

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФГ «МРІЯ АГРО ЛАН» З
РОЗРОБЛЕННЯМ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ»**

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 42 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Більський Ростислав

Керівник: _____ Гошко М.О.

Рецензент: _____ Кригуль Р.Є.

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Левонюк В. Р.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ” 2025_ року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Більському Ростиславу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація мережі електропостачання ФГ «Мрія агро лан» з розробленням зовнішнього електроосвітлення»

керівник роботи к.т.н., доцент Гошко М.О.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 123/к-с від 25.02.25

р.

2. Строк подання студентом роботи 13.06.25

р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ

3 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ОСВІТЛЕННЯ З СВІТЛОДІОДНИМИ ЛАМПАМИ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5 ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ВСТАНОВЛЕННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Висновки

Перелік джерел посилання

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 25.02.25 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Виконання аналізу вихідних даних для реконструкції підстанції та обчислення нормальних і аварійних режимів роботи</i>	25.02.2025 – 7.03.2025	
2	<i>Розробка схеми відкритих розподільчих пристроїв підстанції та вибір основного обладнання</i>	10.03.2025 – 14.03.2025	
3	<i>Розробка системи релейного захисту трансформатора на основі мікропроцесорного реле</i>	17.03.2025 – 18.04.2025	
4	<i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i>	21.04.2025 – 2.05.2025	
5	<i>Вивчення питання охорони праці та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	5.05.2025 – 16.05.2025	

6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>19.05.2025 – 30.05.2025</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>2.06.2025 – 13.06.2025</i>	

Студент

_____ Більський Ростислав
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Гошко М.О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.320

Більський Ростислав. Модернізація мережі електропостачання ФГ «Мрія агро лан» з розробленням зовнішнього електроосвітлення. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2025. 48 с. текстової частини, 10 таблиць, 8 рисунків, 15 джерел посилання.

В даній кваліфікаційній роботі була розрахована модернізація мережі електропостачання ФГ «Мрія агро лан» з розробленням зовнішнього електроосвітлення. Також була розроблена мережа зовнішнього електроосвітлення. В роботі було розроблено основні параметри транспортувальної лінії. Проаналізовано заходи з охорони праці при монтажі та експлуатації пристроїв. Оцінено економічну ефективність запропонованих технічних рішень, визначено очікуваний економічний ефект. Розрахунки освітлювальної мережі нам дали результати, за якими ми можемо оцінити доцільність використання ламп.

Ключові слова: мережі електропостачання, мережа зовнішнього електроосвітлення, світлодіодні лампи.

ВСТУП

У сучасному суспільстві електроенергія є одним із ключових ресурсів, широко використовуваних як у виробничій сфері, так і в повсякденному житті. Її роль настільки значна, що важко уявити функціонування будь-якої галузі без електропостачання. Саме електроенергія забезпечує роботу технологічного обладнання, приладів побутового призначення та систем керування. Пристрої, які споживають електроенергію, називають електроприймачами — це агрегати, механізми або установки, які перетворюють електричну енергію на інші види: механічну, теплову, світлову, хімічну або іншу електричну енергію з новими параметрами. Найпоширенішими серед них є електродвигуни, печі, освітлювальні прилади, електротехнологічне обладнання тощо.

Під терміном «споживач електроенергії» розуміють як окремий електроприймач, так і сукупність таких пристроїв, об'єднаних одним технологічним процесом і розташованих на певній території. Це може бути як один верстат з електроприводом, так і цілий цех, виробничий комплекс або навіть населений пункт.

Електроенергія, яка виробляється електростанціями, використовується в багатьох галузях — промисловості, сільському господарстві, на транспорті, у комунальному секторі. При цьому певна частка енергії втрачається в процесі її передачі та розподілу. Близько 60% усієї споживаної електроенергії припадає на промисловість, інша частина розподіляється між іншими сферами діяльності та втратами.

Споживачі електроенергії мають різні технічні характеристики, що зумовлює специфічні вимоги до електропостачання — забезпечення високої надійності, належної якості електроенергії, наявності резервних джерел живлення та засобів захисту. При проектуванні та експлуатації систем електропостачання промислових об'єктів необхідно грамотно здійснювати

вибір рівнів напруги, оцінювати навантаження, обирати тип і кількість трансформаторних підстанцій, а також передбачати системи їхнього захисту.

Основними типами електроприймачів, які використовуються на промислових підприємствах, є електродвигуни, електроприводи, електрозварювальні апарати, електропечі, електролізні установки, освітлювальні прилади та перетворювальні пристрої. В інших галузях господарства ці самі типи пристроїв застосовуються, однак їх пропорційне співвідношення може відрізнятись. Всі електроприймачі, залежно від типу перетворення енергії, поділяють на чотири основні категорії:

- електроприводи;
- електротехнологічні пристрої;
- системи освітлення;
- пристрої керування та обробки інформації.

Перші дві категорії об'єднують під загальною назвою «силові електроприймачі», оскільки саме вони споживають найбільшу частину електроенергії. Наприклад, у машинобудуванні домінують електроприводи, а в електронній промисловості та електрометалургії — електротехнологічні установки. У харчовій і легкій промисловості велика частка споживання припадає на системи освітлення. Пристрої керування та інформаційної обробки, хоч і не є великими споживачами, виділяються окремо через підвищені вимоги до якості електроживлення та його стабільності, особливо в умовах автоматизованого виробництва.

Мета роботи: модернізація мережі електропостачання ФГ «Мрія агро лан» з розробленням зовнішнього електроосвітлення.

Актуальність роботи: військові дії та нестача електроенергії в Україні стимулює до використання енергоефективних електричних джерел світла.

1 ХАРАКТЕРСТИКА ОБ'ЄКТУ

Система електропостачання — це сукупність технічних засобів, призначених для передавання та розподілу електричної енергії від джерел генерації до кінцевих споживачів. Надійність і ефективність цієї системи є критично важливими для стабільної роботи промислових підприємств, громадських будівель, житлового сектору та інфраструктурних об'єктів.

Електропостачальні мережі відіграють ключову роль у забезпеченні технологічних процесів, оскільки саме вони подають електроенергію до обладнання, систем освітлення, вентиляції, автоматизованих комплексів керування тощо. Їхнє правильне проєктування та експлуатація дає змогу знизити втрати електроенергії, зменшити простої, уникнути аварій та забезпечити енергетичну безпеку об'єкта.

Класифікація електропостачальних мереж

Електропостачальні мережі класифікуються за кількома ознаками:

1. За призначенням:

Зовнішні мережі — це електромережі, що з'єднують джерела живлення (електростанції, підстанції) із підприємствами або житловими масивами. Їхня основна функція — передавання електроенергії на великі відстані.

Внутрішні мережі — це мережі всередині будівлі чи об'єкта, які відповідають за розподіл електроенергії до окремих установок, механізмів та споживачів.

2. За рівнем напруги:

Низьковольтні мережі (до 1 кВ): живлять переважно побутові прилади, освітлення, дрібне технологічне обладнання.

Мережі середньої напруги (6–35 кВ): застосовуються на підприємствах для подачі енергії до силових електроприймачів або трансформаторних підстанцій.

Високовольтні мережі (понад 35 кВ): використовуються для передавання енергії на великі відстані з мінімальними втратами.

3. За способом виконання:

Повітряні мережі — прокладаються на опорах, мають низьку вартість, але піддаються впливу атмосферних умов.

Кабельні мережі — прокладаються в землі, каналах або будівельних конструкціях; відзначаються вищою надійністю та захистом від зовнішніх впливів, однак є дорожчими у реалізації.

4. За схемою побудови:

Радіальні схеми — найпростіші та найдешевші в реалізації, проте малонадійні: у разі пошкодження лінії все навантаження знеструмлюється.

Кільцеві схеми — забезпечують резервування живлення, оскільки електроенергія може подаватися з кількох напрямків.

Сітчасті схеми — найскладніші, але забезпечують найвищий рівень надійності, особливо актуальні для великих промислових об'єктів.

Основні елементи мереж електропостачання

Будь-яка електропостачальна система включає в себе ряд структурних елементів:

Лінії електропередачі (ЛЕП) — повітряні або кабельні, що з'єднують між собою джерела живлення та споживачів.

Розподільчі пункти та щити — обладнання для керування, захисту та моніторингу роботи мережі.

Трансформаторні підстанції — знижують напругу до рівня, необхідного для кінцевих споживачів.

Засоби захисту — автоматичні вимикачі, реле, заземлення, які гарантують безпечну експлуатацію системи.

Порівняння типів електропостачальних систем

Існує кілька основних типів електропостачальних систем, кожна з яких має свої переваги, недоліки та сферу застосування.

Радіальні мережі є найпростішими за конструкцією. Вони характеризуються низькою вартістю реалізації та простотою монтажу, що робить їх доцільними для використання на невеликих об'єктах, таких як приватні

будинки, дачні ділянки або малі підприємства. Проте головним недоліком таких систем є відсутність резервування: у разі аварії на лінії живлення всі споживачі, підключені до неї, залишаються без електроенергії.

Кільцеві мережі мають середній рівень складності монтажу та забезпечують вищу надійність порівняно з радіальними. У таких мережах електроенергія може надходити з кількох напрямків, що дозволяє залишити живлення навіть при пошкодженні однієї з ділянок. Кільцеві схеми є поширеним варіантом на об'єктах середньої потужності, зокрема в житлових комплексах, торгових центрах, адміністративних будівлях та на території підприємств.

Сітчасті мережі є найнадійнішим, але й найдорожчим типом електропостачання. Вони забезпечують багатостороннє резервування та гнучкість у розподілі навантаження, що особливо важливо для великих промислових зон, критично важливих об'єктів інфраструктури, медичних установ, дата-центрів тощо. Їхній монтаж є складним і потребує значних фінансових витрат, однак отримана надійність виправдовує ці вкладення у відповідальних системах.

Повітряні електромережі мають перевагу у вигляді низьких витрат на матеріали та відносно простого монтажу. Їх активно використовують у сільській місцевості, де важлива швидкість розгортання мережі на великих відстанях при мінімальних витратах. Однак їх уразливість до погодних умов (вітер, ожеледь, гроза) обмежує застосування в більш складних умовах.

Кабельні мережі, навпаки, мають високий ступінь захисту від зовнішніх факторів. Вони монтуються під землею або всередині будівель, що забезпечує надійність і довговічність роботи. Такі системи широко використовуються в міських районах, на промислових підприємствах, а також там, де естетичні або безпекові міркування виключають застосування повітряних ліній. Основним недоліком кабельних мереж є складність у виявленні пошкоджень та висока вартість монтажу.

Таким чином, вибір типу електропостачальної системи залежить від конкретних умов об'єкта, вимог до надійності, економічних можливостей та особливостей території, де планується реалізація мережі.

Тенденції та перспективи розвитку

Сучасний підхід до побудови електропостачальних мереж базується на принципах енергоефективності, автоматизації та гнучкості. Значного поширення набули технології Smart Grid — розумних мереж, що дозволяють віддалено керувати навантаженнями, виявляти аварії, балансувати споживання і впроваджувати інтеграцію з поновлюваними джерелами енергії (сонячними та вітровими станціями).

Іншою важливою тенденцією є розвиток мікромереж (microgrid), які здатні працювати автономно від центральної енергосистеми. Такі рішення особливо актуальні для стратегічних або ізольованих об'єктів — військових частин, сільськогосподарських кластерів, медичних установ.

Мережі електропостачання є критично важливим компонентом будь-якої енергосистеми. Від їхньої надійності та ефективності залежить безперебійна робота промислового виробництва, комфорт мешканців міст, функціонування медичних, освітніх та транспортних систем. Правильний вибір типу мережі, раціональне проектування та впровадження сучасних технологій управління дозволяють не лише зменшити експлуатаційні витрати, а й підвищити загальну енергетичну стійкість об'єкта.

Відомо [1], що трансформаторну підстанцію слід намагатися розташувати у електричному центрі навантажень мережі. Згідно з цим підходом, аналізуючи схему рис. 1, можна прийти до висновку, що оптимальним місцем розташування трансформаторної підстанції у проєктованій мережі буде вузол позначений індексом “0”. У цьому випадку від виводів низької напруги 0,38 кВ будуть житися два фідери: А – вузли 1, 2, 3, 4; Б – вузли 5, 6, 7, 8; та мережа зовнішнього освітлення (не показана на схемі, оскільки повністю повторює конфігурацію мережі 0,38 кВ, яку прокладено вздовж ліній електропередач що знаходяться на об'єкті).

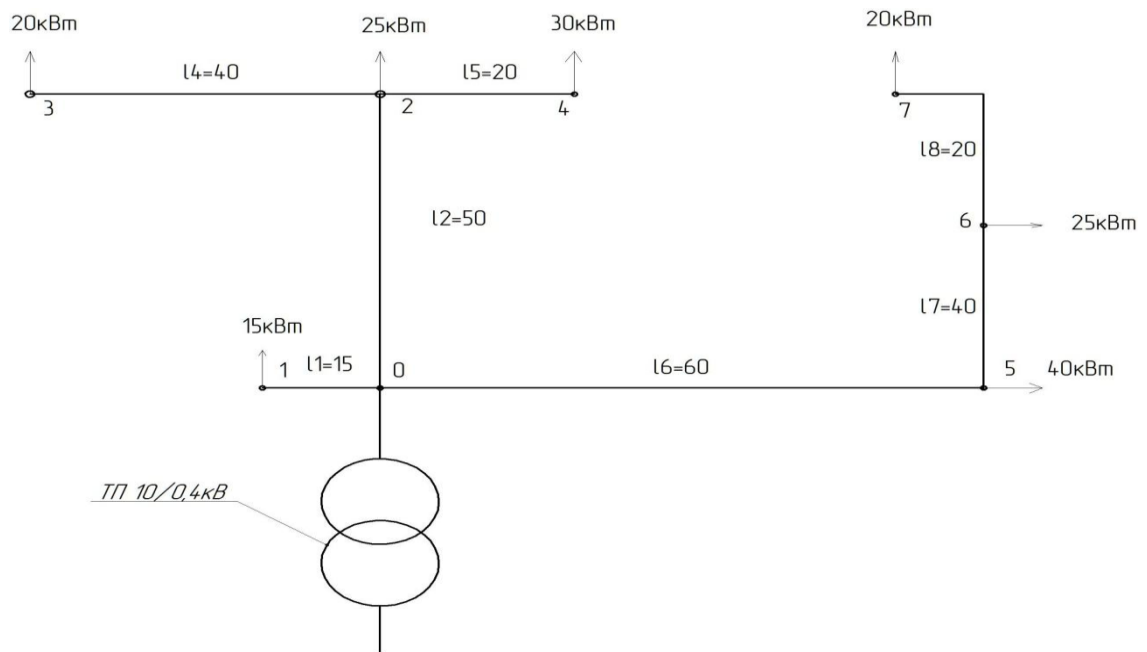


Рисунок 1.1 - Схема та розрахунків навантаження вузлів електричної мережі 0,38 кВ

Знімок зі супутника підприємства ФГ «Мрія агро лан» з будівлями показана на рис 1.2



Рисунок 1.2 - Знімок зі супутника підприємства ФГ «Мрія агро лан» з будівлями.

2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ

2.1 Визначення розрахункового навантаження

Зовнішнє електроосвітлення є важливою складовою енергетичної інфраструктури населених пунктів, промислових об'єктів, транспортних магістралей, соціальних та адміністративних споруд. Його основною метою є створення безпечних і комфортних умов для діяльності людей у темну пору доби або в умовах недостатнього природного освітлення. Зовнішнє освітлення не лише виконує утилітарну функцію, а й сприяє естетичному оформленню об'єктів архітектури, підвищенню рівня охорони території, попередженню аварійних ситуацій.

Правильно спроектована система зовнішнього освітлення дозволяє ефективно використовувати електроенергію, знижуючи експлуатаційні витрати, покращуючи видимість у критичних зонах та сприяючи зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод. Окрім того, сучасні технології дозволяють автоматизувати процес керування зовнішнім освітленням, що значно підвищує його ефективність та економічність.

Основні функції зовнішнього освітлення

До основних функцій зовнішнього освітлення належать:

- Функціональна — забезпечення видимості для пересування пішоходів і транспорту в темну пору доби.
- Охоронна — зменшення ризику проникнення на територію сторонніх осіб, підвищення рівня безпеки.
- Архітектурно-декоративна — підкреслення архітектурних особливостей будівель і споруд, створення привабливого нічного вигляду об'єктів.
- Навігаційна — орієнтація в просторі, особливо в аеропортах, на вокзалах, у промислових зонах.
- Аварійна — забезпечення мінімального рівня освітленості при зникненні основного живлення.

Класифікація систем зовнішнього освітлення

Зовнішнє освітлення класифікується за кількома ознаками:

1. За функціональним призначенням:

- Вуличне освітлення — освітлення автомобільних доріг, тротуарів, пішохідних переходів, мостів.
- Територіальне освітлення — освітлення дворів, парковок, промислових майданчиків, зон складування.
- Архітектурне освітлення — підсвічування фасадів будівель, пам'ятників, мостів, фонтанів.
- Охоронне освітлення — системи з датчиками руху, що активуються при наближенні до об'єкта.
- Аварійне освітлення — використовується у випадках відключення основного живлення.

2. За типом встановлення:

- Опорне освітлення — світильники встановлюються на спеціальних опорах, щоглах, стовпах.
- Фасадне освітлення — кріплення джерел світла на фасадах будівель або інших вертикальних поверхнях.
- Підвісне освітлення — освітлювальні прилади закріплюються над об'єктами, наприклад, над арками чи входами.

3. За типом джерел світла:

Серед основних типів джерел світла, що використовуються у зовнішньому освітленні, варто виокремити чотири найпоширеніші: ртутні, натрієві, металогалогенні лампи та світлодіодні (LED) джерела.

Ртутні лампи мають відносно низьку світлову віддачу, яка становить близько 40–50 люменів на ват. Їхній термін служби зазвичай не перевищує 10 тисяч годин, а енергоспоживання — досить високе. Такі лампи дають холодне біле світло, але на сьогодні вважаються застарілими і екологічно шкідливими, оскільки містять ртуть, що становить небезпеку для довкілля у разі порушення

герметичності колби. У більшості випадків ці джерела вже виводяться з експлуатації.

Натрієві лампи високого тиску (ДНаТ) характеризуються значно вищою світловою ефективністю — від 80 до 120 люменів на ват, а також довшим терміном служби, що може сягати до 20 тисяч годин. Їх світло має характерний жовтий відтінок, який сприятливий для роботи в умовах туману або дощу. Незважаючи на високу енергоефективність, натрієві лампи мають один суттєвий недолік — низький індекс передачі кольору, що обмежує їхнє застосування в зонах, де важлива точна візуалізація об'єктів.

Металогалогенні лампи забезпечують хорошу передачу кольору та природніший спектр освітлення (білий або нейтральний). Їх світлова віддача становить у середньому від 70 до 100 люменів на ват, а термін служби — від 12 до 15 тисяч годин. Перевагою таких ламп є здатність створювати яскраве, чітке освітлення, завдяки чому їх широко застосовують у спортивних об'єктах, на фасадах будівель та для архітектурної підсвітки. Проте їх використання потребує пускорегулювальної апаратури, а сама лампа є досить чутливою до перепадів напруги.

Світлодіодні лампи (LED) є найсучаснішим і найперспективнішим видом джерел світла для зовнішнього освітлення. Вони мають надзвичайно високу світлову віддачу — від 100 до 160 люменів на ват і можуть працювати від 30 до 100 тисяч годин залежно від моделі та умов експлуатації. Енергоспоживання таких ламп є найнижчим серед усіх розглянутих варіантів. Колір світла у LED-ламп можна регулювати: доступні як теплі, так і холодні відтінки. Крім того, вони миттєво вмикаються, не потребують часу для розігріву, не містять шкідливих речовин і мають найкращі показники за всіма критеріями ефективності, надійності та безпеки. Саме тому світлодіодне освітлення є найбільш доцільним вибором для сучасних систем зовнішнього електроосвітлення.

Світлодіодні лампи значно перевершують традиційні джерела світла за показниками енергоефективності, строку служби та екологічної безпеки.

Незважаючи на вищу початкову вартість, вони швидко окупаються завдяки низькому енергоспоживанню та мінімальним витратам на обслуговування.

Основні елементи систем зовнішнього освітлення

- До складу сучасної системи зовнішнього освітлення входять:
- Світильники з відповідним ступенем захисту (IP65–IP67).
- Опори або монтажні конструкції для встановлення обладнання.
- Системи керування (ручне, автоматичне або дистанційне).
- Датчики освітленості, руху або часу для автоматичного вмикання та вимикання.
- Кабельні мережі та шафи керування.

Автоматизовані системи можуть підключатися до диспетчерських пунктів або працювати автономно. Це дозволяє не лише керувати освітленням у задані часові інтервали, але й змінювати рівень освітленості залежно від погодних умов, пори доби або наявності людей.

Сучасні тенденції у зовнішньому освітленні

З кожним роком технології зовнішнього освітлення удосконалюються.

Основними тенденціями є:

- Інтелектуальні системи керування (Smart Lighting) — з можливістю дистанційного контролю через інтернет або мобільні застосунки.
- Енергозбереження — завдяки LED-освітленню, використанню датчиків та оптимізації схем живлення.
- Гібридне живлення — застосування сонячних панелей у поєднанні з акумуляторними батареями для автономної роботи.
- Архітектурна інтеграція — коли освітлення є частиною дизайнерської концепції об'єкта.

Отже, зовнішнє електроосвітлення — це важливий елемент сучасної інфраструктури, що виконує як функціональні, так і естетичні завдання. Його грамотне проектування з урахуванням сучасних технологій і типів джерел світла дозволяє підвищити безпеку, знизити витрати на електроенергію та обслуговування, а також створити привабливе середовище для людей.

Використання автоматизованих систем керування, сучасних світлодіодних технологій і джерел відновлюваної енергії відкриває нові перспективи для підвищення ефективності зовнішнього освітлення в містах і на промислових об'єктах.

Далі визначимо розрахункові навантаження об'єктів комунального призначення. У даному випадку для денних навантажень одного рівня знаходимо за формулою (2.1) :

$$P_{\text{дн}} = \sum P_{i\text{дн}} \cdot k_o, \text{кВт}; \quad (2.1)$$

$$\sum P_{\text{дн}} = (15 + 20 + 25 + 30 + 20 + 40 + 25) \cdot 0,64 = 112 \text{кВт};$$

Таким самим чином визначаємо вечірнє навантаження. Оскільки підприємство працює тільки в день, а на ніч залишається ввімкненим тільки освітлення території, то приймаємо 0,25кВт на одну будівлю, маємо:

$$P_{\text{вч}} = 0,25 \cdot 7 \cdot 1 = 1,75 \text{кВт};$$

Повні розрахункові навантаження визначимо, взявши за [3] значення відповідних величин коефіцієнтів потужності ($\cos \Pi_{\text{дн}} = 0,9$; $\cos \Pi_{\text{вч}} = 0,92$) :

$$S_{\Sigma\text{дн}} = \frac{P_{\Sigma\text{дн}}}{\cos \phi_{\text{дн}}}, \quad (2.2)$$

$$S_{\Sigma\text{дн}} = \frac{112}{0,9} = 124 \text{кВА};$$

$$S_{\Sigma\text{вч}} = \frac{1,75}{0,92} = 1,9 \text{кВА}.$$

Визначення розрахункових навантажень ліній електричної мережі 0,38 кВ

Оскільки підприємство має по одному будинку на вузлі, то вузлові навантаження будуть такі ж самі як і звичайні, тобто $P_{\text{он}} = 112 \text{кВт}$;

$$P_{\text{вч}} = 1,75 \text{кВт};$$

Повні розрахункові навантаження теж не зміняться і будуть становити:

$$S_{\Sigma \text{дн}} = 124 \text{кВА}; \quad S_{\Sigma \text{вч}} = 1,9 \text{кВА}.$$

Розрахункові реактивні навантаження ліній мережі 0,38 кВ визначено за виразом:

$$Q_{\text{дн}} = P_{\text{дн}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{кВАр}; \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{дн}} = 112 \cdot 0,48 = 54 \text{кВАр};$$

$$Q_{\text{вч}} = 1,9 \cdot 0,48 = 0,9 \text{кВАр}.$$

Струмові розрахункові навантаження мережі 0,38 кВ визначено за виразом:

$$I_{\text{дн}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \text{А}; \quad (2.4)$$

$$I_{\text{дн}} = \frac{124}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 188,5 \text{А};$$

$$I_{\text{вч}} = \frac{1,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,9 \text{А}.$$

2.2 Вибір трансформаторів підстанції 10/0,4 кВ

Очевидно, що головним критерієм для визначення номінальної потужності трансформатора на проектуваній трансформаторній підстанції є величина розрахункового навантаження мережі низької напруги 0,38 кВ ($S_{\text{розр}} = 124 \text{кВА}$). З огляду на те, що до шин підстанції підключені споживачі лише II та III категорій за надійністю електропостачання, допускається застосування однієї повітряної лінії 10 кВ для зовнішнього живлення підприємства. У зв'язку з цим доцільним є встановлення одного силового трансформатора з параметрами 10/0,38 кВ на відповідній трансформаторній підстанції. Принципову електричну схему запропонованої мережі зображено на рисунку 3.1.

Розрахунок необхідної потужності трансформатора виконується за наступною формулою:

$$S_{\tau} \geq \frac{S_{\text{розр}}}{1,4}, \text{кВА};$$

$$S_{\tau} \geq \frac{124}{1,4} = 89 \text{кВА}.$$

Вибираємо для встановлення трансформатор типу ТМ-100-10/0,4 кВ. Трансформатор має 5 відгалужень на стороні вищої напруги: 0, +- 2,5%, +- 5% від номінальної напруги цієї обмотки. Перемикання відгалужень можна здійснювати тільки під час вимкнення від мережі всіх обмоток трансформатора (ПБЗ – перемикання без збудження). Паспортні дані трансформатора наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 2.1 - Паспортні дані трансформатора

$S_{\text{ном}}$ кВА	$U_{\text{Вном}}$ кВ	$U_{\text{Нном}}$ кВ	Схема та група з'єднань	$\Delta P_{\text{нх}}$ кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$ кВт	$U_{\text{кз}}$ %	$I_{\text{нх}}$ %
100	10	0,4	Y/Y _н - 0	0,36	1,97	4,5	2,6

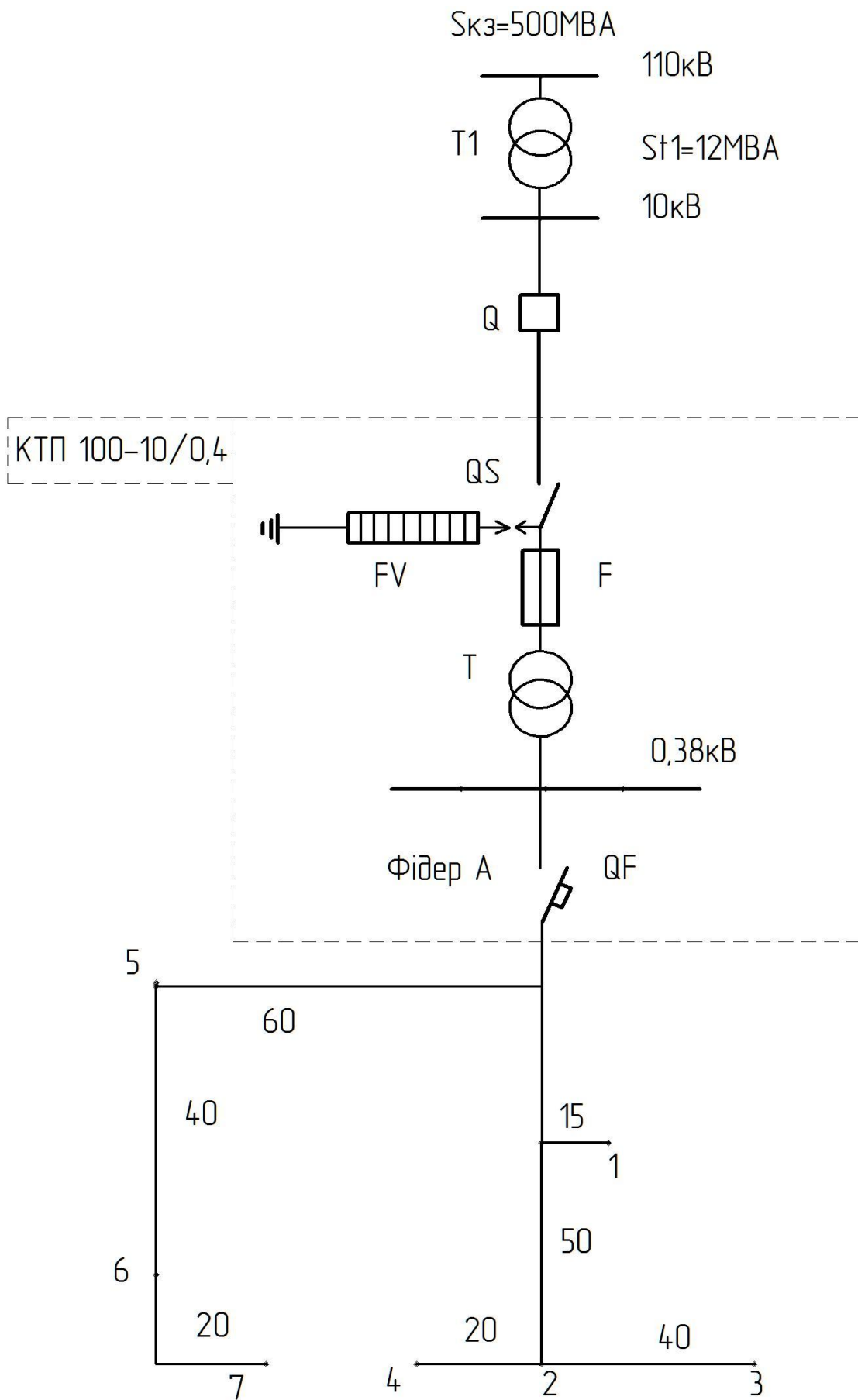


Рисунок 2.1 - Принципова схема проектованої мережі

Параметри трансформатора, наведені стосовно його вищої (первинної) сторони напруги, використовуються при подальших розрахунках. Зокрема, повний опір трансформатора визначається за наступною формулою:

$$z_T = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_{Вном}^2}{S_{ном} \cdot 10^{-3}}, Ом;$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10^2}{100 \cdot 10^{-3}} = 45, Ом.$$

Активний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$r_T = P_{кз} \frac{U_{Вном}^2}{S_{ном}^2 \cdot 10^{-3}}, Ом;$$

$$r_T = 1,97 \frac{10^2}{100^2 \cdot 10^{-3}} = 19,7 Ом.$$

Реактивний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, Ом;$$

$$x_T = \sqrt{45^2 - 19,7^2} = 40 Ом.$$

2.3 Визначення відхилень напруги в споживачів

Відхилення напруги розглядаються для двох основних режимів роботи: максимального навантаження (100%) та мінімального (25%). У таблиці наведені всі значення напруг у відсотках від номіналу. Вона містить дані для обох режимів, зокрема: напруги на шинах підстанції 110/10 кВ, яка живить лінію 10 кВ (початкові параметри); напруги на кінці лінії 10 кВ, що подає живлення проєктованій підстанції 10/0,38 кВ; значення напруг на шинах 0,38 кВ цієї підстанції з урахуванням втрат у трансформаторах та компенсації за допомогою ПБЗ; а також гранично допустимі втрати напруги у мережі 0,38 кВ до точок вводу в будинки й приміщення. При цьому передбачено, що у внутрішніх електропроводках будинків та приміщень втрати напруги становлять 2,5% при повному навантаженні і близькі до нуля при мінімальному. Значення цих втрат використовуються для перевірки правильності обраних перерізів проводів у відповідних мережах. Оскільки перерізи можуть бути дещо більшими, ніж це

вимагають нормативи по втратах напруги, після розрахунку в таблицю заносять фактичні втрати на відповідних ділянках електромережі. Підсумкові результати, представлені у таблиці відхилень напруги, повинні відповідати нормативним вимогам — відхилення на клеммах споживачів мають перебувати в межах $\pm 5\%$ від номінальної величини.

Таблиця 2.2 - Відхилення напруги

Елемент електропередачі	Відхилення напруги , %							
	На шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ				У найбільш віддаленому вузлі			
	Навант. 100%		Навант. 25%		Навант. 100%		Навант. 25%	
	оцінка	розрах	оцінка	розрах	оцінка	розрах	оцінка	розрах
Шини 10 кВ ТП 110/10 кВ	+5	+5	0	0	+5	+5	0	0
Втрата в ЛЕП 10 кВ	-4	-0,3	-1	0	-4	-0,3	-1	0
Трансформатор 10/0,38 кВ:								
втрата	-4	-3,8	-1	-1	-4	-3,8	-1	-1
добавка	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Мережа 0,38 кВ	0	0	0	0	-5	-5*	-1,2	-1,2*
Споживач	+2	+5,9	+3	+4	-3	+0,9	+1,8	+2,8

2.4 Вибір перерізів проводів і розрахунок мережі

Визначення перерізу провідників виконуємо, спираючись на критерій допустимих втрат напруги в окремих ділянках повітряних або кабельних ліній електропередач. Відповідно до вимог ПУЕ, бажано підбирати провідники для магістральних ліній 0,38 кВ таким чином, щоб звести до мінімуму кількість різних перерізів у межах однієї лінії. У межах цієї роботи кожна магістраль розділена максимум на чотири сегменти, тому раціональним підходом є застосування єдиного перерізу проводу по всій довжині магістралі. Для обчислення використаємо методику, викладену в [3]. За умови незмінності перерізу та однакового коефіцієнта потужності на всіх ділянках магістралі, величину втрати напруги в ній можна знайти за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3}(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_i l_i = \Delta U_a + \Delta U_p$$

де n – кількість ділянок магістралі;

I_i, l_i - струм та довжина i -ї ділянки магістралі;

r_0, x_0 - питомі активний та реактивний опори лінії електропередачі;

$\Delta U_a, \Delta U_p$ - активна та реактивна складові втрати напруги.

Оскільки питомий реактивний опір мало залежить від перерізу проводів для ліній 0,38 кВ ($x_0 = 0,3 \dots 0,35$ Ом/км), то перед початком розрахунку можемо прийняти його незмінним для усіх ліній (нехай $x_0 = 0,3$ Ом/км).

Згідно ПУЄ під час навантажень у мережі 100% втрата напруги в кожній з магістралей проекрованої мережі 0,38 кВ не повинна перевищувати 5%
 $\Delta U_{\text{дон}} = 380 \cdot 0,05 = 19$;

Розрахуємо реактивну складову втрати напруги в магістралі за формулою:

$$\Delta U_p = \frac{x_0}{U_{\text{ном}}} (Q \cdot l), B;$$

$$\Delta U_p = \frac{0,3}{0,38} (54 \cdot 235) = 10 B;$$

Допустиме значення активної складової напруги отримаємо з виразу:

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{дон}} - \Delta U_p, B;$$

$$\Delta U_a = 19 - 10 = 9 B.$$

Тоді розрахункове значення перерізу проводів магістралі визначимо за формулою:

$$F_{\text{розр}} = \frac{P \cdot l}{U_{\text{ном}} \cdot \Delta U_a \cdot g}, \text{мм}^2;$$

де $g = 32 \cdot 10^6$ См/м – питома провідність алюмінію.

$$F_{\text{розр}} = \frac{112 \cdot 235 \cdot 10^3}{380 \cdot 9 \cdot 32} = 241 \text{мм}^2.$$

Оскільки значення поперечного перерізу, отримане за формулою (5.4), не є доцільним для практичного застосування, було прийнято рішення визначити переріз провідника за умовою допустимого струмового навантаження. При цьому номінальний струм становить $I_{\text{дн}}=188,5\text{А}$. Враховуючи це, обираємо провід марки А-50, допустимий струм якого дорівнює $I_{\text{доп}}=215\text{А}$. Як видно, даний провідник задовольняє умови за струмом. Інформацію про вибір проводу наведено в таблиці.

Таблиця 2.3 - Параметри проводів мережі 0,38кВ

Лінія мережі 0,38 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Доп.струм, А
1,2,3,4,5,6,7	А-50	0,64	0,297	215

За параметрами вибраних проводів визначимо дійсні втрати напруги в лініях електричної мережі 0,38 кВ за виразом (2.5) і порівняємо їх з допустимою втратою ($\otimes U_{\text{д}} = 19 \text{ В}$):

$$\Delta U = 9,9\text{В.}$$

$$19\text{В} > 9,9\text{В}$$

Розрахунки показують, що для обраної магістралі дотримано умову допустимих втрат напруги при роботі мережі в режимі максимального навантаження.

За такою ж послідовністю виберемо переріз проводів лінії 10 кВ за умови, що допустима втрата напруги тут повинна складати 4% ($10000 \cdot 0,04 = 400 \text{ В}$). В результаті отримаємо розрахунковий переріз $F_{10 \text{ розр}} = 5 \text{ мм}^2$. Згідно з вимогами ПУЕ мінімальний за механічною міцністю переріз сталевалюмінієвого проводу марки АС для ліній 10 кВ повинен складати 25 мм^2 .

Отже приймемо для лінії 10 кВ проводи марки АС-25 з параметрами наведеними у таблиці

Таблиця 2.4 - Параметри проводів електричної мережі 10 кВ

Лінія мережі 10 кВ	Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	Допуст. струм, А
ТП 110 кВ - ТП 10 кВ	АС-25	1,146	0,377	136

Для обраного типу проводу фактична втрата напруги в лінії 10 кВ у режимі максимального навантаження становить 32,3 В, що відповідає 0,3% від номінального значення. Втрати напруги в обмотках трансформатора 10/0,4 кВ за тих самих умов становлять 387,2 В, або 3,8%. У таблиці 4.1 у стовпцях із позначенням «розрах.» наведено отримані значення відхилень напруги для різних елементів електромережі. З урахуванням того, що у внутрішніх мережах житлових і комунально-побутових об'єктів втрати допускаються в межах 0...–2,5%, можна зробити висновок, що у всіх розглянутих випадках забезпечено відповідність якості електроенергії нормам за показником відхилення напруги.

2.5 Втрати електроенергії в електричній мережі

Розрахунок втрат електроенергії виконується як для мережі 10 кВ, так і для мережі 0,38 кВ, з обов'язковим урахуванням втрат у трансформаторі підстанції 10/0,38 кВ. Обчислення обсягів втрат електроенергії (у кВт·год) у мережі здійснюється окремо для кожної її ділянки з урахуванням відмінностей у навантаженні та перерізах проводів. Для цього застосовується така формула:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n 3I_{\max i}^2 r_i \tau$$

де $I_{\max i}$ - максимальний струм кожної ділянки;

r_i - активний опір проводів кожної ділянки;

τ - час втрат, який визначається як функція від числа годин використання максимуму [3].

Втрати електроенергії у мережі 10 кВ:

$$\Delta W_{10} = 3I_{\text{л}10\max}^2 r_{\text{л}10} \tau,$$

де $I_{\text{л}10\max} = \frac{S_{\Sigma\text{дн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{124}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,1$; а $\tau = 1800$ год для часу використання максимуму в заданому варіанті - 3000 год.

$$\Delta W_{10} = 3 \cdot 7,1^2 \cdot 4,31 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 195 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати електроенергії у мережі 0,38 кВ:

$$\Delta W_{0,38} = 3 \cdot 188,5^2 \cdot 0,64 \cdot 1800 \cdot 10^{-3} = 122500 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати електроенергії в мережі 0,38 кВ розраховуються для всієї її протяжності — від виходу з трансформатора до введів у житлові та господарські об'єкти. Для трансформатора підстанції 10/0,38 кВ загальні втрати електроенергії включають дві складові: сталеві втрати (постійні) та обмоткові втрати (змінні). Сталеві втрати визначаються за формулою (у кВт·год):

$$\Delta W_c = n \cdot \Delta P_{\text{нх}} \cdot 8760,$$

де $\Delta P_{\text{нх}}$ - втрати в кожному трансформаторі в неробочому ході;

n - число трансформаторів на підстанції.

$$\Delta W_c = 1 \cdot 0,36 \cdot 8760 = 3153 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Втрати в обмотках (у кВт·год):

$$\Delta W_o = \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{Т ном}}} \right)^2 \tau,$$

де S_{max} — максимальне навантаження трансформатора, кВА .

$$\Delta W_o = 1,97 \cdot \left(\frac{124}{100} \right)^2 \cdot 1800 = 5452 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

постійні - $\Delta W_{\text{пост}} = \Delta W_c = 3153 \text{ кВт} \cdot \text{год};$

змінні - $\Delta W_{\text{зм}} = \Delta W_{10} + \Delta W_{0,38} + \Delta W_o = 195 + 122500 + 5452 = 128147$

кВт·год;

сумарні - $\Delta W = \Delta W_{\text{пост}} + \Delta W_{\text{зм}} = 131300 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$

2.6 Вибір трансформаторної підстанції 10/0,38 кВ

Для забезпечення електроживлення запроєктованої мережі 0,38 кВ передбачено встановлення комплектної трансформаторної підстанції типу КТП-

100-10/0,4 кВ. Конструктивно вона реалізована у вигляді блочного рішення, що включає такі основні елементи: вхідний вузол на 10 кВ, розподільний блок на 0,38 кВ та силовий трансформатор номінальною потужністю 63 кВА.

Секція на 10 кВ складається з трифазного роз'єднувача із заземлювальними ножами, що монтується на найближчій опорі лінії 10 кВ, а також вентилях розрядників, призначених для захисту обладнання від грозових та комутаційних перенапруг зі сторони високої напруги. Додатково, на вводах трансформатора зі сторони 10 кВ встановлюються запобіжники, які запобігають пошкодженню трансформатора у разі багатофазних коротких замикань.

Розподільна частина на 0,38 кВ розміщена у нижньому відсіку шафи. На виході 0,4 кВ трансформатора змонтовано рубильник, а з боку лінії 0,38 кВ — вентилях розрядники, що забезпечують захист від перенапруг. Далі підключено комплект трифазних трансформаторів струму, який використовується для живлення ланцюгів комерційного обліку активної електроенергії, а також двофазний комплект (по фазах А та С) трансформаторів струму, до якого приєднано теплове реле для захисту трансформатора від перевантаження.

Керування та захист трьох магістральних ліній 0,38 кВ від коротких замикань реалізовано за допомогою автоматичних вимикачів типу АЗ710. Вивід, призначений для підключення лінії зовнішнього освітлення, оснащено плавкими запобіжниками. Увімкнення цієї лінії може здійснюватися як вручну, так і автоматично через фотореле.

2.7 Розрахунок аварійних режимів

Заступна схема для розрахунку струмів коротких замикань показана на рис

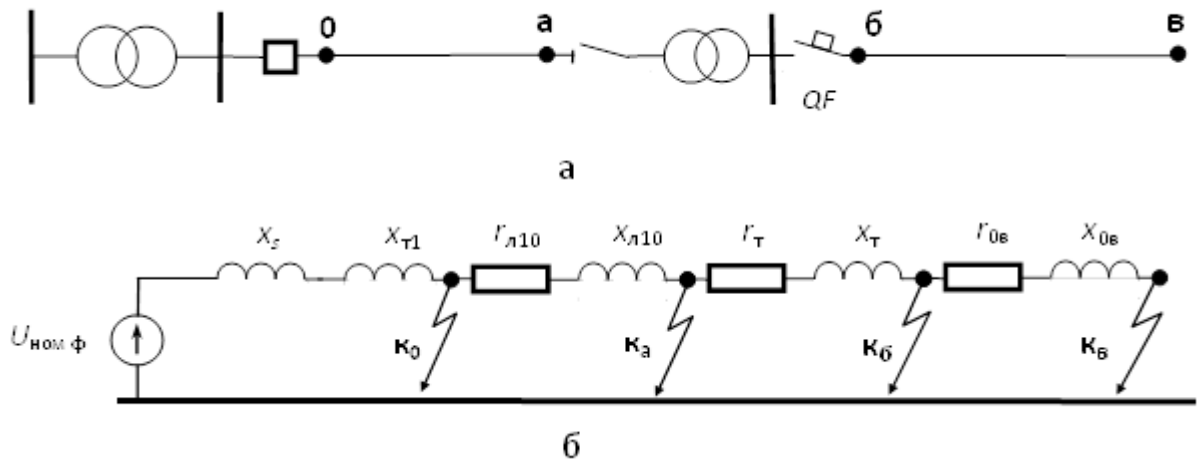


Рисунок 2.2 - Принципова (а) та заступна (б) схеми для розрахунку струмів короткого замикання

Для визначення струмів коротких замикань на стороні 10 кВ під час к.з. у точках а і б опори подамо зведеними до напруги 10 кВ:

$$x_s = \frac{U_{ном}^2}{S_{кз}}, \text{ Ом};$$

де $U_{ном}$ - базисна номінальна напруга, кВ.

Еквівалентний опір системи 110 кВ:

$$x_s = \frac{10^2}{500} = 0,2 \text{ Ом};$$

Реактивний опір трансформатора 110/10 кВ:

$$x_{T1} = \frac{U_{кз}}{100} \frac{U_{ном}^2}{S_{T1}},$$

$$x_{T1} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10^2}{12} = 0,4 \text{ Ом};$$

Опори лінії 10 кВ – $x_{Л10} = 1,43 \text{ Ом}$; $r_{Л10} = 4,36 \text{ Ом}$;

Опори трансформатора 10/0,4 кВ – $x_T = 40 \text{ Ом}$; $r_T = 19,7 \text{ Ом}$.

Сумарний опір і струми для трифазного і двофазного к.з. на початку лінії 10 кВ (точка 0):

$$Z_{\Sigma 0} = x_s + x_{T1},$$

$$Z_{\Sigma 0} = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ Ом}.$$

Струм трифазного короткого замикання в елементах мережі 0,38 кВ:

$$I_{\text{к}0,4}^{(3)} = \frac{220}{z_{\Sigma}}, \quad (8.4)$$

де z_{Σ} - сума модулів повних опорів усіх елементів від шин вищої напруги підстанції 110/10 кВ до точки короткого замикання, Ом.

$$I_{\text{к}0}^{(3)} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0,6} = 9615 \text{ A};$$

$$I_{\text{к}0}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\text{к}0}^{(3)} = 0,87 \cdot 9615 = 8365 \text{ A};$$

Сумарний опір і струми з боку обмотки вищої напруги трансформатора 10/0,38 кВ при трифазному і двофазному к.з. у точці а:

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(x_s + x_{\text{т}1} + x_{\text{л}10})^2 + r_{\text{л}10}^2}, \text{ Ом};$$

$$z_{\Sigma a} = \sqrt{(0,2 + 0,4 + 1,43)^2 + 4,36^2} = 4,65 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{Ка}}^{(3)} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 4,65} = 1250 \text{ A};$$

$$I_{\text{Ка}}^{(2)} = 0,87 \cdot 1250 = 1087 \text{ A};$$

і у точці б відповідно:

$$z_{\Sigma б} = \sqrt{(x_s + x_{\text{т}1} + x_{\text{л}10} + x_{\text{т}})^2 + (r_{\text{л}10} + r_{\text{т}})^2}, \text{ Ом};$$

$$z_{\Sigma б} = \sqrt{(0,2 + 0,4 + 1,43 + 40)^2 + (4,36 + 19,7)^2} = 48,4 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{Кб}}^{(3)} = \frac{1000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 48,4} = 84 \text{ A};$$

$$I_{\text{Кб}}^{(2)} = 0,87 \cdot 84 = 73 \text{ A}.$$

Відповідно, струми з боку виводів 0,38 кВ трансформатора 10/0,38 кВ під час к.з. у точці б визначимо із співвідношення:

$$I_{\text{Кбн}} = \frac{U_{\text{Вном}}}{U_{\text{Нном}}} \cdot I_{\text{Кб}}, \text{ A};$$

$$I_{\text{Кбн}}^3 = \frac{10}{0,38} \cdot 84 = 2210 \text{ A};$$

$$I_{\text{Кбн}}^2 = \frac{10}{0,38} \cdot 73 = 1921 \text{ A};$$

Тоді отримаємо: $I_{\text{Кбн}}^{(3)} = 2210 \text{ A}; \quad I_{\text{Кбн}}^{(2)} = 1921 \text{ A}.$

Аналіз наведених співвідношень свідчить про те, що опори елементів електричної мережі напругою 10 кВ, а також системи 110 кВ є суттєво меншими порівняно з опором трансформатора 10/0,38 кВ. У зв'язку з цим, при проведенні розрахунків струмів короткого замикання в мережі 0,38 кВ, вплив цих опорів можна не враховувати, оскільки їх внесок у загальну величину струму є незначним.

2.8 Вибір і розрахунки захисту від аварійних режимів

1. Релейний захист трансформатора 10/0,4 кВ.

Для трансформаторів типу 10/0,38 кВ із номінальною потужністю до 630 кВА передбачають захист за допомогою плавких запобіжників, що встановлюються з боку високої напруги (10 кВ). Відбір відповідного типу запобіжника здійснюється відповідно до визначених критеріїв, які гарантують надійний захист трансформатора в експлуатаційних режимах.

$$U_{\text{зап}} = U_{\text{ном}} ;$$

$$I_{\text{н вимк}} \leq I_{\text{кз макс}}$$

$$I_{\text{вст}} \leq 2 I_{\text{т ном}};$$

Для трансформаторів 10/0,38 кВ потужністю 100 кВА ($I_{\text{т ном}} = 6,8 \text{ А}$) рекомендованим є встановлення запобіжників з $I_{\text{вст}} = 10 \text{ А}$.

Виходячи з вказаних вимог для захисту трансформатора у вказаній електричній мережі виберемо плавкий запобіжник ПКТ-10-10-31,5УЗ з параметрами наведеними в таблиці

Таблиця 2.5 - Параметри запобіжника

Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА
10	10	31,5

Враховуючи, що максимальне значення струму к.з. у точці а дорівнює 1,087 кА бачимо, що вибраний запобіжник відповідає критеріям вибору.

2. Релейний захист електричної мережі 0,38 кВ

Захист електричної мережі 0,38 кВ для вибраної схеми КТП (у нульових проводах фідерів встановлено струмові реле, які під час спрацювання діють на обмотку незалежного розчеплювача) здійснюють автоматичними вимикачами типу ВА-2005 М21, які вибирають за наступними критеріями:

$$U_{\text{авт}} = U_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{р в}} \geq I_{\text{нав}};$$

$$I_{\text{с н}} \geq 1,4 I_{\text{мр}};$$

$$I_{\text{с рн}} \geq 1,25 \cdot 0,3 I_{\text{мр}};$$

$k_{\text{ч}} = I_{\text{кз}}^{(2)} / I_{\text{с н}} \geq 1,1$; Роботу автоматичних вимикачів за умовою спрацювання від струмів перевантажень у такій мережі згідно з ПУЕ не перевіряють.

Номінальна напруга автоматичного вимикача:

$$U_{\text{авт}} = 660 \text{ В} > U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}.$$

Виберемо за довідником [6] номінальні струми напівпровідникових розчеплювачів (які і є номінальними струмами автоматичних вимикачів) для фідерів:

$$\text{Фідер А: } I_{\text{нав А}} = 188,5 \text{ А}; \quad I_{\text{р в А}} = 200 \text{ А};$$

Струми спрацювання напівпровідникових розчеплювачів для усіх фідерів (у даному випадку в мережі немає потужних двигунів - $I_{\text{мр}} = I_{\text{нав}}$) :

$$\text{Фідер А: } I_{\text{с нА}} = 327 \text{ А} \text{ } \varepsilon \text{ } 1,4 I_{\text{мр А}} = 1,4 \cdot 188,5 = 264 \text{ А};$$

Коефіцієнти чутливості напівпровідникових розчеплювачів для фідерів:

$$\text{Фідер А: } k_{\text{ч}} = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{с н}} = I_{\text{к1н}}^{(2)} / I_{\text{с нА}} = 1921 / 327 \text{ А} = 5,9;$$

Розрахункові струми спрацювання реле незалежного розчеплювача під час однофазного к.з.:

$$\text{Фідер А: } I_{\text{с рн}} = 1,25 \oplus 0,3 I_{\text{мр}} = 1,25 \cdot 0,3 \cdot 188,5 = 70,6 \text{ А};$$

Прийmemo

$$\text{Фідер А: } I_{\text{с рн}} = 80 \text{ А}; < I_{\text{К1н}}^{(1)} / 2 = 188,5/2 = 94 \text{ А};$$

Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача - $I_{\text{с н}} = 1600 \text{ А}$. Під час трифазних коротких замикань на початку лінії ($I_{\text{К6н}}^{(3)} = 2210 \text{ А}$) будуть спрацьовувати електромагнітні розчеплювачі автоматичних вимикачів, миттєво вимикаючи відповідний фідер.

3. Релейний захист електричної мережі 10 кВ.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), на лініях 10 кВ з одностороннім живленням застосовують двоступеневу систему струмового захисту. Перший ступінь передбачає реалізацію у вигляді струмової відсічки, тоді як другий ступінь виконується як максимальний струмовий захист, який може мати або залежну, або незалежну витримку часу.

На лінії 10 кВ з боку підстанції 110/10 кВ, яка живить ТП 10/0,38 кВ ($I_{\text{Т ном}} = 6,8 \text{ А}$) виберемо для встановлення трансформатори струму (ТС) типу ТПЛК-10 у фазах А і С з коефіцієнтами трансформації 10/5 ($I_{\text{1тс}} = 10 \text{ А} > I_{\text{Т ном}} = 6,8 \text{ А}$).

Двоступінчастий струмовий захист виконаємо за схемою рис.9.1.

Струм спрацювання відсічки вибирають з умови:

$$I_{\text{с.з.в.}} = k_{\text{н}} I_{\text{К30Вн}}, \text{ А};$$

де $I_{\text{К30Вн}}$ - максимальне значення зовнішнього струму к.з., який визначають як струм у місці встановлення захисту при к.з. на стороні нижчої напруги трансформатора 10/0,38 кВ;

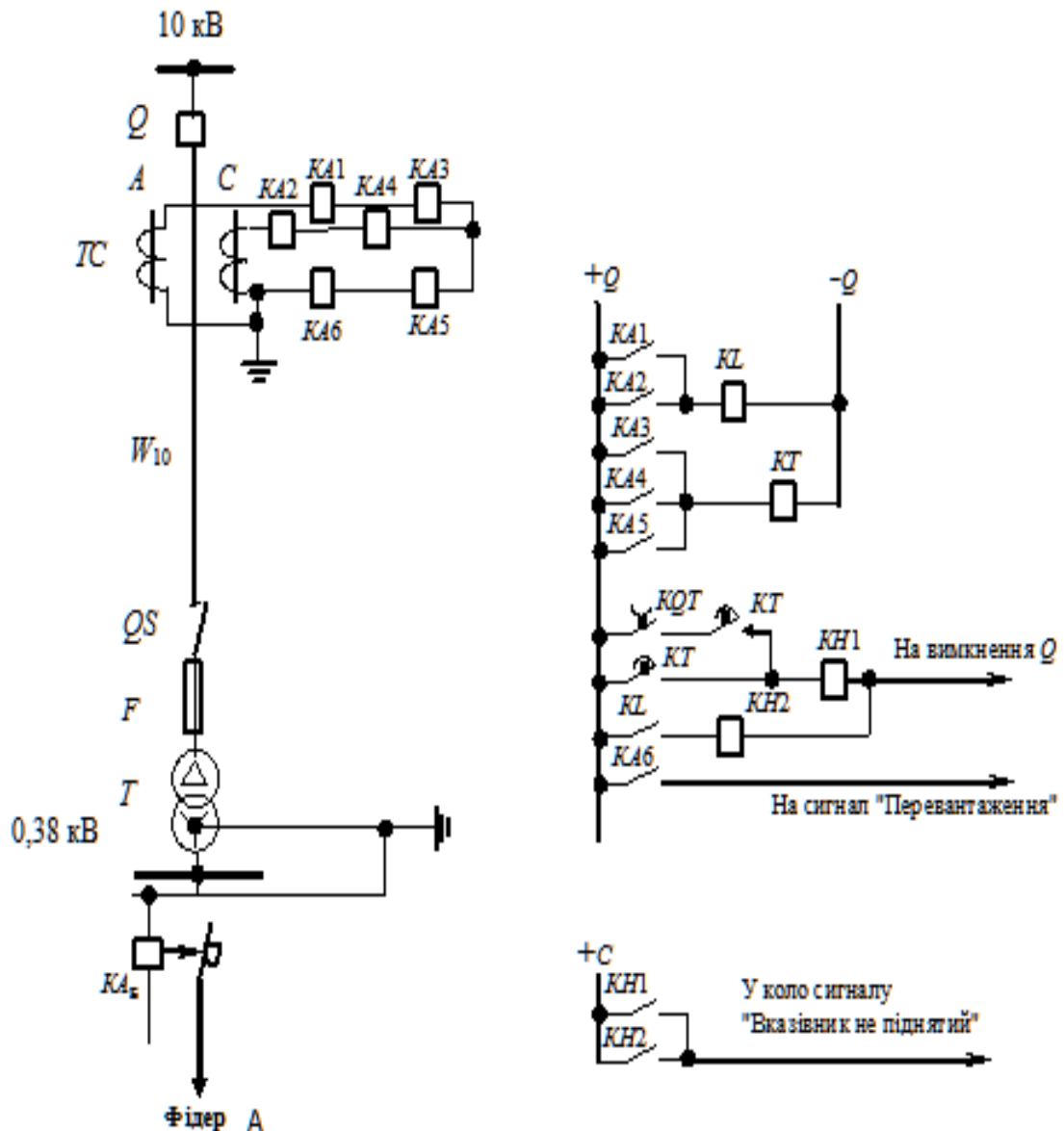
$k_{\text{н}} = 1,2$ для реле РТ-40.

$$I_{\text{с.з.в.}} = 1,2 \cdot 84 = 101 \text{ А}.$$

Струм спрацювання реле визначається з умови:

$$I_{\text{с.р.в.}} = \frac{I_{\text{с.з.в.}}}{n_{\text{тс}}}, \text{ А};$$

$$I_{\text{с.п.в.}} = \frac{101}{10/5} = 50,5 \text{ A.}$$



<i>ТС</i>	Трансформатори струму ТПЛК-10
<i>КА1-КА6</i>	Реле струму типу РТ-40
<i>КТ</i>	Реле часу типу РВ-122
<i>КЛ</i>	Проміжне реле типу РП-23 чи РП-251
<i>КН1, КН2</i>	Вказівні реле типу РУ-1
<i>КОТ</i>	Контакт реле положення "вимкнено" вимикача <i>Q</i>
<i>КАА-КАВ</i>	Реле струму в нейтралях ліній 0,38 кВ

$$k_{\text{чв}} = \frac{I_{\text{кmin}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.в.}}}, A;$$

$$k_{\text{чв}} = \frac{1087}{101} = 10,8 A.$$

Тобто, згідно з вимогою ПУЕ у даному випадку відсічка може бути застосована як основний захист лінії.

Як другий ступінь захисту для лінії 10 кВ проектованої електричної мережі приймемо максимальний струмовий захист, виконаний на основі реле непрямої дії РТ-40 і реле часу РВ-122.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} k_{\text{з}}}{k_{\text{п}}} I_{\text{макр}}, A;$$

де

$$I_{\text{макр}} = \frac{S_{\Sigma \text{вч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, A;$$

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,8} \cdot 7,3 = 11 A.$$

$$I_{\text{макр}} = \frac{124}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7,3 A.$$

Струм спрацювання реле визначимо з умови:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{тс}}}, A;$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{7,3}{10/5} = 3,65 A.$$

Перевіримо чутливість максимального струмового захисту (як резервного для трансформатора) з умови к.з. на стороні нижчої напруги трансформаторної підстанції 10/0,38 кВ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{Кб}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}},$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{73}{7,3} = 10 \geq 1,2$$

З РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ОСВІТЛЕННЯ З СВІТЛОДІОДНИМИ ЛАМПАМИ

Світлодіод являє собою напівпровідниковий елемент, що випромінює некогерентне світло при проходженні електричного струму — цей процес відомий як електролюмінесценція. Колір світла, яке випромінюють традиційні світлодіоди, залежить від хімічного складу напівпровідникового матеріалу і зазвичай знаходиться в певній вузькій ділянці спектра.

Для розгляду беремо точкову систему освітлення. Розрахунки здійснюватимуться у точці мінімального рівня освітленості, що розташована між двома світильниками, як це показано на рисунку 3.1. Основні параметри світильника наведені в таблиці 3.1.



Рисунок 3.1 - Світильник типу RVL-ST-LED-60W

Таблиця 3.1 - Характеристики світильника типу RVL-ST-LED-60W

№	Характеристика	Значення
1	Потужність	60Вт
2	Світловий потік	6600лм
3	CRI	>85%
4	Розміри	432x160x90 мм
5	Захист	IP65
6	Вартість	685грн.
7	Термін служби	50000год.

При використанні кривої сили світла світильника горизонтальна освітленість визначається виразом:

$$E_r = \frac{C \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, \text{лк};$$

де C - коефіцієнт, що враховує реальний світловий потік лампи по відношенню до умовного;

I_α - сила світла по кривій під кутом α ;

α - кут падіння світла на поверхню;

h -висота підвісу світильника. ($h=8\text{м}$).

$$C = \frac{\Phi_{\text{св}}}{1000},$$

де $\Phi_{\text{св}}$ – світловий потік світильника.

$$C = \frac{6600}{1000} = 6,6.$$

Кут падіння світла на поверхню визначаємо за формулою:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{l}{h}\right),$$

де l – відстань між світильниками,м.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{15}{8}\right) = 48^\circ.$$

Тоді за кривою світла $I_\alpha=48^\circ=195\text{кд}$.

$$E_r = \frac{6,6 \cdot 195 \cdot \cos^3 48^\circ}{8^2} = 5,2 \text{лк}.$$

Освітленість згідно вимог ДБН В.2.5-28-2006 (вулиці, доріг, зовнішнього освітлення підприємств місцевого) - від 4 до 6 Лк .

Розрахунок показує, що світильники типу RVL-ST-LED-60W з світлодіодним лампами з номінальною потужністю 60 Вт і з світловим потоком 6600 лм забезпечують освітленість встановлену нормами.

Кількість світильників приймаємо відповідно до плану підприємства, що наведений на рисунку

Для розрахунку загальної встановленої потужності всіх світильників використовуємо наступну формулу:

$$P_y = P_{св} \cdot N, Вт;$$

де N-кількість ламп згідно плану рис.10.2 (N=10шт);

$P_{св}$ -потужність світильника, Вт.

$$P_y = 60 \cdot 10 = 600 Вт.$$

3.1 Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної мережі.

Вибір пуско-захисних пристроїв здійснюємо для груп світильників на основі інформації, наведеної в таблиці

Таблиця 3.2 - Розподіл освітлювальної електропроводки на групи

Тип щитка	Номер групи	Потужність світильника,кВт	Кількість світильників	Сумарна встановлена потужність,кВт
ЩО-4В	1	0,06	10	0,6

Розрахунок струмів для груп зі світлодіодними лампами в однофазних мережах здійснюємо за формулою:

$$I_{zp} = \frac{P_{zp} \cdot 10^3}{U_{\phi}},$$

де U_{ϕ} - фазна напруга групи, В;

P_{ep} - розрахункова потужність групи, кВт.

$$I_{ep} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{220} = 2,7 \text{ .}$$

Вибір типів освітлювальних щитків здійснюємо залежно від кількості груп: наприклад, ЩО-4В призначений для 4 груп. Номінальні струми автоматичних вимикачів підбираємо, враховуючи такі умови:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр},$$

$$4 \text{ А} > 2,7 \text{ А}$$

$$I_{у.е} \geq 1,4 \cdot I_{розр}$$

$$10 \text{ А} > 3,8 \text{ А}$$

Вибираємо автоматичний вимикач для групи 1 освітлювального щитка, серії АЕ1000 з $I_{ном.р} = 4,0 \text{ А}$, $I_{ном.а} = 10 \text{ А}$.

3.2. Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

У сільськогосподарських об'єктах зовнішнє освітлення виконують за допомогою ізольованих проводів, прокладених на опорах, які забезпечують живлення. Для підключення освітлювальних приладів вибираємо провід ВВП-3 2х1,5, що має допустимий струм $I_{доп} = 70 \text{ А}$.

Перевіряємо вибраний провід за умовою:

$$I_{доп} \geq I_{розр},$$

$$70 \text{ А} > 2,7 \text{ А}$$

Перевірка вибраного проводу за відповідною умовою показала, що він повністю відповідає вимогам.

Наступним кроком визначаємо втрату напруги для груп освітлювального щитка ЩО-4В.

$$\Delta U = \frac{Pl}{CF}, \quad (10.5)$$

де C – постійна для даного проводу з міді, $C = 6,8$;

F – поперечний переріз проводу, мм^2 ;

l – довжина групи, м.

$$\Delta U = \frac{0,6 \cdot 235}{6,8 \cdot 10} = 2,07\%.$$

Оскільки величина втрат напруги не перевищує допустимий поріг у 2,5%, вибраний провід залишається без змін.

Складання плану розміщення освітлювальної мережі.

Схема розташування освітлювальних проводок формується на базі обраної пуско-захисної апаратури, а також марок і перерізів проводів, із поділом всієї системи освітлення на окремі групи.

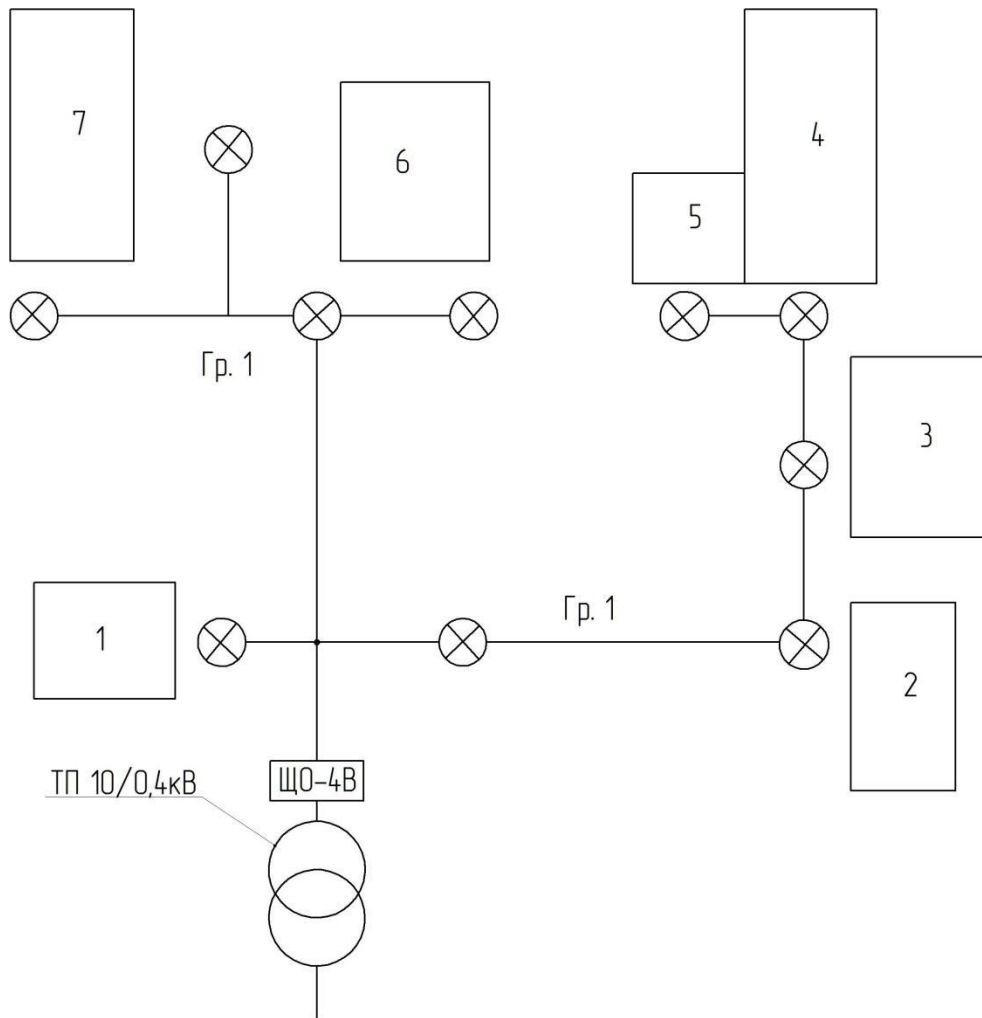


Рисунок 3.2 - План розміщення світильників на території підприємства.

1- офіс; 2- майстерня; 3- склад; 4- свинарник; 5- млин; 6- склад; 7- свинарник.

На плані показано типи освітлювальних щитків, нанесена нумерація груп і їх система, вказані типи автоматичних вимикачів разом із номінальними струмами їх розчіплювачів, зазначені довжини проводів для кожної групи та їх марки, а також наведена встановлена потужність груп, величини втрат напруги і найменування навантажень.

Схема розташування світильників на території підприємства наведена на рисунку 3.2.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Метою планування заходів з охорони праці є визначення необхідних вкладень у заходи з охорони праці для ефективного впливу на стан охорони праці.

Система планів з охорони праці окремого підприємства може включати:

- перспективне планування (на період, більший одного року) ;
- поточне планування (на рік) ;

оперативне планування (детальні плани, спрямовані на вирішення конкретних питань працезахоронної діяльності на підприємстві в короткостроковому, до одного року, періоді).

Планування в охороні праці може включати:

- визначення цілей діяльності з охорони праці на підприємстві та засобів їх досягнення;
- вибір методів і базових показників, за допомогою яких може здійснюватися оцінка необхідних вкладень в охорону праці;
- розрахунок суми вкладень у заходи з охорони праці та раціональний розподіл цієї суми за напрямками діяльності;
- забезпечення організації контролю виконання плану (при необхідності здійснення коригування запланованих показників) ;
- здійснення постійного контролю умов і безпеки праці на підприємстві та оперативне реагування на відхилення від нормативних вимог.

Перспективне планування вміщує найбільш важливі, трудомісткі і довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства. Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування.

До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до

нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору.

Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами.

Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та організації можуть складати на вимогу трудових колективів:

- план соціального розвитку колективу;
- наукової організації праці;
- механізації важких і ручних робіт;
- охорони праці жінок;
- підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період;
- підвищення культури виробництва та ін.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві в цілому.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ВСТАНОВЛЕННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Проведемо оцінку загальних капітальних витрат на будівництво електричної мережі та занесемо отримані дані до таблиці

Таблиця 5.1 - Капітальні витрати на спорудження мережі і системи
зовнішнього освітлення

Елемент мережі	Питомі капітальні витрати, грн	Кількість	Капітальні витрати на спорудження, грн
Підстанція 10/0,38 кВ (100)	65000	1 шт	65000
Лінія 10 кВ, 1 км	247000	5,2 км	1284400
Лінії 0,38 кВ, 1 км:			
з проводами 4·А-50	135000	0,195км	26325
Світильник	685	10шт	6850
Проводка освітлювальна ВВП 2·10	162000	0,235км	38070
Всього:			1420645

Витрати на електроенергію світильників визначаємо за формулою:

$$Q = \sum (P \cdot 10^{-3} \cdot K) \cdot S \cdot E, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де Р – потужність лампи (табл.10.1), Вт;

Е– ціна 1кВт/год. електроенергії (Е=4.8), грн.;

Ѕ- термін служби світильна (з табл. 10.1) становить 50000год.;

К- кількість світильників.

$$Q = 0.06 \cdot 10 \cdot 50000 \cdot 4.8 = 144000 \text{ грн}$$

Розрахуємо ціну придбання світильників які будуть використанні протягом 50000 годин:

$$C = \frac{\sum (K \cdot M) \cdot S}{T}, \text{ грн}; \quad (5.2)$$

де М – ціна за одиницю світильника (табл.5.1), грн.;

Т– тривалий термін служби (для LED світильників 50000) , год.

$$C = 10 \cdot 685 \cdot 50000 / 50000 = 6850 \text{ грн}$$

Капітальні витрати на спорудження мережі і системи зовнішнього освітлення 1420645 грн.

ВИСНОВОК

Під час реалізації кваліфікаційної роботи було визначено найбільш доцільне розташування трансформаторної підстанції. В якості трансформатора обрано модель КТП-100-10/0,4, яка повністю відповідає електротехнічним вимогам споживачів. Для повітряної лінії напругою 0,38 кВ використано алюмінієвий провід типу А-50, а для лінії 10 кВ – провід АС-25, що гарантує надійність та відповідність нормативам електромережі.

Було проведено розрахунок струмів однофазного та трифазного короткого замикання, на основі чого підібрано необхідне захисне обладнання: запобіжник ПКТ-10-10-31,5УЗ для захисту трансформатора, автоматичні вимикачі ВА-2005 М21 на стороні низької напруги, а також трансформатори струму типу ТПЛК-10 для організації струмової відсічки. Функцію максимального струмового захисту виконують реле непрямої дії РТ-40 у поєднанні з реле часу РВ-122.

Окрім цього, здійснено розрахунок капітальних витрат на будівництво ліній електропередачі 10 кВ та 0,38 кВ, а також витрат на спорудження зовнішньої освітлювальної мережі. Загальна сума капітальних інвестицій становить 1 420 645 грн. Також було визначено експлуатаційні, сервісні та амортизаційні витрати, а ще проведено розрахунок вартості електроенергії та закупівельних витрат на освітлювальні прилади.

Список джерел посилання

1. Алексеев Б.А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці / Електричні станції. 1996. №2.
2. Безруких П.П. Економічні проблеми нетрадиційної енергетики / Енергія: Екон., техн., екол. 1995. №8.
3. Богуславский Е.И., Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Умови ефективності і комплексного використання геотермальної сонячної і вітрової енергії // Міжнародний симпозіум "Паливно-енергетичні ресурси Росії й ін. країн СНД". Санкт-Петербург, 1995.
4. Дьяков А.Ф., Прокурорів Н.С., Перминов Е.М. Калмицька досвідчена вітрова електростанція / Електричні станції 1995. № 2.
5. Логинов В.Б. Новак Ю.И. Високоєфективні вітроенергетичні установки / Проблеми машинобудування й автоматизації. 1995. №1-8.
6. Селезньов И.С. Стан і перспективи робіт МКБ "Веселка" в області вітроенергетики / Конверсія в машинобудуванні. 1995. №5.
7. Соболев Я.Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.) / Енергія: Екон., техн. екол. 1995. №11.
8. Ципльонков П. С. Організація і планування електрифікації сільськогосподарського виробництва / П. С. Ципльонков. – К. : Вища школа 1980. – 544 с.
9. Романюк Ю. В. Електричні системи та мережі : навч. посіб. / Ю. В. Романюк. – Івано-Франківськ : Факел, 1997. – 248 с.
10. Саенко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання і нелінійним навантаженням / Ю. Л. Саенко// Автореф. дис. на здобуття наук, ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 - теоретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка», Львів, 2003.– 36 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007.– 488 с
12. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного

- транспорту постійною струму / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна, А. В. Петров // Гірнича електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2007. – С. 3-8.
13. Щербина О. Енергія для всіх : технічний довідник / О. Щербина – Ужгород, вид-во В. Падяка, 2000. – 200 с.
14. Якимець В. Т. Методичні рекомендації до дипломного проектування для студентів напрямку підготовки “Енергетика та електротехнічні системи в АПК” ОКР ”Бакалавр” / В. Т. Якимець, С. В. Сиротюк. – Львів: Львівський НАУ, 2009. – 40 с.
15. Добровольська Л. Н. Про стан автоматизації компенсувальних установок і перспективи їх оснащення пристроями нового технічного рівня / Л. Н. Добровольська, І. О. Віт, І. П. Сосенко // Промелектро : Пром. електроенергетика та електротехніка. – 2008. – № 4. – С. 26 – 30.