot S_{\text{нм}}}{U_K \% \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} \quad (3.1)$$

$$I_K^{(3)} = \frac{100 \cdot 100}{4,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 3211 \text{ A} = 3,2 \text{ кА.}$$

Однофазний струм короткого замикання розраховується в найвіддаленішій точці кожної повітряної або кабельної лінії з напругою 0,38 кВ за наступним виразом:

$$I_K^{(1)} = \frac{230}{\frac{Z_m}{3} + Z_n}, \quad (3.2)$$

де Z_m – сумарний опір трансформатора при замиканні на корпус [2], Ом;

Z_n – повний опір петлі, що включає фазний та нульовий провідники до місця короткого замикання, Ом.

$$Z_n = \sum l_i \cdot \sqrt{(r_{ofi} + r_{oni})^2 + x_{fn}^2}, \quad (3.3)$$

де r_{ofi}, r_{oni} – питомі активні опори фазного та нульового провідників відповідно для i -ої ділянки, Ом/км;

x_{fn} – питомий індуктивний опір петлі «фаза – нуль», який для мідних і алюмінієвих проводів зазвичай приймається рівним 0,6 Ом/км [2; 10].

Тоді:

$$Z_{nK1} = 74 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 1,33)^2 + 0,6^2} = 0,22 \text{ кОм};$$

$$Z_{nK2} = 44 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,67)^2 + 0,6^2} = 0,08 \text{ кОм};$$

$$Z_{nK3} = 55 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,67)^2 + 0,6^2} + 60 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,95)^2 + 0,6^2} = 0,23 \text{ кОм};$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{230}{\frac{1,07}{3} + 0,22} = 401,7 \text{ А};$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{230}{\frac{1,07}{3} + 0,08} = 527,7 \text{ A};$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{230}{\frac{1,07}{3} + 0,23} = 389,5 \text{ A}.$$

3.4. Визначення робочих струмів відхідних ліній 0,4 кВ

Як зазначено в [1], підбір електротехнічних пристроїв здійснюється відповідно до умов встановлення, номінальних параметрів струму та напруги, а також інших технічних характеристик.

Обрані пристрої підлягають перевірці на витривалість до теплових і електродинамічних навантажень. Крім того, захисні апарати проходять оцінку за критеріями чутливості та вибірковості спрацювання [1; 2].

Визначення максимально можливих струмів у нормальному (тривалому) режимі для ключових точок мережі проводиться за такою залежністю:

$$I_{роб.макс.} = \frac{S_{РОЗ}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (3.4)$$

де $S_{РОЗ}$ – максимальне значення розрахункової потужності для конкретної ділянки, кВт.

Для високовольтної сторони проектованої трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ:

$$I_{роб.макс.} = \frac{99,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,73 \text{ A}.$$

Розрахунок робочих струмів мережі 0,4 кВ для КТП 10/0,4 кВ:

$$I_{роб.макс.ПЛ1} = \frac{18,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 27,8 \text{ A};$$

$$I_{роб.макс.ПЛ2} = \frac{58,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 89,1 \text{ A};$$

$$I_{роб.макс.ПЛ3} = \frac{48,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 74,4 \text{ A};$$

$$I_{роб.макс.вводу} = 0,8 \cdot (27,8 + 89,1 + 74,4) = 283,8 \text{ A}.$$

3.5. Вбір та перевірка захисних апаратів відхідних ліній 0,4 кВ

Зазвичай на відгалужувальних лініях напругою 0,38 кВ встановлюють автоматичні вимикачі, а на вводі мережі 0,38 кВ – рубильник або автоматичний вимикач (див. рис. 3.3).

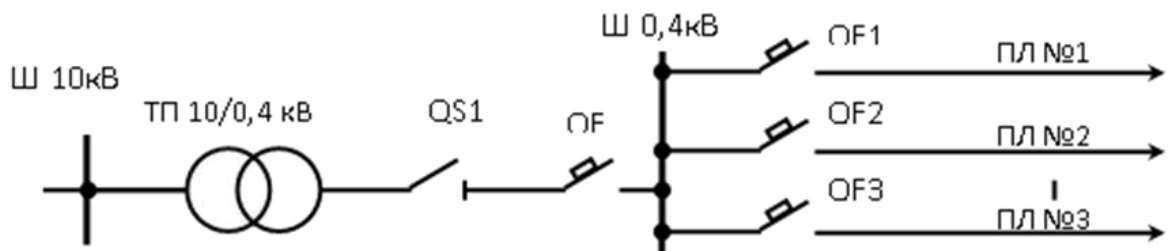


Рис. 3.3. Розрахункова схема однолінійна мережі ТОВ «ПЛАНТ АГРО»

Чутливість захисних пристроїв має відповідати вимогам, наведеним у [2]:

– для автоматичних вимикачів, оснащених електромагнітним розчіплювачем, діють наступні співвідношення:

$$\frac{I_K^{(1)}}{I_{ВДС}} \geq (1,25 \dots 1,4), \quad (3.5)$$

де $I_{ВДС}$ – струм відсічки вимикача, А.

– для апаратів з тепловими розчіплювачами:

$$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{H.P.}} \geq 3, \quad (3.6)$$

де $I_{H.P.}$ – номінальні струми теплового розчіплювача, А.

Підбір електротехнічних пристроїв виконано у вигляді таблиці (табл. 3.2.).

Таблиця 3.2. – Підбір та перевірка електричних апаратів 0,38 кВ для КТП 10/0,4 кВ.

Місце установки	Тип апарату	Параметри АВ								Висновок
		$I_{роб.макс.}$, А	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$I_{\kappa}^{(1)}$, А	$I_{H.A.}$, А	$I_{H.P.}$, А	$I_{ВДС.}$, А	$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{відс}}$	$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{H.P.}}$	
Ввід (QF)	ВА57-39	153,1	3,20	-	400	400	4000	-	-	проходить
ПЛ-1 (QF1)	ВА57-35	27,8		401,7	31,5	31,5	320	1,26	12,8	проходить
ПЛ-2 (QF2)	ВА57-35	89,1		527,7	100	100	630	0,84	5,3	проходить
ПЛ-3 (QF3)	ВА57-35	74,4		389,5	80	80	800	0,49	4,9	проходить

4. ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЕНЕРГОТЕХНІЧНОЇ СЛУЖБИ ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Особливості організації оптимальної енерготехнічної служби

Організація оптимальної енерготехнічної служби підприємства є важливим елементом забезпечення стабільного, безпечного та економічно ефективного електропостачання виробничих об'єктів. Вона передбачає створення структурного підрозділу або виділення відповідальної групи фахівців, які здійснюють постійний контроль, аналіз і управління енергоспоживанням на підприємстві. Основним завданням такої служби є не лише підтримка працездатності електрообладнання, але й впровадження заходів з енергоефективності, зниження втрат енергії, а також оптимізація режимів роботи споживачів.

Енерготехнічна служба повинна володіти необхідним кадровим потенціалом, включаючи інженерів з енергетики, електриків та фахівців з обліку і контролю енергоспоживання. Важливо, щоб персонал регулярно проходив навчання і підвищення кваліфікації, був ознайомлений з сучасними нормативами, технологіями та методами діагностики електрообладнання. Організація роботи передбачає розробку чітких інструкцій і регламентів з експлуатації та ремонту систем електропостачання, ведення технічної документації і оперативного звітування.

Впровадження автоматизованих систем моніторингу та обліку енергоресурсів дозволяє оперативно виявляти аварійні ситуації, нераціональні витрати енергії і своєчасно реагувати на них. Крім того, оптимальна енерготехнічна служба має забезпечувати координацію з іншими підрозділами підприємства, що відповідають за технологічні процеси, безпеку та ремонтні роботи, що сприяє підвищенню загальної ефективності виробництва.

Таким чином, організація оптимальної енерготехнічної служби вимагає комплексного підходу, що поєднує кваліфікований персонал, сучасні технічні

засоби та ефективні управлінські рішення для забезпечення надійного, безпечного і економічного електропостачання підприємства.

4.2. Визначення річного об'єму робіт енерготехнічної служби

Обсяг завдань енергетичної технічної служби (ЕТС) визначається шляхом переведення фактичної кількості одиниць енерготехнічного обладнання у умовні одиниці з використанням нормативних коефіцієнтів.

Умовні одиниці враховують трудові витрати, пов'язані з плановим технічним обслуговуванням, поточними ремонтами, оперативним сервісом, а також час, витрачений на підготовку робочих місць і необхідні переміщення до них.

Розрахунок обсягу робіт здійснюється за формулою:

$$Q_{VOE} = k_i \cdot n_i \cdot k_{роб}, \quad (4.1)$$

де k_i – нормативний коефіцієнт, що переводить обладнання i -го типу в умовні одиниці;

n_i – кількість одиниць цього типу обладнання;

$k_{роб}$ – коефіцієнт, який враховує тривалість роботи обладнання на добу: $k_{роб} = 1$, якщо обладнання працює від 6 до 10 годин на добу; $k_{роб} = 0,85$, якщо час роботи менший за 6 годин на добу; $k_{роб} = 1,2$, якщо обладнання експлуатується понад 10 годин на добу.

Обсяг робіт розраховують окремо для кожного виду обладнання. Зокрема, для електричних ліній напругою до 1 кВ:

$$Q_{VOE1} = 0,233 \cdot 3,93 \cdot 1,2 = 1,1 \text{ УОЕ.}$$

Аналогічним чином виконується обчислення для інших видів обладнання.

Отримані результати оформлено у Додатку А.

Загальна кількість умовних одиниць енергообладнання згідно Додатку А становить:

$$Q_{\text{УОЕ}\Sigma} = 719,4 \text{ УОЕ.}$$

4.3. Визначення річного об'єму робіт по видам енергообладнання

У ЕТС господарства є два відділення:

- відділення технічного обслуговування та ремонту силового та освітлювального електрообладнання;

- відділення технічного обслуговування та ремонту засобів автоматизації.

Річний обсяг робіт по відділах обчислюється за виразом:

$$Q_{\text{УОЕ}_y} = Q_{\text{УОЕ}\Sigma} \cdot n_y, \quad (4.2)$$

де n_y – частка річного обсягу робіт для у-го об'єкта підприємства, у відсотках.

Тоді розподілення річного обсягу робіт по відділах складе:

$$Q_{\text{УОЕ1}} = \frac{719,4 \cdot 70}{100} = 503,6 \text{ УОЕ;}$$

$$Q_{\text{УОЕ2}} = \frac{719,4 \cdot 30}{100} = 215,8 \text{ УОЕ.}$$

4.4. Визначення річних витрат праці

Загальні річні трудові витрати визначаються за формулою:

$$Z_{p\Sigma} = Q_{VOE\Sigma} \cdot b, \quad (4.3)$$

де – трудові витрати на обслуговування обладнання в обсязі однієї умовної одиниці (УОЕ) становлять $b = 18,6$ люд·год.

$$Z_{p\Sigma} = 719,418,6 = 13380 \text{ люд}\cdot\text{год}.$$

Відповідно по відділах річні витрати праці:

$$Z_{p1} = 503,618,6 = 9366,9 \text{ люд}\cdot\text{год}.$$

$$Z_{p2} = 215,818,6 = 4013,9 \text{ люд}\cdot\text{год}.$$

Річні трудові витрати за окремими видами обслуговування розраховують за формулою:

$$Z_{pk} = \frac{Z_{p\Sigma} \cdot n_k}{100}, \quad (4.4)$$

де Z_{pk} – загальні витрати праці на конкретний вид обслуговування, люд·год;

n_k – частка трудовитрат, що припадає на відповідний вид обслуговування, у відсотках (на технічне обслуговування – 38%, на поточний ремонт – 46%, на чергове обслуговування – 16%).

$$Z_{pTO} = \frac{13380 \cdot 38}{100} = 5084,4 \text{ люд}\cdot\text{год};$$

$$Z_{p\text{ ПР}} = \frac{13380 \cdot 46}{100} = 6154,8 \text{ люд} \cdot \text{год};$$

$$Z_{p\text{ Ч}} = \frac{13380 \cdot 16}{100} = 2140,8 \text{ люд} \cdot \text{год}.$$

4.5. Розрахунок річних витрат праці на обслуговування по видам обслуговування

Періодичність виконання різних видів обслуговування регламентується нормативами [1; 3] з урахуванням особливостей приміщень, умов експлуатації та типу обладнання. Отримані дані вносять до Додатку А.

Відповідно, річну кількість поточних ремонтів для обладнання і-го типу розраховують за формулою:

$$q_{\text{ПР}_i} = \frac{12}{t_{\text{ПР}}}, \quad (4.5)$$

де $t_{\text{ПР}}$ – періодичність проведення поточного ремонту обладнання і-го типу, місяців;

12 – кількість місяців у календарному році.

Обчислюємо річну кількість поточних ремонтів для повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ за формулою:

$$q_{\text{ПР}_1} = \frac{12}{12} = 1 \text{ шт.}$$

Подібним чином виконуємо обчислення для інших видів обладнання. Отримані дані вносять до Додатку А.

Річну кількість технічних обслуговувань для обладнання і-го типу визначаємо за формулою:

$$q_{TO_i} = \frac{12}{t_{TO_i}} - q_{PP_i}, \quad (4.6)$$

де t_{TO_i} – періодичність проведення технічного обслуговування обладнання і-го типу, у місяцях.

Обчислюємо річну кількість технічних обслуговувань для повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ за формулою:

$$q_{TO1} = \frac{12}{1} - 1 = 11 \text{ шт.}$$

Подібним чином здійснюємо обчислення для інших видів обладнання. Отримані результати вносяться до Додатку А.

Річну кількість поточних ремонтів і технічних обслуговувань для обладнання і-го типу визначають за формулою:

$$q_{PP} = q_{PP_i} \cdot n_i; \quad (4.7)$$

$$q_{PTO} = q_{PTO_i} \cdot n_i. \quad (4.8)$$

Визначаємо річну кількість поточних ремонтів і технічних обслуговувань для повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ за формулою:

$$q_{PP1} = 1 \cdot 0,233 = 0,233 \text{ шт.};$$

$$q_{PTO} = 11 \cdot 0,233 = 2,56 \text{ шт.}$$

Подібним чином здійснюємо розрахунки для інших видів обладнання. Отримані результати заносять до Додатку А.

Річну трудомісткість робіт обчислюють за формулою:

$$T_{pTOi} = T_{TOi} \cdot q_{TOi}; \quad (4.8)$$

$$T_{pPPi} = T_{PPi} \cdot q_{PPi}. \quad (4.9)$$

де T_{TOi} – разова трудомісткість технічного обслуговування обладнання і-го типу;

T_{PPi} – разова трудомісткість поточного ремонту обладнання і-го типу;

q_{TOi} – річна кількість технічних обслуговувань для обладнання і-го типу;

q_{PPi} – річна кількість поточних ремонтів для обладнання і-го типу.

Значення разової трудомісткості технічного обслуговування та поточних ремонтів заносять до Додатку А.

Обчислюємо річну трудомісткість технічних обслуговувань і поточних ремонтів для повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ за формулою:

$$T_{pTOi} = 2,56 \cdot 0,1 = 0,256 \text{ люд} \cdot \text{год};$$

$$T_{pPPi} = 0,233 \cdot 1,5 = 0,35 \text{ люд} \cdot \text{год}.$$

Подібним чином виконуємо обчислення для інших видів обладнання. Отримані результати наведено в Додатку А.

Загальні річні трудові витрати по всьому обладнанню визначають за формулою:

$$T_{pTO\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_{pTOi}; \quad (4.10)$$

$$T_{p\Pi P\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_{p\Pi P_i}. \quad (4.11)$$

Величини $T_{pTO\Sigma}$, $T_{p\Pi P\Sigma}$ дорівнюють сумі даних із граф 19 та 20 таблиці Додатку А відповідно.

4.6. Визначення чисельності обслуговуючого персоналу

Кількість електротехнічного персоналу розраховують за формулою:

$$N_i = \frac{\sum_{i=1}^n Z_{pi}}{\Phi}, \quad (4.12)$$

де $\sum_{i=1}^n Z_{pi}$ – сумарні річні трудові витрати на обслуговування за і-м видом робіт або обслуговування, люд·год;

Φ – річний фонд робочого часу у годинах.

Річний фонд робочого часу розраховується за формулою:

$$\Phi = (d_k + d_{ex} + d_c + d_e) \cdot t \cdot \eta - \Delta t \cdot d_{nc}, \quad (4.13)$$

де $d_k, d_{ex}, d_c, d_e, d_{nc}$ – відповідно кількість календарних, вихідних, святкових, відпускових та передсвяткових днів за календарем, днів;

t – тривалість однієї робочої зміни, година, приймається рівною 6,8 год;

η – скорочення тривалості робочої зміни у передсвяткові дні, година, дорівнює 1 год;

Δt – коефіцієнт ефективного використання робочого часу, що коливається в межах 0,93–0,96.

$$\Phi = (365 - 52 - 12 - 12) \cdot 6,8 - 0,95 - 110 = 1856 \text{ год.}$$

Тоді загальна кількість електромонтерів складе:

$$N_{ET} = \frac{13380}{1856} = 7,2 \text{ чол.}$$

Приймаємо 7 електромонтерів.

Кількість електромонтерів по відділам складе:

$$N_{ET1} = \frac{9366,9}{1856} = 5 \text{ чол.};$$

$$N_{ET2} = \frac{4013,9}{1856} = 2 \text{ чол.}$$

Розраховуємо чисельність електромонтерів за різними видами обслуговування:

$$N_{ET} = \frac{Z_{pi}}{\Phi}, \quad (4.14)$$

де Z_{pi} – річний обсяг трудових витрат за к-им видом обслуговування, вимірюється в люд·годинах.

$$N_{ET} = \frac{Z_{pi}}{\Phi}, \quad (4.14)$$

$$N_{ET\ TO} = \frac{2876,98}{1856} = 2,55 \text{ чол, приймаємо 3 чол.}$$

$$N_{ET\ ПР} = \frac{2442,03}{1856} = 1,52 \text{ чол, приймаємо 2 чол.}$$

Чисельність монтерів у черговій зміні розраховується за формулою:

$$N_{ET\ Ч} = \frac{(Z_{ТО} + Z_{ПР}) \cdot K}{\Phi}, \quad (4.15)$$

де K – коефіцієнт, що відображає часткову частку трудових витрат на чергове обслуговування в загальних планових витратах праці на технічне обслуговування та поточний ремонт, становить $K = 0,25$.

$$N_{ET\ Ч} = \frac{(2876,98 + 2442,03) \cdot 0,15}{1856} = 0,43 \text{ чол, приймаємо 1 чол.}$$

Визначасмо кількість робітників по обслуговуванню КВП та А:

$$N_{ET\ КВП\ і\ А} = \frac{Q_{УОЕi}}{n_i}, \quad (4.16)$$

де n_i – річний обсяг робіт з обслуговування обладнання КВП і А, що припадає на одного працівника, вимірюється в умовних одиницях обладнання (УОЕ), $n_i = 27 \text{ УОЕ}$.

$$N_{ET\ КВП\ і\ А} = \frac{19,84}{27} = 0,73 \text{ чол, приймаємо 1 чол.}$$

4.7. Обґрунтування складу і кількості інженерно-технічного персоналу енерготехнічної служби

Обґрунтування складу і кількості інженерно-технічного персоналу енерготехнічної служби базується на аналізі масштабів виробництва, складності та технічного рівня систем електропостачання, а також специфіки експлуатації електрообладнання на підприємстві. Для ефективного забезпечення безперебійної роботи електричних мереж, своєчасного обслуговування, ремонту

і модернізації електротехнічних систем необхідно сформувати команду, яка поєднуватиме фахові знання, досвід і практичні навички.

Визначення кількості працівників залежить від кількості виробничих ділянок, обсягу обладнання, що знаходиться на балансі, а також від режиму роботи підприємства. Так, для середнього за розміром агропромислового підприємства, подібного до ТОВ «ПЛАНТ АГРО», достатньо мати в складі енерготехнічної служби спеціаліста, відповідального за планування, аналіз енергоспоживання і організацію ремонтних робіт, а також двох-трьох електромонтерів з відповідною кваліфікацією, які виконуватимуть технічне обслуговування та аварійні ремонти.

При формуванні штату також враховується можливість залучення зовнішніх підрядників для виконання специфічних видів робіт, що дозволяє оптимізувати витрати на утримання постійного персоналу. Враховуючи ці фактори, підбір інженерно-технічного персоналу має забезпечити баланс між професіоналізмом, ефективністю і економічною доцільністю, що є ключовим для стабільної роботи системи електропостачання на підприємстві.

Оскільки сумарний річний обсяг робіт з обслуговування енергетичного обладнання становить 719,4 УОЕ, а споживання електроенергії на виробничі цілі підприємства – 815 тисяч кВт·год, посадою керівника ЕТС призначається старший інженер-енергетик.

Обслуговування контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації буде виконуватися одним фахівцем відповідно до обсягу річних робіт.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація роботи з охорони праці в ТОВ «ПЛАНТ АГРО».

Організація роботи з охорони праці в ТОВ «ПЛАНТ АГРО» здійснюється системно та відповідно до чинного законодавства. Планування заходів з охорони праці включено до щорічного виробничого плану підприємства, що дозволяє чітко визначати пріоритети та терміни виконання. Фінансування заходів з охорони праці відбувається за окремою статтею бюджету, що гарантує своєчасне забезпечення необхідними ресурсами, включаючи закупівлю спецодягу, засобів індивідуального захисту та проведення навчальних програм.

У колективному договорі ТОВ «ПЛАНТ АГРО» розділ «Охорона праці» містить конкретні зобов'язання щодо створення безпечних умов праці, організації навчання працівників і контролю за дотриманням норм безпеки. Навчання персоналу з охорони праці проводиться регулярно згідно з затвердженими програмами, що охоплюють як вступний інструктаж, так і періодичні перевірки знань. У підприємстві ведеться відповідна документація – журнали реєстрації інструктажів і протоколи атестації, що підтверджують системний контроль за рівнем знань працівників з питань безпеки.

Забезпечення спецодягом і засобами індивідуального захисту відбувається згідно з нормами, що відповідають специфіці виконуваних робіт, а санітарно-побутове забезпечення підтримується на високому рівні, що позитивно впливає на здоров'я і комфорт працівників. Відповідальність за дотримання вимог охорони праці на підприємстві закріплена за конкретними посадовими особами, серед яких керівник підприємства, головний інженер, інженер з охорони праці, а також керівники структурних підрозділів. Всі вони несуть персональну відповідальність за стан охорони праці на своїх ділянках.

За останні роки у ТОВ «ПЛАНТ АГРО» не зафіксовано жодного нещасного випадку, що свідчить про ефективність системи управління охороною праці та належне виконання всіх заходів, спрямованих на безпеку працівників.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при виконанні робіт з монтажу системи електропостачання. При виконанні робіт з монтажу системи електропостачання існує низка потенційних небезпек, що можуть становити серйозну загрозу для здоров'я і життя працівників, а також для цілісності обладнання та об'єкта в цілому. Однією з найголовніших небезпек є ураження електричним струмом. Це може статися через контакт з оголеними провідниками, пошкодженою або зношеною ізоляцією, а також при роботі з обладнанням, що знаходиться під напругою, без належного відключення або блокування джерел живлення. Навіть короточасне доторкання до струмопровідних частин може призвести до тяжких опіків, судом, зупинки серця або смертельного результату.

Крім прямого впливу електричного струму, існує ризик виникнення електричної дуги, яка може спричинити сильні опіки, пожежу або вибух, особливо якщо роботи виконуються у приміщеннях з наявністю горючих або вибухонебезпечних речовин. Неправильне виконання монтажу або порушення технологічних норм збільшує ризик коротких замикань, що також може призводити до займання електрообладнання або навколишніх конструкцій.

Роботи з монтажу систем електропостачання часто проводяться на висоті, що пов'язано з додатковою небезпекою падіння з драбин, лісів, дахів або металоконструкцій. Несприятливі погодні умови, такі як дощ, сніг, сильний вітер, мороз або слизькі поверхні, можуть значно погіршувати умови праці, підвищуючи ризик втрати рівноваги і травмування. Недостатнє або неправильне використання засобів індивідуального захисту, таких як страхувальні пояси, каски, рукавиці і спецвзуття, збільшує ймовірність отримання травм при падінні або ударі.

Також потенційною небезпекою є механічні травми, які можуть виникати в процесі роботи з інструментом і монтажними матеріалами — порізи, забої, удари важкими предметами, розтягнення м'язів або переломи. Неякісне кріплення кабелів і обладнання може спричинити обвал частин конструкції або падіння елементів, що створює загрозу для працівників і навколишніх об'єктів.

Погане освітлення робочих місць, а також відсутність чітких знаків безпеки і попереджень можуть призводити до неуважності та нещасних випадків.

Організаційні фактори також впливають на рівень небезпеки: недостатній рівень навчання і підготовки працівників, відсутність або порушення інструкцій з охорони праці, ігнорування правил техніки безпеки значно підвищують ризик аварійних ситуацій. Необхідним є регулярне проведення інструктажів, атестації працівників, а також контроль за дотриманням правил безпечного виконання робіт.

Заходи щодо запровадження здорових та безпечних умов праці. Запровадження здорових та безпечних умов праці вимагає системного підходу, який охоплює як технічні, так і організаційні заходи. По-перше, необхідно забезпечити своєчасне і повне проведення оцінки ризиків на робочих місцях для виявлення потенційних небезпек і розробки заходів з їх усунення або мінімізації. Важливо впровадити сучасне обладнання та засоби захисту, які відповідають чинним стандартам безпеки, зокрема системи автоматичного вимкнення живлення, заземлення та захисту від перенапруг.

Організація робочих місць має враховувати ергономічні вимоги, щоб зменшити фізичне навантаження на працівників і запобігти професійним захворюванням. Не менш важливо забезпечити належне освітлення, вентиляцію та мікроклімат приміщень, що сприяє підтримці здоров'я та працездатності.

Систематичне проведення навчання і інструктажів з охорони праці є ключовим заходом для формування у працівників свідомого ставлення до безпеки. Навчальні програми мають охоплювати як вступний інструктаж, так і періодичні перевірки знань, а також навчання при зміні обладнання чи технологій. Ведення чіткої документації, зокрема журналів інструктажів і протоколів атестації, дозволяє контролювати рівень підготовки персоналу.

Впровадження ефективної системи контролю за дотриманням норм безпеки та використанням засобів індивідуального захисту забезпечує дисципліну і знижує ризик травматизму. Спецодяг, рукавички, каски, захисні

окуляри та інші засоби мають бути не лише доступні, а й відповідати специфіці роботи, регулярно оновлюватись і підтримуватись у справному стані.

Важливим елементом є стимулювання працівників до відповідального ставлення через систему мотивації, наприклад, винагороди за безпечну поведінку та активну участь у заходах з охорони праці. Також доцільно впроваджувати механізми для своєчасного виявлення та усунення порушень, у тому числі через регулярні аудити та інспекції.

Крім того, створення сприятливих санітарно-побутових умов, таких як обладнані місця для відпочинку, душові, медичні пункти, позитивно впливає на загальний стан здоров'я працівників і підвищує їх працездатність. В цілому, реалізація цих заходів формує культуру безпеки на підприємстві та сприяє збереженню здоров'я і життя працівників.

Висновки. Організація охорони праці в ТОВ «ПЛАНТ АГРО» здійснюється системно та ефективно, що дозволяє мінімізувати виробничі ризики і запобігти нещасним випадкам, яких за останні роки не зафіксовано; особлива увага приділяється плануванню, фінансуванню, навчальним програмам і забезпеченню працівників засобами індивідуального захисту, що разом із дотриманням технічних норм під час монтажу систем електропостачання створює здорові та безпечні умови праці і сприяє збереженню здоров'я персоналу та стабільній роботі підприємства.

6. ЕКОЛОГІЧНА ЕКСПЕРТИЗА

Вступ. Сучасне сільськогосподарське виробництво неможливе без ефективного і надійного електропостачання. Разом з тим, діяльність енергетичного комплексу, зокрема при будівництві, реконструкції та експлуатації систем електропостачання, може мати істотний вплив на довкілля. Тому питання екологічної безпеки та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище є невід'ємною складовою будь-якого енергетичного проєкту.

Реконструкція системи електропостачання ТОВ «ПЛАНТ-АГРО», розташованого в Сумському районі Сумської області, передбачає модернізацію існуючих енергетичних мереж та устаткування з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, надійності та екологічної безпеки. Одним із важливих аспектів проєкту є розробка раціональної структури енерготехнічної служби, що сприятиме не лише ефективному управлінню енергоспоживанням, але й дотриманню природоохоронного законодавства, зниженню викидів шкідливих речовин, запобіганню аваріям та забрудненням довкілля.

Вплив. Реконструкція системи електропостачання, навіть у межах одного агропідприємства, може супроводжуватись низкою негативних впливів на довкілля та здоров'я людей. Один із ключових факторів – утворення електромагнітного поля під час роботи трансформаторного обладнання та ліній електропередачі. Постійний вплив електромагнітного випромінювання на персонал може викликати негативні зміни у стані здоров'я, зокрема розлади нервової та серцево-судинної систем, порушення сну, зниження загального тону організму.

Будівельно-монтажні роботи, які проводяться в рамках реконструкції, створюють значне шумове навантаження через роботу техніки, механізмів, генераторів. Це не лише створює дискомфорт для працівників і мешканців прилеглих територій, а й може призводити до підвищеної втомлюваності, зниження працездатності та стресу. Крім того, при використанні дизельних

установок або іншого палива можливе короткочасне забруднення атмосферного повітря продуктами згоряння, серед яких оксиди азоту, вуглецю та сірки, а також зважені пилові частинки.

У процесі земляних робіт, прокладання кабельних ліній, переміщення вантажів відбувається порушення верхнього шару ґрунту, що може негативно вплинути на водно-повітряний режим території, викликати ерозійні процеси, а також призвести до витіснення місцевої флори та фауни. Особливої уваги потребує контроль за можливими витокami нафтопродуктів або технічних мастил, які здатні забруднювати ґрунти й підземні води, погіршуючи їх якість та відновлюваність.

Додатково, у ході демонтажу старого обладнання та монтажу нового утворюється значна кількість відходів: металевих частин, ізоляційних матеріалів, відпрацьованих масел, електротехнічних елементів. За відсутності належної системи сортування, зберігання та утилізації ці відходи можуть потрапляти у навколишнє середовище, завдаючи шкоди екосистемам. Також у разі близькості робіт до природоохоронних зон або сільськогосподарських угідь можливе порушення природного середовища, включаючи тимчасове або тривале витіснення диких тварин і знищення окремих видів рослинності.

Заходи. З метою мінімізації потенційного негативного впливу реконструкції системи електропостачання на довкілля та здоров'я людей, у проєкті передбачено низку організаційних і технічних заходів. Одним із основних напрямів є впровадження сучасного електротехнічного обладнання, яке відповідає чинним стандартам електромагнітної безпеки та має знижений рівень випромінювання. Таке обладнання дозволяє зменшити вплив електромагнітного поля на персонал та навколишнє середовище, зокрема за рахунок використання екранів, заземлення та дотримання санітарних відстаней.

Особлива увага приділяється зниженню шумового навантаження. Під час вибору обладнання перевага надається трансформаторам із покращеною шумоізоляцією та вентиляційним установкам з низьким рівнем вібрацій. У процесі будівництва передбачено дотримання часових обмежень на виконання

шумних робіт, особливо у ранкові та нічні години, щоб уникнути дискомфорту для мешканців навколишніх територій.

Для запобігання забрудненню атмосферного повітря забезпечується справний технічний стан усіх транспортних засобів і будівельної техніки, а також передбачається обмежене використання двигунів внутрішнього згоряння. Місця складування сипучих матеріалів облаштовуються з урахуванням захисту від вітрового рознесення пилу, а в разі потреби застосовуються методи локального зрошення для осадження пилу.

Щоб уникнути негативного впливу на ґрунти та водні ресурси, усі земляні роботи проводяться з дотриманням вимог екологічної безпеки. Верхній родючий шар ґрунту знімається та тимчасово зберігається для подальшого відновлення ландшафту. Витоки технічних рідин запобігаються завдяки використанню герметичних резервуарів, а у випадку аварійних ситуацій передбачено швидке реагування – із залученням сорбентів та спеціалізованих служб.

Щодо поводження з відходами, передбачено попереднє сортування, тимчасове зберігання на спеціально відведених майданчиках, а також передачу на утилізацію ліцензованим підприємствам. Усі небезпечні відходи, зокрема відпрацьовані мастила, акумулятори, ізоляційні матеріали, повинні зберігатися в тарі, яка виключає потрапляння шкідливих речовин у ґрунт або воду.

Крім технічних рішень, значна роль відводиться підготовці та інструктажу персоналу. Працівники енерготехнічної служби повинні володіти знаннями з охорони навколишнього середовища, а також проходити регулярне навчання щодо дій у разі аварійних ситуацій. Контроль за дотриманням екологічних вимог здійснюється відповідальною особою підприємства, а також у межах державного екологічного нагляду.

Висновки. В цілому, екологічна ситуація у ТОВ «ПЛАНТ-АГРО» знаходиться у задовільному стані. Реалізація вищезазначених заходів дозволить значно зменшити рівень екологічних ризиків під час виконання реконструктивних робіт і забезпечити екологічну безпеку як для персоналу, так і для навколишньої природної території.

7. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

У сучасних умовах підвищених вимог до енергоефективності, надійності електропостачання та раціонального використання енергетичних ресурсів, особливої актуальності набуває питання модернізації та реконструкції систем електропостачання агропромислових підприємств. Виробничі об'єкти, як-от ТОВ «Плант-Агро» Сумського району Сумської області, потребують стабільного та якісного електропостачання для забезпечення безперебійного функціонування технологічного обладнання, систем освітлення, вентиляції, зберігання та переробки продукції. Економічне обґрунтування реконструкції системи електропостачання передбачає аналіз поточного стану енергозабезпечення підприємства, виявлення недоліків існуючої інфраструктури, розрахунок доцільності впровадження нових технічних рішень, а також оцінку ефективності їх реалізації з урахуванням техніко-економічних показників.

Окрему увагу приділено питанню організації енерготехнічної служби, яка має забезпечувати надійну експлуатацію електрообладнання, оптимальне планування ремонтів і модернізацій, а також впровадження систем енергоменеджменту для зниження експлуатаційних витрат.

Розробка комплексного економічного обґрунтування дозволить обґрунтовано визначити доцільність інвестицій у реконструкцію системи електропостачання та створення ефективної енергетичної служби, що в перспективі сприятиме підвищенню енергоефективності, зниженню втрат електроенергії та загальному зростанню економічної стійкості підприємства.

Таблиця 7.1. – Визначення капіталовкладень на реконструкцію

№ з/п	Найменування	К-ть	Од. вим.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
-------	--------------	------	----------	----------------------	-----------

1	Комплектна трансформаторна підстанція КТП-100/10/0,4 з трансформатором ТМГ-100	1	шт	120 000	120 000
2	Провід АС16	233	м	225	52 425
3	Провід АС25	74	м	268	19 832
4	Провід АС35	60	м	320	19 200
5	Провід АС50	99	м	425	42 075
6	Автоматичний вимикач ВА57-39	1	шт	6 000	6 000
7	Автоматичний вимикач ВА57-35	3	шт	3 200	9 600
8	Опора залізобетонна СВ 95-3	17	шт	5 400	91 800
9	Траверси з ізоляторами	11	шт	2 700	29 700
	Разом вартість матеріалів				391 632
10	Монтажні роботи (25% від вартості матеріалів)	-	-		97 908
	Загальні капіталовкладення з монтажем				489 540

Реконструкція системи електропостачання дозволить знизити витрати на технічне обслуговування та ремонти обладнання завдяки оновленню та заміні застарілих елементів. Крім того, оптимізація роботи енерготехнічної служби зменшить адміністративні та експлуатаційні витрати, підвищить оперативність реагування на несправності та покращить контроль за використанням енергоресурсів.

Річний економічний ефект від зменшення витрат на обслуговування та ремонти:

$$E = E_{TO} + E_{omm}, \quad (7.1)$$

де E_{TO} – річна економія за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування і ремонти, грн;

E_{opt} – річна економія за рахунок оптимізації роботи енерготехнічної служби, грн.

Річні витрати на технічне обслуговування і ремонти у 2024 році на підприємстві становили приблизно 250000 грн. Практика показує, що очікуване зменшення цих витрат після реконструкції може досягати до 40%. А зниження витрат на енерготехнічну службу за рахунок оптимізації – до 25% [20].

$$E = (250000 \cdot 0,4) + (300000 \cdot 0,25) = 175000 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{I}{E_{екон}}, \quad (7.2)$$

де I – капіталовкладення в реконструкцію системи електропостачання, грн.

$$T_{ок} = \frac{489540}{175} \approx 2,8 \text{ років.}$$

Таблиця 7.2. – Загальні техніко-економічні показники

Показник	Існуючий варіант	Проектний варіант
Річне споживання електроенергії, кВт·год	815000	815000
Капіталовкладення, грн	-	489540

Витрати на технічне обслуговування і ремонти, грн	250000	150000
Витрати енерготехнічної служби, грн	300000	225000
Загальні річні експлуатаційні витрати, грн	550000	375000
Річний економічний ефект від зменшення витрат на обслуговування та ремонти, грн	-	175000
Термін окупності, роки	-	2,8

Висновок. За рахунок зниження витрат на технічне обслуговування і ремонти, а також оптимізації роботи енерготехнічної служби, підприємство зможе щорічно економити близько 175000 грн. При капіталовкладеннях 489540 грн це забезпечить окупність проекту приблизно за 2,8 роки. Враховуючи додаткові переваги реконструкції, такі як підвищення надійності та безпеки електропостачання, впровадження проекту є доцільним.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз ефективності функціонування ТОВ «Плант-Агро» та існуючої системи електропостачання, яка виявила низку недоліків, зокрема застаріле обладнання, зношені провідники і недостатній рівень організації енерготехнічної служби. Для підвищення надійності, безпеки та якості електропостачання запропоновано реконструкцію системи із заміною застарілих елементів на сучасне обладнання. Обрано комплектну трансформаторну підстанцію КТП-100/10/0,4 із трансформатором типу ТМГ-100, яка відповідає необхідним технічним параметрам та забезпечує достатню потужність для об'єктів підприємства.

Для заміни повітряних ліній запропоновано використання алюмінієвих проводів марок АС16, АС25, АС35 та АС50, що дозволить зменшити втрати енергії та підвищити надійність мережі. Захист ліній буде забезпечуватися автоматичними вимикачами моделей ВА57-39 та ВА57-35, що є сучасними апаратами із покращеними характеристиками відключення. Опори планується замінити на залізобетонні типу СВ 95-3, які мають більшу міцність і довговічність у порівнянні з існуючими дерев'яними.

За рахунок зниження витрат на технічне обслуговування і ремонти, а також оптимізації роботи енерготехнічної служби, підприємство зможе щорічно економити близько 175000 грн. При капіталовкладеннях 489540 грн це забезпечить окупність проекту приблизно за 2,8 роки. Враховуючи додаткові переваги реконструкції, такі як підвищення надійності та безпеки електропостачання, впровадження проекту є доцільним.

Запропоновані заходи сприятимуть не лише зменшенню аварійності, але й оптимізації роботи енерготехнічної служби підприємства, що позитивно вплине на загальні експлуатаційні витрати та підвищить ефективність функціонування електропостачання. Впровадження проектних рішень забезпечить стабільне та безперебійне електропостачання виробничих об'єктів, що є важливим фактором для розвитку та конкурентоспроможності ТОВ «Плант-Агро».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Правила користування електричною енергією. Укрархбудінформ. – К.: 2001
2. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760 с.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006 Затв. Наказ Мінпалива № 258 (Із змінами та доповнення у відповідності до наказів Міненервугілля України № 91 від 13.02.2012 № 905 від 16.11.2012 № 273 від 16.05.2013).
4. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності
5. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго.
6. ГО «Еколтава». «Оцінка вразливості до зміни клімату Сумської міської територіальної громади та рекомендації з адаптації громади. 2022. – 88 с.
7. Яковлев В. Ф., Смоляров Г. А. Основи електропостачання. Методичні вказівки до курсового проекту «Електропостачання населеного пункту» для студентів ОС «Бакалавр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» - Суми: СНАУ, 2018. – 43 с.
8. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компринт, 2021. – 497с.
9. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Л. В. Давиденко, Н. В. Коменда, В. А. Давиденко, М. М. Євсюк – Луцьк: ВП ЛНТУ, 2022.– 244с.
10. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с
11. Електрична частина станцій і підстанцій: Навч. посібник / А.О.Омельчук. - К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. – 479 с.

12. Ципленков Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / Д. В. Ципленков, П. Ю. Красовський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 77–82.
13. Lyakhovych, H., Pucenteilo, P., & Vakun, O. (2020). ENERGY OUTSOURCING AS a SERVICE OF ENERGY SERVICE COMPANIES: JUSTIFICATION OF EXPEDIENCE AND POSSIBILITIES. *Economic Analysis*, 30(3), 228–234. <https://doi.org/10.35774/econa2020.03.228>.
14. Брич В., Федірко М., Янік І. Організаційно-економічні передумови реінжинірингу бізнес-процесів на ринку комунальної теплоенергетики України. *Вісник Тернопільського національного економічного університету*. 2016. No 2. С. 7-19.
15. Adefarati, T., Bansal, R., Shongwe, T., Naidoo, R., Bettayeb, M., & Onaolapo, A. (2023b). Optimal energy management, technical, economic, social, political and environmental benefit analysis of a grid-connected PV/WT/FC hybrid energy system. *Energy Conversion and Management*, 292, 117390. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117390>.
16. Bazdar, E., Nasiri, F., & Haghghat, F. (2024). Resilience-Centered Optimal Sizing and Scheduling of a Building-Integrated PV-based Energy System with Hybrid Adiabatic-Compressed Air Energy Storage and Battery Systems. *Energy*, 308, 132836. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132836>.
17. Guo, Y., & Niu, Y. (2024). The capacity optimization and techno-economic analysis of stand-alone hybrid renewable energy systems based on a two-stage nested optimization approach. *Journal of Energy Storage*, 85, 111143. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111143>.
18. Lou, J., Cao, H., Meng, X., Wang, Y., Wang, J., Chen, L., Sun, L., & Wang, M. (2023). Power load analysis and configuration optimization of solar thermal-PV hybrid microgrid based on building. *Energy*, 289, 129963. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129963>.

19. Пожарова О. В. Охорона праці : навчальний посібник / О. В. Пожарова. - Одеса, 2022. - 86 с. Режим доступу: <https://doi.org/10.32837/11300.18442>

20. Семерня О.В., Василенко О.О., Хворост Т.В, Кіндя О.П. (2023). Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у кваліфікаційній роботі здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузь знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання. - Суми: СНАУ, 2023.– 14 с.

21. Журило, І. В., & Полтавець, М. М. (2017). Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Кропивницький: ЦНТУ.

ДОДАТКИ