

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва


Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

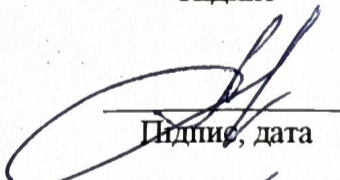
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-24-1


Підпис

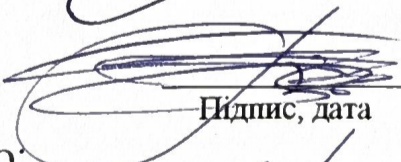
Тюрін І.Г.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

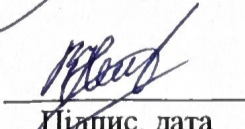
проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. О. Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н. доц. Неймак В.С.

В.С. Неймак 12 .2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Тюрін Ігор Григорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів

керівник роботи проф. Поліщук О.С.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики трансформаторних підстанцій та побутових споживачів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Аналіз систем електропостачання побутових споживачів та трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. 2. Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів. 3. Монтаж електромережі підключення трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до побутових споживачів. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Конструкції трансформаторних підстанцій. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Схеми підключення трансформаторних підстанцій. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Трансформатор ТМГ-100У1. Вид загальний (A1). Аркуш 4. Комплектна трансформаторна підстанція. Габаритне креслення (A1). Аркуш 5. Трансформаторна підстанція. Схеми електроживлення принципова (A1). Аркуш 6. Фундамент під трансформаторну підстанцію. Габаритне креслення (A1). Аркуш 7. Заземлення трансформаторної підстанції. Габаритне креслення (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз систем електропостачання побутових споживачів та трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ	до 28.10.25р.	
2. Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів	до 15.11.25р.	
3. Монтаж електромережі підключення трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до побутових споживачів	до 17.11.25р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.25р.	

Студент

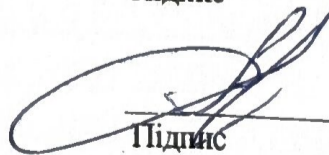


Підпис

І.Г. Тюрін

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

О.С. Поліщук

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові

Тюрін Ігор Григорович

2. Тема магістерської роботи Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 73

5. Сучасні системи електропостачання побутових споживачів працюють в умовах зростання навантажень, ускладнення структури споживання та підвищених вимог до надійності й якості електричної енергії. Застарілі або малопотужні трансформаторні підстанції часто не забезпечують достатньої пропускної здатності, стабільності напруги та резервування живлення, що особливо відчутно за нерівномірних добових і сезонних навантажень житлового сектору. У зв'язку з цим актуальним є розробка сучасної трансформаторної комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, яка поєднує резервування потужності, ефективні засоби комутації та захисту й відповідає чинним нормативним вимогам. Розробка такої підстанції є важливою науково-технічною задачею, спрямованою на підвищення надійності електропостачання та забезпечення нормативної якості електричної енергії для житлового сектору.

В магістерській роботі розроблено трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів. В першому розділі проведено аналіз систем електропостачання побутових споживачів та трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. В другому здійснено розробку трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів. В третьому розділі виконано монтаж електромережі підключення трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до побутових споживачів.

Підпис студента

" 10 " 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 5 від " 29 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 1А/100

Рекомендації ЕК Впровадження у виробництво

Особливі відмітки -

Технічний секретар

" 29 " 12 20 25 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Аналіз систем електропостачання побутових споживачів та трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ	
1.1 Загальна характеристика систем електропостачання побутових споживачів	8
1.2 Призначення, структура та класифікація трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ	11
1.3 Конструктивні та енергетичні характеристики силових трансформаторів 10/0,4 кВ	14
1.4 Електричне обладнання трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ та його функціональне призначення	17
1.5 Огляд існуючих конструкцій трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ	20
1.6 Схеми підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж	24
1.7 Нормативно-технічні вимоги до підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж	27
1.8 Висновки до першого розділу	29
2 Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів	31
2.1 Обґрунтування розробки трансформаторної підстанції	31
2.2 Вихідні дані для розробки трансформаторної підстанції	33
2.3 Вибір трансформаторів для трансформаторної підстанції	34
2.4 Розробка трансформаторної підстанції	37

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Гюрін			Розробка трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для енергозабезпечення побутових споживачів Пояснювальна записка	М	4	73
Перевір.		Поліщук				ХНУ гр.ЕТмз-24-1		
Н.контр. Затвер.		Неймак						

2.5	Розподільчі пристрої високої та низької напруг трансформаторної підстанції	39
2.6	Розробка принципової схеми електроживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції	42
2.7	Розробка фундаменту під комплектну трансформаторну підстанцію	45
2.8	Розробка системи заземлення комплектної трансформаторної підстанції	47
2.9	Висновки до другого розділу	50
3	Монтаж електромережі підключення трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до побутових споживачів	52
3.1	Розробка зовнішньої електромережі 10 кВ/0,4 кВ	52
3.2	Підбір кабелів заживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції	60
3.3	Вимоги щодо прокладання кабелів від трансформаторної підстанції до побутових споживачів	63
3.4	Висновки до третього розділу	66
	Висновки	
	Перелік джерел посилання	
	Додаток А	

ВСТУП

Сучасні системи електропостачання побутових споживачів характеризуються постійним зростанням навантажень, що зумовлено підвищенням рівня електрифікації житла, поширенням енергоємної побутової техніки, електричних систем опалення, кондиціонування та зарядної інфраструктури для електротранспорту [1-3]. У цих умовах особливого значення набуває надійне та нормативно обґрунтоване приєднання споживачів до розподільчих електричних мереж, ключовим елементом яких є трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ.

Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ відіграють визначальну роль у системах розподілу електричної енергії, оскільки забезпечують пониження напруги з рівня середньої напруги до рівня, придатного для живлення побутових електроприймачів, а також виконують функції розподілу, захисту та комутації електричної енергії. Разом з тим ефективність і надійність електропостачання значною мірою залежать не лише від конструктивних характеристик самої підстанції, а й від правильності вибору та реалізації схеми її підключення до розподільчих мереж.

У практиці електропостачання побутових споживачів дедалі частіше застосовуються типові комплектні трансформаторні підстанції заводського виготовлення, що дозволяє скоротити терміни впровадження об'єктів електропостачання та зменшити капітальні витрати. У зв'язку з цим актуальним є не розроблення нових конструкцій трансформаторних підстанцій, а технічно обґрунтоване приєднання готових підстанцій до мереж середньої напруги з урахуванням вимог нормативно-технічних документів, категорій надійності споживачів і умов експлуатації [1-4].

Суть даної магістерської роботи полягає у розробці та обґрунтуванні підключення готової трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до розподільчих електричних мереж з метою енергозабезпечення побутових споживачів.

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю забезпечення стабільного, безпечного та енергоефективного електропостачання житлового сектору в

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

умовах модернізації та розвитку розподільчих електричних мереж. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та впровадженні систем електропостачання побутових споживачів, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців у галузі електроенергетики.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

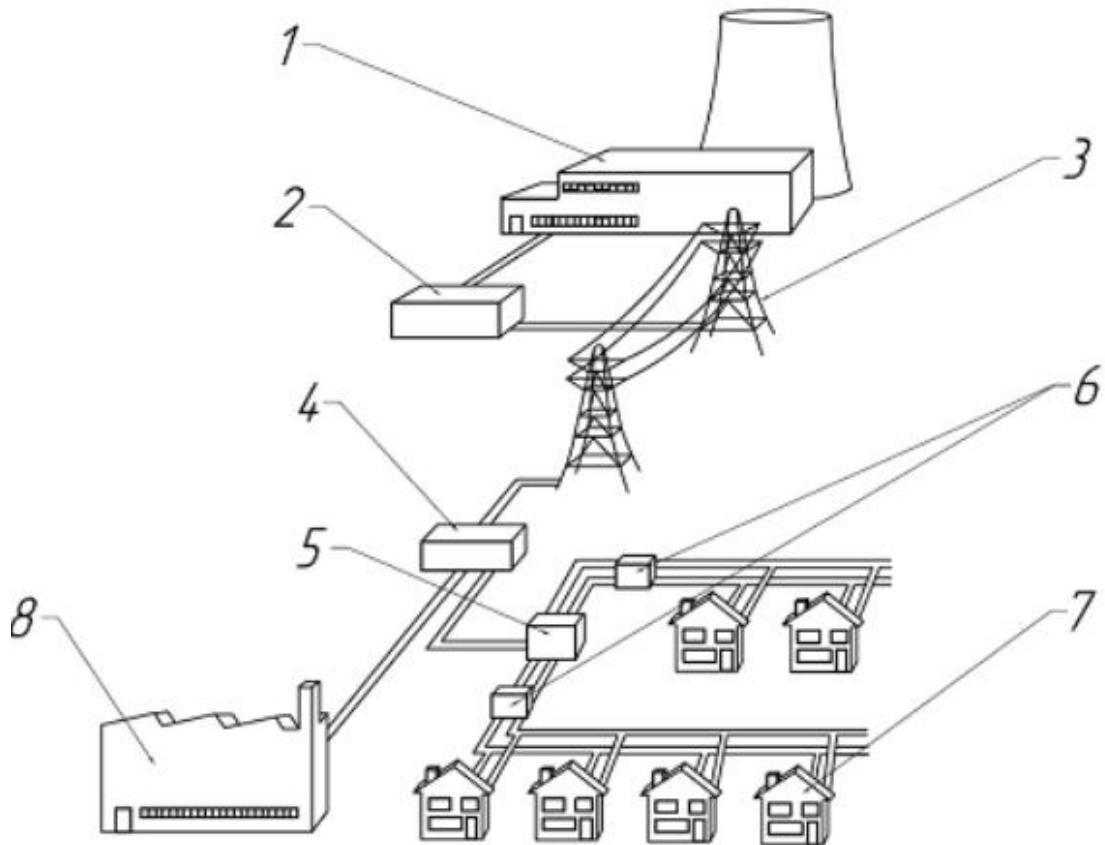
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ ТА ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ 10/0,4 кВ

1.1 Загальна характеристика систем електропостачання побутових споживачів

Системи електропостачання побутових споживачів є невід’ємною складовою електроенергетичної інфраструктури та призначені для передачі і розподілу електричної енергії від джерел живлення до кінцевих споживачів житлового сектору з дотриманням встановлених вимог надійності, безпеки та якості електроенергії [5, 6]. До побутових споживачів належать багатоквартирні житлові будинки, об’єкти індивідуальної забудови, гуртожитки, допоміжні комунально-побутові споруди, а також інженерні системи житлової інфраструктури. Електричні навантаження таких споживачів, як правило, характеризуються великою кількістю точок приєднання, відносно невеликою потужністю окремих електроприймачів та значною варіативністю режимів роботи.

Електропостачання побутових споживачів в Україні здійснюється переважно від розподільчих мереж середньої напруги 6–10 кВ із пониженням напруги до рівня 0,4 кВ у трансформаторних підстанціях. Така ієрархічна структура електричних мереж є технічно та економічно обґрунтованою, оскільки дозволяє мінімізувати втрати електричної енергії під час передавання на значні відстані та забезпечити допустимі значення напруги у точках підключення побутових споживачів. Типова схема електропостачання включає повітряні або кабельні лінії середньої напруги, трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ, а також низьковольтні розподільчі мережі, що безпосередньо живлять внутрішньобудинкові електромережі (рис. 1.1).

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1-теплова електростанція 11 кВ; 2-підвищувальний трансформатор; 3-лінія електропередач (ЛЕП); 4-понижувальний трансформатор 35 кВ; 5-понижувальний трансформатор 10 кВ; 6-понижувальний трансформатор 380/220 В; 7-споживач 220 В; 8-підприємство

Рисунок 1.1 – Схема електропостачання [7]:

Характерною особливістю електроспоживання житлового сектору є нерівномірність графіків навантаження протягом доби, тижня та року. Найбільші значення споживаної потужності, як правило, припадають на ранкові та вечірні години, що зумовлено одночасною роботою освітлення, побутових електроприладів, систем приготування їжі та кліматичної техніки. Сезонні коливання навантажень обумовлені використанням електроопалення, електричних водонагрівачів та додаткових обігрівальних пристроїв у холодний період року, а також кондиціонерів у літній період. Зазначені фактори призводять до зростання максимальних

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

9

навантажень та підвищують вимоги до пропускнуої здатності мереж і потужності трансформаторних підстанцій.

Сучасні тенденції розвитку побутового електроспоживання характеризуються поступовим зростанням питомих навантажень на одного споживача. Це пов'язано з підвищенням рівня електрифікації житла, активним впровадженням енергоємних побутових приладів, теплових насосів, електричних котлів, а також зарядних станцій для електромобілів. У результаті збільшується сумарна встановлена потужність споживачів, що вимагає перегляду підходів до проєктування систем електропостачання та підвищення їхньої гнучкості і резервування.

Важливою вимогою до систем електропостачання побутових споживачів є забезпечення належної якості електричної енергії. До основних показників якості належать відхилення напруги від номінального значення, частота, симетрія фаз та рівень гармонічних спотворень. Недотримання цих показників може призводити до погіршення роботи побутових електроприладів, зменшення їхнього ресурсу та підвищення аварійності. Вимоги до якості електричної енергії встановлені відповідними державними стандартами та нормативними документами. Посилання на конкретні стандарти на даному етапі не наведені та будуть уточнені в подальших підрозділах.

Системи електропостачання побутових споживачів також повинні відповідати підвищеним вимогам електробезпеки. Захист від ураження електричним струмом забезпечується застосуванням систем заземлення, захисного відключення, автоматичних вимикачів та інших апаратів захисту. Основні вимоги до побудови таких систем регламентуються Правилами улаштування електроустановок, які визначають допустимі схеми заземлення, умови захисту від коротких замикань і перевантажень, а також вимоги до вибору провідників і електрообладнання [8].

Окрему увагу під час аналізу систем електропостачання побутових споживачів слід приділяти енергоефективності. Значна частина втрат електроенергії припадає на розподільчі мережі низької напруги, що пов'язано з великими

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

струмами, протяжністю ліній та нераціональним вибором перерізів провідників. Зменшення втрат досягається шляхом оптимального розміщення трансформаторних підстанцій, скорочення довжини ліній 0,4 кВ, застосування сучасних силових трансформаторів з пониженими втратами та використання автоматизованих систем обліку і контролю електроспоживання.

Системи електропостачання побутових споживачів є складними технічними системами, що функціонують в умовах змінних навантажень і підвищених вимог до надійності, безпеки та якості електроенергії. Ключовим елементом таких систем виступають трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ, від технічних рішень яких значною мірою залежить ефективність електропостачання житлового сектору. Це обумовлює необхідність подальшого детального аналізу типів трансформаторних підстанцій, їхнього обладнання та нормативних вимог, що буде виконано в наступних підрозділах магістерської роботи.

1.2 Призначення, структура та класифікація трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ є ключовою ланкою розподільчих електричних мереж і призначені для пониження напруги електричної енергії з рівня середньої напруги до рівня низької напруги з подальшим розподілом її між побутовими споживачами [9]. Основною функцією таких підстанцій є забезпечення надійного, безпечного та економічно доцільного електропостачання житлових будинків і об'єктів комунально-побутового призначення з дотриманням установлених параметрів якості електричної енергії.

Призначення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ полягає не лише у трансформації напруги, але й у виконанні комплексу допоміжних функцій, до яких належать комутація електричних кіл, захист мереж і електрообладнання від аварійних режимів, забезпечення необхідного режиму заземлення нейтралі, а також створення умов для обліку та контролю електроспоживання. У межах

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

розподільчої мережі підстанції виступають вузловими елементами, що забезпечують розподіл електричної енергії між групами споживачів і впливають на показники надійності та енергоефективності всієї системи електропостачання.

Структурно трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ складається з електрообладнання сторони середньої напруги, силового трансформатора, електрообладнання сторони низької напруги, а також допоміжних систем і конструктивних елементів. До обладнання середньої напруги належать ввідні та відхідні комутаційні апарати, роз'єднувачі, вимикачі навантаження, запобіжники та пристрої захисту від перенапруг. Силевий трансформатор є основним елементом підстанції і забезпечує пониження напруги з 10 кВ до 0,4 кВ. На стороні низької напруги розміщуються розподільчі щити, автоматичні вимикачі, апарати захисту та комутації, а також пристрої обліку електричної енергії. Загальна структура трансформаторної підстанції визначається її типом, потужністю та умовами експлуатації (рис. 1.2).

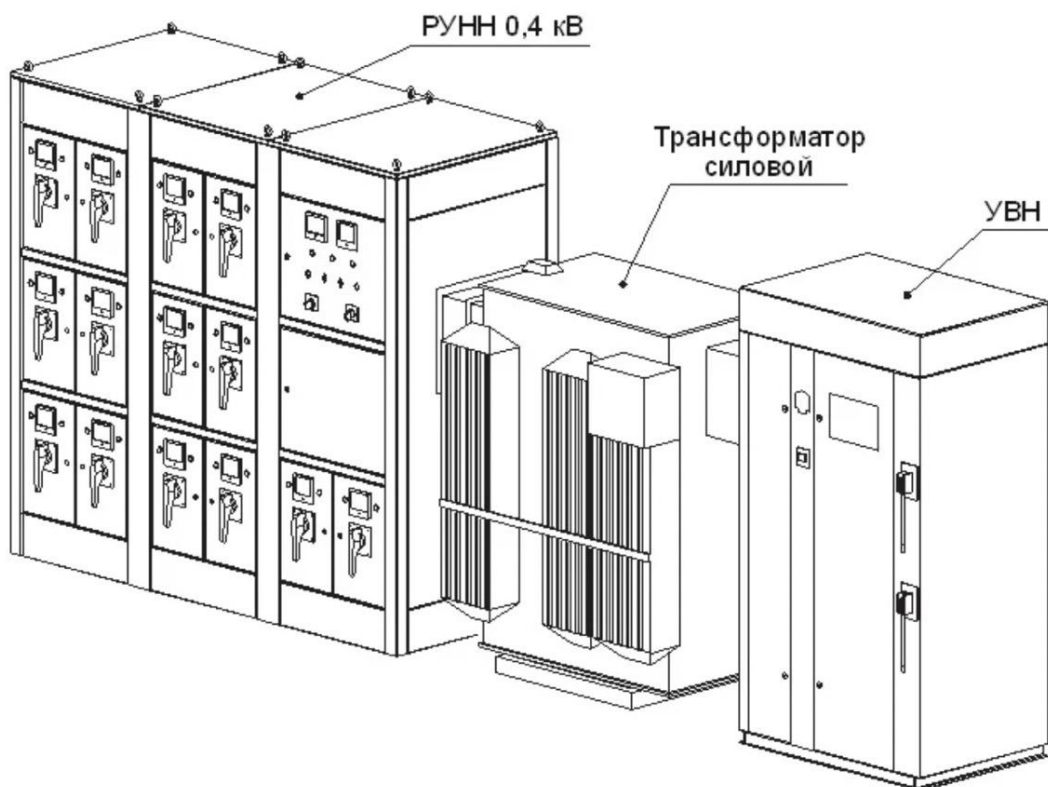


Рисунок 1.2 – Схема комплектної трансформаторної підстанції (КТП) [10]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
12

Залежно від конструктивного виконання та способу встановлення трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ поділяються на декілька основних типів. Найпростішими за конструкцією є щоглові трансформаторні підстанції, які встановлюються на опорах повітряних ліній електропередачі та застосовуються переважно для електропостачання сільських населених пунктів і об'єктів з відносно невеликими навантаженнями. Їхньою перевагою є простота монтажу та відносно низька вартість, однак вони мають обмежені можливості щодо захисту обладнання та експлуатації в умовах щільної забудови.

Для електропостачання житлових кварталів у міських умовах широко застосовуються комплектні трансформаторні підстанції кіоскового або блочного типу. Такі підстанції являють собою заводські вироби, у яких усе основне обладнання розміщується в металевому або залізобетонному корпусі. Комплектні підстанції характеризуються високим рівнем заводської готовності, скороченими термінами монтажу та підвищеною експлуатаційною надійністю. Крім того, вони забезпечують кращий рівень захисту персоналу та навколишнього середовища від впливу електричних і механічних факторів.

Окрему групу становлять внутрішньоцехові та вбудовані трансформаторні підстанції, які розміщуються безпосередньо в будівлях житлового або громадського призначення. Такі рішення застосовуються у випадках обмеженого простору або необхідності мінімізації довжини низьковольтних ліній. Проектування та експлуатація вбудованих підстанцій супроводжуються підвищеними вимогами до пожежної безпеки, вентиляції та шумових характеристик силових трансформаторів, що регламентується чинними будівельними та електротехнічними нормами.

За способом підключення до мережі середньої напруги трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ поділяються на тупикові, прохідні та вузлові. Тупикові підстанції живляться від однієї лінії та застосовуються для електропостачання обмеженої групи споживачів. Прокідні підстанції мають два і більше приєднань на стороні середньої напруги та дозволяють організувати кільцеві або резервовані схеми живлення, що підвищує надійність електропостачання. Вузлові підстанції

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

забезпечують розподіл електроенергії між кількома відхідними лініями та використовуються в районах з підвищеною щільністю навантажень.

Класифікація трансформаторних підстанцій також здійснюється за потужністю силових трансформаторів, яка для побутових споживачів, як правило, знаходиться в межах від 100 до 1000 кВА. Вибір потужності трансформатора визначається розрахунковими навантаженнями, перспективами розвитку електроспоживання та вимогами до резервування. Неправильний вибір потужності може призводити як до перевантаження та зниження ресурсу обладнання, так і до нераціональних капітальних витрат у разі надлишкової потужності.

Вимоги до конструкції, комплектації та експлуатації трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ регламентуються Правилами улаштування електроустановок, державними стандартами ДСТУ та будівельними нормами ДБН. Ці документи визначають допустимі схеми електричних з'єднань, вимоги до заземлення, захисту від коротких замикань і перенапруг, а також умови безпечної експлуатації обладнання [8, 11, 12].

Трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ є багатофункціональними об'єктами електроенергетичної системи, від конструктивних рішень і правильної класифікації яких значною мірою залежить ефективність та надійність електропостачання побутових споживачів. Розуміння їх призначення, структури та різновидів є необхідною передумовою для обґрунтованого вибору типу підстанції та її основних параметрів у межах даної магістерської роботи.

1.3 Конструктивні та енергетичні характеристики силових трансформаторів 10/0,4 кВ

Силові трансформатори напругою 10/0,4 кВ є основним елементом трансформаторних підстанцій, призначеним для пониження напруги електричної енергії з рівня середньої напруги до рівня низької напруги з одночасним забезпеченням необхідної потужності та якості електропостачання побутових споживачів.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Від конструктивних і енергетичних характеристик трансформатора значною мірою залежать надійність роботи підстанції, рівень втрат електричної енергії, економічність експлуатації та довговічність обладнання [13].

За конструктивним виконанням силові трансформатори 10/0,4 кВ поділяються на масляні та сухі. Масляні трансформатори є найбільш поширеними в розподільчих мережах завдяки високій перевантажувальній здатності, ефективному охолодженню та відносно невисокій вартості (рис.1.3). Вони складаються з магнітопроводу, обмоток високої та низької напруги, бака з трансформаторним маслом, системи охолодження та вводів. Трансформаторне масло виконує функції електричної ізоляції та відведення тепла від активної частини трансформатора. Сухі трансформатори, у яких ізоляція обмоток виконана на основі твердих діелектричних матеріалів, застосовуються переважно у вбудованих або внутрішніх підстанціях, де висувуються підвищені вимоги до пожежної безпеки та екологічності [14-17].



Рисунок 1.3 - Трансформатори силові трифазні масляні [18]

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Магнітопровід силових трансформаторів 10/0,4 кВ виготовляється з холоднокатаної електротехнічної сталі з орієнтованою зернистою структурою, що дозволяє зменшити втрати на перемагнічування та підвищити коефіцієнт корисної дії. Конструкція магнітопроводу, як правило, стрижнева або броньова, причому стрижнева схема є більш поширеною для розподільчих трансформаторів. Обмотки трансформатора виконуються з мідних або алюмінієвих провідників і розміщуються концентрично навколо стрижнів магнітопроводу. Вибір матеріалу обмоток впливає на масу трансформатора, його вартість та електричні втрати.

До основних номінальних параметрів силових трансформаторів 10/0,4 кВ належать номінальна потужність, номінальні напруги обмоток, струми, частота та схема з'єднання обмоток [14]. Для побутових споживачів найбільш поширеними є трансформатори номінальною потужністю 100, 160, 250, 400, 630 та 1000 кВА. Номінальна напруга вищої обмотки, як правило, становить 10 кВ, а нижчої - 0,4 кВ при частоті 50 Гц. Схема з'єднання обмоток зазвичай виконується за схемою Δ/Y_n або Y/Y_n , що забезпечує наявність виведеної нейтралі на стороні низької напруги та можливість заземлення нейтральної точки.

Енергетичні характеристики силових трансформаторів визначаються величинами втрат холостого ходу та втрат короткого замикання, які безпосередньо впливають на енергоефективність системи електропостачання. Втрати холостого ходу виникають у магнітопроводі трансформатора та практично не залежать від навантаження, тоді як втрати короткого замикання обумовлені нагріванням обмоток і зростають пропорційно квадрату струму навантаження. Сумарні втрати трансформатора визначаються його режимом роботи та ступенем завантаження, тому під час проєктування підстанції важливо забезпечити оптимальне співвідношення між номінальною потужністю трансформатора та розрахунковим навантаженням.

Важливим показником енергетичної ефективності силових трансформаторів є коефіцієнт корисної дії, який для сучасних трансформаторів 10/0,4 кВ досягає значень 98–99 % у номінальному режимі. Підвищення ККД досягається за рахунок застосування сучасних матеріалів магнітопроводів, удосконалення

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

конструкції обмоток та зменшення додаткових втрат. Нормативні вимоги до рівня втрат силових трансформаторів регламентуються чинними державними стандартами, зокрема ДСТУ, що встановлюють допустимі значення втрат холостого ходу та короткого замикання для трансформаторів відповідних класів напруги і потужності.

Окрему увагу під час аналізу силових трансформаторів 10/0,4 кВ слід приділяти їхнім тепловим режимам та умовам охолодження. Для масляних трансформаторів найпоширенішим є природне масляно-повітряне охолодження, яке забезпечує достатнє відведення тепла за нормальних умов експлуатації. Для сухих трансформаторів застосовується природне або примусове повітряне охолодження. Недотримання допустимих температурних режимів призводить до прискореного старіння ізоляції та зниження ресурсу трансформатора.

Таким чином, конструктивні та енергетичні характеристики силових трансформаторів 10/0,4 кВ мають вирішальне значення для забезпечення надійної та енергоефективної роботи трансформаторних підстанцій. Обґрунтований вибір типу трансформатора, його потужності та основних параметрів дозволяє знизити втрати електричної енергії, підвищити якість електропостачання та забезпечити довготривалу експлуатацію обладнання, що є важливим завданням у межах проектування трансформаторної підстанції для побутових споживачів.

1.4 Електричне обладнання трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ та його функціональне призначення

Електричне обладнання трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ являє собою сукупність технічних засобів, призначених для приймання, перетворення, розподілу та захисту електричної енергії у процесі її передачі від мережі середньої напруги до побутових споживачів ((рис.1.4). Склад і конфігурація цього обладнання визначаються типом підстанції, її потужністю, схемою електропостачання та умовами експлуатації, а також регламентуються чинними нормативними

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

документами, зокрема Правилами улаштування електроустановок та державними стандартами.



Рисунок 1.4 - Комплектна трансформаторна підстанція для міських мереж КТП 25-1000/10(6)/0,4 [19]

На стороні середньої напруги 10 кВ до складу електричного обладнання входять ввідні та відхідні комутаційні апарати, призначені для підключення трансформаторної підстанції до розподільчої мережі. До таких апаратів належать роз'єднувачі, вимикачі навантаження, запобіжники та, у разі застосування більш складних схем, вакуумні або елегазові вимикачі. Основним функціональним призначенням обладнання сторони 10 кВ є забезпечення можливості безпечного ввімкнення та вимкнення підстанції, локалізація аварійних режимів, а також захист силового трансформатора та ліній від струмів короткого замикання і перенапруг.

Важливим елементом сторони середньої напруги є пристрої захисту від атмосферних та комутаційних перенапруг, до яких належать обмежувачі перенапруг та розрядники. Вони забезпечують захист ізоляції трансформатора та іншого обладнання від імпульсних перенапруг, що виникають унаслідок грозових розрядів

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

або комутаційних процесів у мережі. Наявність таких пристроїв є обов'язковою умовою надійної роботи трансформаторних підстанцій у розподільчих мережах.

На стороні низької напруги 0,4 кВ основним елементом електричного обладнання є низьковольтні розподільчі пристрої, які призначені для розподілу електричної енергії між окремими групами побутових споживачів. До їх складу входять шинні системи, автоматичні вимикачі, рубильники, плавкі запобіжники, а також апарати захисту від перевантажень і коротких замикань. Функціональне призначення цього обладнання полягає у забезпеченні селективного захисту відхідних ліній, локалізації аварійних ділянок та підтриманні заданих режимів роботи електричної мережі.

Особливе значення у трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ мають системи заземлення та занулення, які забезпечують захист людей і обладнання від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції. Заземлювальні пристрої підстанції включають заземлювачі, заземлювальні провідники та шини, до яких приєднуються корпуси електрообладнання, нейтраль трансформатора та інші металеві частини. Схема заземлення визначається типом системи електропостачання низької напруги та вимогами нормативних документів.

До допоміжного електричного обладнання трансформаторних підстанцій належать пристрої обліку електричної енергії, контрольно-вимірювальні прилади, а також елементи сигналізації та автоматики. Лічильники електроенергії встановлюються для контролю споживання та комерційного обліку, а вимірювальні трансформатори струму і напруги забезпечують коректну роботу захисних і вимірювальних пристроїв. У сучасних підстанціях дедалі ширше застосовуються елементи автоматизації та дистанційного моніторингу, які дозволяють підвищити оперативність керування та надійність електропостачання.

Компоновка електричного обладнання трансформаторної підстанції повинна забезпечувати зручність експлуатації, можливість безпечного обслуговування та ремонту, а також мінімізацію ризику помилкових дій персоналу. Вимоги до розміщення обладнання, відстаней між струмовідними частинами та

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

організації робочих зон визначаються нормативними документами та враховуються на етапі проєктування підстанції.

Таким чином, електричне обладнання трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ виконує комплекс взаємопов'язаних функцій, спрямованих на забезпечення надійної трансформації, розподілу та захисту електричної енергії. Раціональний вибір і правильна компоновка цього обладнання є необхідною умовою ефективної та безпечної роботи трансформаторної підстанції, що має вирішальне значення для стабільного енергозабезпечення побутових споживачів.

1.5 Огляд існуючих конструкцій трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ

У сучасних розподільчих електричних мережах застосовується широкий спектр конструктивних виконань трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, що зумовлено різноманітністю умов експлуатації, щільністю забудови, величиною електричних навантажень та вимогами до надійності електропостачання. Існуючі конструкції трансформаторних підстанцій розроблялися з урахуванням економічної доцільності, зручності монтажу та обслуговування, а також відповідності нормативно-технічним вимогам.

Найпростішими за конструкцією є щоглові трансформаторні підстанції, які встановлюються безпосередньо на опорах повітряних ліній електропередачі (рис.1.5).

Такі підстанції, як правило, оснащуються одним силовим трансформатором потужністю до 250–400 кВА, апаратурою захисту та комутації на стороні 10 кВ і розподільчим щитом 0,4 кВ. Основними перевагами щоглових підстанцій є відносно низька вартість, простота монтажу та мінімальні вимоги до будівельних робіт. Водночас вони мають обмежені можливості щодо захисту обладнання від зовнішніх впливів і застосовуються переважно в сільській місцевості або районах з невеликою щільністю навантажень.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 - Щоглова комплектна трансформаторна підстанція КТПМ-100/10/0,4 У1 з масляним трансформатором [20]

Більш поширеними в умовах міської забудови є кіоскові комплектні трансформаторні підстанції, які виготовляються у вигляді металевих або залізобетонних корпусів заводського виготовлення (рис.1.6).



Рисунок 1.6 - Комплектна трансформаторна підстанція 160/10/0,4, У1 тупикова кіоскового типу [21]

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

підстанції, які розміщуються всередині будівель житлового або громадського призначення (рис.1.8, 1.9).



Рисунок 1.8 – Вбудована в будівлю трансформаторна підстанція [23]

Такі підстанції, як правило, оснащуються сухими силовими трансформаторами або масляними трансформаторами з додатковими заходами пожежного захисту. Проектування вбудованих підстанцій потребує особливої уваги до питань вентиляції, відведення тепла, шуму та вібрацій, що істотно впливає на конструктивні рішення.

Останніми роками все більшого поширення набувають контейнерні трансформаторні підстанції, які виконуються у вигляді металевих контейнерів з високим ступенем заводської готовності. Такі підстанції характеризуються швидкістю монтажу, можливістю тимчасового або мобільного використання та високим рівнем уніфікації обладнання. Контейнерні підстанції часто застосовуються для електропостачання нових житлових масивів на початкових етапах забудови або як резервні джерела живлення.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9 – Внутрішньо-цехова трансформаторна підстанція [24]

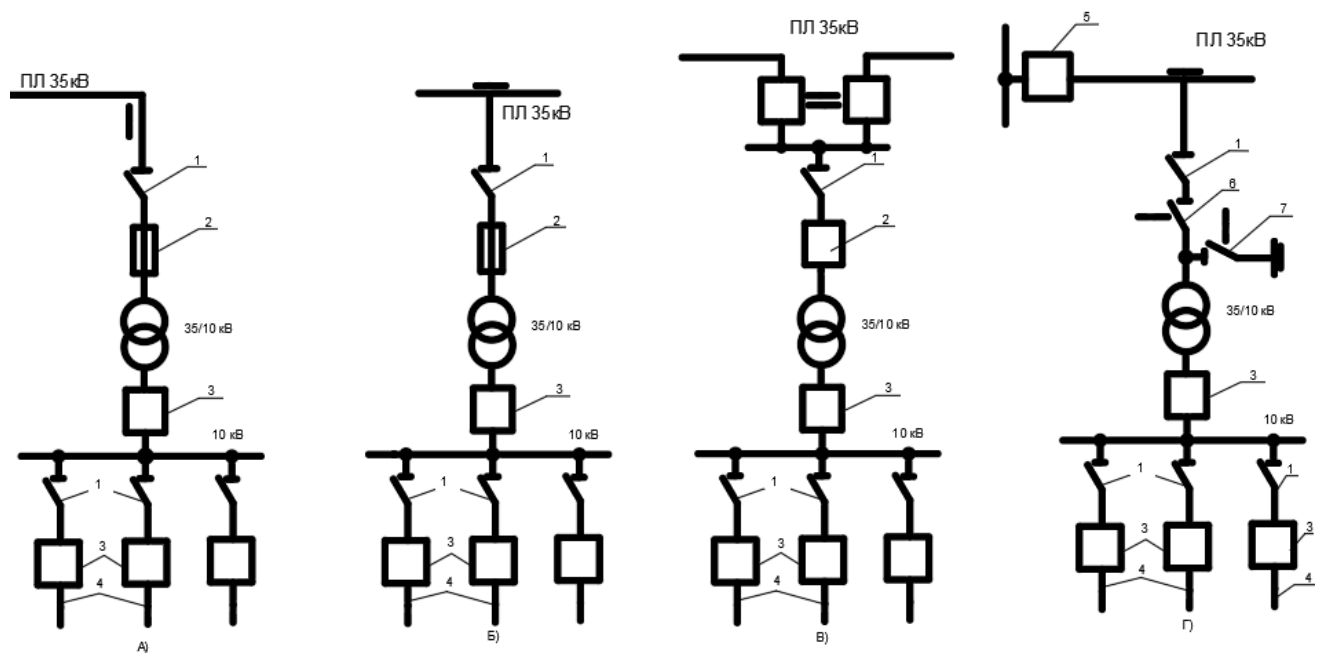
Існуючі конструкції трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ відрізняються за способом встановлення, рівнем заводської готовності, ступенем захисту обладнання та сферою застосування. Аналіз цих конструкцій дозволяє обґрунтовано обрати тип підстанції, який найбільш повно відповідає умовам електропостачання побутових споживачів, вимогам нормативних документів і техніко-економічним показникам, що є важливою передумовою подальшого проектування в межах даної магістерської роботи.

1.6 Схеми підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж

Схеми підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж визначають порядок приєднання підстанції до мережі середньої напруги та суттєво впливають на надійність електропостачання, можливість локалізації аварій, умови експлуатації й обсяг комутаційного обладнання. Вибір

конкретної схеми здійснюється з урахуванням категорії надійності споживачів, конфігурації мережі, протяжності повітряних ліній 10 кВ та вимог нормативно-технічних документів.

На рисунку 1.10 наведені найбільш поширені схеми підключення трансформаторних підстанцій до розподільчих мереж, які застосовуються в практиці електропостачання [25]. Схеми відрізняються складом комутаційних апаратів та рівнем експлуатаційної гнучкості.



а - тупікова; б - відгалужувальна; в - прохідна; г - з короткозамикачем та віддільником; 1 - роз'єднувач; 2 – плавкий запобіжник; 3 - сливовий вимикач; 4 - повітряні лінії 10 кВ; 5 — головний сливовий вимикач; 6 - віддільник; 7 - короткозамикач.

Рисунок 1.10 - Схеми підключення трансформаторних підстанцій [25]:

Тупікова схема підключення (рис. 1.10, а) є найпростішою з точки зору конструктивного виконання. Живлення трансформаторної підстанції здійснюється від однієї повітряної лінії 35 або 10 кВ через роз'єднувач 1 і плавкий

запобіжник 2, після чого електроенергія подається на силовий трансформатор і далі розподіляється по повітряних лініях 10 кВ 4 через сливові вимикачі 3. Основною перевагою тупікової схеми є мінімальна вартість і простота експлуатації, однак її суттєвим недоліком є відсутність резервування, що призводить до повного знеструмлення споживачів у разі пошкодження живильної лінії.

Відгалужувальна схема підключення (рис. 1.10, б) застосовується у випадках, коли трансформаторна підстанція приєднується до магістральної лінії через відгалуження. За цією схемою підстанція також живиться від одного джерела, але її відключення або ремонт не потребують знеструмлення всієї магістралі. Захист і комутація виконуються за допомогою роз'єднувачів 1, плавких запобіжників 2 та сливових вимикачів 3. Відгалужувальна схема є поширеною у розгалужених сільських та приміських мережах.

Прохідна схема підключення (рис. 1.10, в) характеризується тим, що трансформаторна підстанція включається безпосередньо в лінію середньої напруги та має два напрямки живлення. У нормальному режимі живлення здійснюється з одного боку, а в аварійному або ремонтному режимі можливе оперативне переключення на інший напрямок. Комутація здійснюється за допомогою головного сливового вимикача 5 та сливових вимикачів 3 на стороні 10 кВ. Така схема значно підвищує надійність електропостачання і широко застосовується в міських розподільчих мережах.

Схема з короткозамикачем та віддільником (рис. 1.10, г) використовується для підвищення селективності захисту та швидкої локалізації аварій у мережі. У цій схемі, крім стандартних комутаційних апаратів, застосовуються віддільник 6 та короткозамикач 7, які забезпечують штучне створення короткого замикання для надійного спрацювання захисту живильної лінії. Після відключення лінії пошкоджена ділянка ізолюється, що дозволяє відновити живлення інших підстанцій. Така схема є більш складною, але ефективною з точки зору експлуатаційної надійності.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Схеми підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, наведені на рисунку 1.10, відрізняються за рівнем надійності, складністю реалізації та сферою застосування. Обґрунтований вибір схеми підключення дозволяє забезпечити оптимальне поєднання економічності, безпеки та безперервності електропостачання побутових споживачів, що має принципове значення при проектуванні трансформаторних підстанцій у розподільчих мережах.

1.7 Нормативно-технічні вимоги до підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж

Підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж повинно здійснюватися з обов'язковим дотриманням нормативно-технічних вимог, які регламентують електробезпеку, надійність електропостачання, селективність захистів і допустимі режими роботи електрообладнання. Зазначені вимоги визначаються комплексом нормативних документів, до яких належать Правила улаштування електроустановок, державні стандарти України та чинні будівельні норми, і є обов'язковими на всіх етапах проектування, монтажу та експлуатації трансформаторних підстанцій.

Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок, схема підключення трансформаторної підстанції до мережі середньої напруги повинна забезпечувати можливість безпечного відключення підстанції, локалізації аварійних режимів і проведення ремонтних робіт без порушення електропостачання інших споживачів, якщо це передбачено категорією надійності [8]. Нормується застосування роз'єднувачів, вимикачів навантаження, запобіжників, віддільників і короткозамикачів залежно від типу схеми підключення та класу напруги. Особлива увага приділяється забезпеченню видимого розриву кола та можливості заземлення відключених ділянок.

Нормативно-технічні вимоги також встановлюють умови вибору схеми підключення трансформаторної підстанції залежно від категорії

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електроприймачів за надійністю електропостачання. Для споживачів III категорії допускається застосування тупикових і відгалужувальних схем, тоді як для споживачів II категорії перевага надається прохідним або кільцевим схемам з можливістю оперативного резервування. Для електроприймачів I категорії обов'язковим є підключення трансформаторних підстанцій до двох незалежних джерел живлення або використання схем із автоматичним введенням резерву.

Важливим аспектом нормативних вимог є узгодження схем підключення з пристроями релейного захисту та автоматики. Захист трансформаторної підстанції повинен бути селективним, чутливим і швидкодіючим, що досягається правильним вибором апаратів захисту та їх параметрів. У схемах з короткозамикачами та віддільниками нормативами передбачається забезпечення гарантованого спрацювання захистів живильної лінії з подальшою ізоляцією пошкодженої ділянки мережі.

Окремо регламентуються вимоги до приєднання трансформаторної підстанції до повітряних або кабельних ліній 10 кВ, зокрема допустимі відстані між струмовідними частинами, висота підвісу проводів, умови перетину з інженерними комунікаціями та забудовою. Ці вимоги встановлюються з урахуванням електробезпеки, механічної міцності ліній і надійності їх роботи в різних кліматичних умовах. Також нормується виконання заземлення опор, металоконструкцій та електрообладнання, пов'язаного зі схемою підключення підстанції.

Нормативно-технічні вимоги до підключення трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ до розподільчих мереж формують систему обов'язкових правил, спрямованих на забезпечення безпечної, надійної та керованої роботи електричних мереж. Урахування цих вимог при виборі та реалізації схем підключення є необхідною умовою технічно обґрунтованого проєктування трансформаторних підстанцій і забезпечує відповідність розроблюваних рішень чинним стандартам і практиці експлуатації електроенергетичних систем.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.8 Висновки до першого розділу

У першому розділі встановлено, що системи електропостачання побутових споживачів є багаторівневими технічними системами, у яких передача електроенергії здійснюється мережами 6–10 кВ із подальшим пониженням напруги до 0,4 кВ у трансформаторних підстанціях, що забезпечує технічно та економічно обґрунтовані режими роботи.

Показано, що характерними особливостями побутових навантажень є їх добова та сезонна нерівномірність, а також тенденція до зростання питомого електроспоживання, що підвищує вимоги до пропускну здатності мереж, потужності підстанцій, якості електроенергії та рівня резервування.

Визначено призначення, структуру та класифікацію трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, які, окрім трансформації напруги, забезпечують комутацію, захист, організацію режиму нейтралі та умови для обліку електроенергії, при цьому їх склад формують апарати сторони 10 кВ, силовий трансформатор і розподільчі пристрої 0,4 кВ.

Проаналізовано конструктивні та енергетичні характеристики силових трансформаторів 10/0,4 кВ, зокрема відмінності масляного та сухого виконання, основні номінальні параметри, а також вплив втрат холостого ходу і короткого замикання на енергоефективність і вибір оптимального рівня завантаження трансформатора.

Узагальнено склад і функціональне призначення електричного обладнання підстанцій, яке забезпечує комутацію, селективний захист, захист від перенапруг, заземлення, а також облік і контроль параметрів режиму електропостачання.

Виконано огляд існуючих конструкцій трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ та встановлено, що вибір виконання (щоглове, кіоскове, блочне, вбудоване/внутрішнє, контейнерне) визначається умовами забудови, рівнем заводської готовності, вимогами до безпеки та експлуатаційної зручності.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розглянуто схеми підключення трансформаторних підстанцій до розподільчих мереж (тупикова, відгалужувальна, прохідна, з короткозамикачем та віддільником) і показано, що вони відрізняються складом комутаційних апаратів, надійністю та можливостями локалізації аварій, а вибір схеми визначається умовами мережі та вимогами до безперервності електропостачання.

Встановлено, що підключення трансформаторних підстанцій повинно виконуватися з дотриманням нормативно-технічних вимог щодо електробезпеки, селективності захисту, допустимих режимів роботи обладнання та правил приєднання до повітряних і кабельних ліній, що формує основу для подальшого обґрунтування рішення з приєднання готової підстанції 10/0,4 кВ у наступних розділах роботи.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 10/0,4 кВ ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

2.1 Обґрунтування розробки трансформаторної підстанції

Обґрунтування необхідності розробки трансформаторної підстанції визначається потребою забезпечення побутових споживачів житлового сектору надійним та якісним електропостачанням у умовах зростання електричних навантажень, підвищених вимог до безперервності живлення та дотримання нормативних показників якості електричної енергії. Оскільки живлення споживачів здійснюється від розподільчих мереж середньої напруги 10 кВ, для підключення житлових навантажень необхідне пониження напруги до рівня 0,4 кВ та організація подальшого розподілу електроенергії між трифазними і однофазними електроприймачами, що обумовлює доцільність застосування трансформаторної підстанції класу напруги 10/0,4 кВ.

Важливим чинником обґрунтування є вимога забезпечення нормативних параметрів режиму роботи мережі 0,4 кВ, зокрема допустимих відхилень напруги та стабільності електропостачання в періоди пікових навантажень. Для житлового сектору характерні нерівномірні графіки споживання та значна кількість точок приєднання, що підвищує роль правильного вибору структури підстанції, схеми живлення та технічних рішень щодо комутації, захисту й експлуатаційної безпеки. Саме тому проєктні рішення мають передбачати достатню пропускну здатність, технологічну адаптивність і можливість локалізації аварій без повного знеструмування об'єкта.

З урахуванням підвищених вимог до надійності електропостачання побутових споживачів обґрунтованим є виконання підстанції як двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції (КТП) з резервуванням потужності. Установлення двох однакових трансформаторів забезпечує роботу підстанції у нормальному режимі з розподілом навантаження та дозволяє зберегти

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електропостачання споживачів у післяаварійному режимі у випадку відключення одного агрегату. Такий підхід підвищує безперервність живлення, зменшує ризик масових відключень і забезпечує можливість виконання ремонтних або профілактичних робіт з мінімальним впливом на споживачів.

Технічне обґрунтування вибору трансформаторного обладнання пов'язане з необхідністю трансформації 10/0,4 кВ при частоті 50 Гц та організації мережі 0,4 кВ з наявністю нейтралі для живлення однофазних електроприймачів. Прийнята схема з'єднання обмоток Y/Yn-0 для трансформаторів типу ТМГ-1000 У1 забезпечує виведену нейтраль на стороні низької напруги, що є необхідною умовою для коректної роботи системи електропостачання житлового сектору та реалізації вимог електробезпеки, зокрема щодо заземлення нейтралі та роботи захисних пристроїв. Наявність регулювання напруги на стороні високих напруг (ВН) у межах відгалужень дозволяє компенсувати відхилення напруги в мережі 10 кВ та підтримувати допустимі значення напруги на стороні 0,4 кВ, що безпосередньо впливає на якість електропостачання побутових споживачів.

Додатково актуальність і доцільність розробки підстанції визначається необхідністю забезпечення відповідності рішення чинним нормативним документам та вимогам експлуатаційної безпеки. Проєктування повинно враховувати вимоги ПУЕ, будівельних норм і правил, а також технічної документації на електрообладнання, включаючи вимоги до прокладання кабельних ліній 10 кВ і 0,4 кВ, організації захистів, забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки, зручності обслуговування та надійності конструктивного виконання. Саме комплексне врахування цих факторів обумовлює необхідність розробки проєктних рішень для КТП трансформаторної підстанції як технічно узгодженого вузла приймання, трансформації та розподілу електричної енергії для житлового сектору.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Вихідні дані для розробки трансформаторної підстанції

Вихідні дані для розробки трансформаторної підстанції визначені з урахуванням призначення об'єкта, умов експлуатації та вимог до електропостачання побутових споживачів. Проектована трансформаторна підстанція призначена для приймання електричної енергії від розподільчої мережі напругою 10 кВ, її трансформації до рівня 0,4 кВ та подальшого розподілу між споживачами житлового сектору.

Електропостачання підстанції повинно здійснюватися від мережі середньої напруги 10 кВ змінного струму частотою 50 Гц. Сторона низької напруги 0,4 кВ призначена для живлення трифазних і однофазних побутових електроприймачів. Система електропостачання повинна забезпечувати:

- нормативні показники якості електричної енергії,
- допустимі відхилення напруги;
- надійну та безперебійну роботу в нормальних і післяаварійних режимах.

Підстанція повинна бути виконана як двотрансформаторна комплектна трансформаторна підстанція (КТП) з резервуванням потужності, що обумовлено підвищеними вимогами до надійності електропостачання побутових споживачів. Умови експлуатації мають відповідати помірного клімату, що зумовлює застосування обладнання у кліматичному виконанні У1 з можливістю встановлення на відкритому повітрі.

Проектні рішення повинні прийматися з урахуванням вимог чинних нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок, будівельних норм і правил, а також технічної документації на застосоване електрообладнання. При розробці підстанції слід врахувати умови прокладання кабельних ліній 10 кВ і 0,4 кВ, вимоги до заземлення, електробезпеки, пожежної безпеки та експлуатаційної зручності.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір трансформаторів для трансформаторної підстанції

Вибір силових трансформаторів для трансформаторної підстанції здійснюється з урахуванням розрахункового навантаження побутових споживачів, рівня напруги розподільчих мереж, вимог до надійності електропостачання та прийнятої схеми підстанції. Оскільки проєктована підстанція призначена для енергозабезпечення житлового сектору та має підвищені вимоги до безперервності живлення, у її складі передбачено встановлення двох однакових силових трансформаторів, що дозволяє реалізувати резервування навантаження та забезпечити роботу підстанції у разі відключення одного з агрегатів.

Для даної трансформаторної підстанції обрано трифазні масляні герметичні трансформатори типу ТМГ-1000 У1 з номінальною потужністю 1000 кВА кожний, призначені для роботи в мережах 10/0,4 кВ при частоті 50 Гц [27]. Застосування двох трансформаторів такої потужності забезпечує можливість рівномірного розподілу навантаження між ними в нормальному режимі роботи, а також покриття значної частини навантаження підстанції у післяаварійному режимі при відключенні одного трансформатора.

Загальні відомості про обраний трансформатор наведені в таблиці 2.1, де подано його тип, номінальну потужність, частоту та схему і групу з'єднання обмоток.

Таблиця 2.1 - Загальні відомості про виріб [27]

Тип	Потужність, кВА	Частота, Гц	Схема і група з'єднання
ТМГ	1000	50	У/Е-0

Для трансформатора прийнята схема з'єднання У/У_н-0, яка забезпечує наявність виведеної нейтралі на стороні низької напруги 0,4 кВ. Це є необхідною

умовою для живлення однофазних побутових електроприймачів та організації системи заземлення нейтралі відповідно до вимог ПУЕ.

Основні технічні дані трансформатора ТМГ-1000 У1 10/0,4 У/Ун-0 наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Основні технічні дані трансформатора ТМГ-1000 У1 10/0,4 У/Ун-0 [27]

Сторона високої напруги (ВН)			Сторона низької напруги (НН)	
Положення перемикача	Напруга, кВ	Струм, А	Напруга, В	Струм, А
1	10,50			
2	10, 25			
3	10,00	57,74	400	1443,4
4	9,75			
5	9,50			

У таблиці подано номінальні значення напруг і струмів на стороні високої напруги (ВН) та низької напруги (НН) для різних положень перемикача відгалужень обмотки ВН. Номінальний режим відповідає положенню перемикача з напругою 10,0 кВ на стороні ВН, при якому струм на стороні високої напруги становить 57,74 А, а на стороні низької напруги при напрузі 400 В - 1443,4 А. Наявність регулювання напруги на стороні ВН дозволяє компенсувати відхилення напруги в мережі 10 кВ і підтримувати допустимий рівень напруги у мережі 0,4 кВ.

Кліматичне виконання трансформатора У1 передбачає його експлуатацію в умовах помірного клімату при встановленні на відкритому повітрі або в неопалюваних приміщеннях, що відповідає умовам розміщення трансформаторів у складі комплектної трансформаторної підстанції. Герметичне виконання трансформатора з масляним охолодженням знижує потребу в обслуговуванні, підвищує

надійність роботи та забезпечує стабільні ізоляційні характеристики протягом усього строку експлуатації.

Загальний вигляд трансформатора ТМГ-1000 У1 10/0,4 У/У_н-0, а також його основні габаритні розміри та розташування вводів наведені на рисунку 2.1, що дозволяє врахувати конструктивні особливості апарата при компоновці обладнання трансформаторної підстанції та розробленні монтажних рішень.

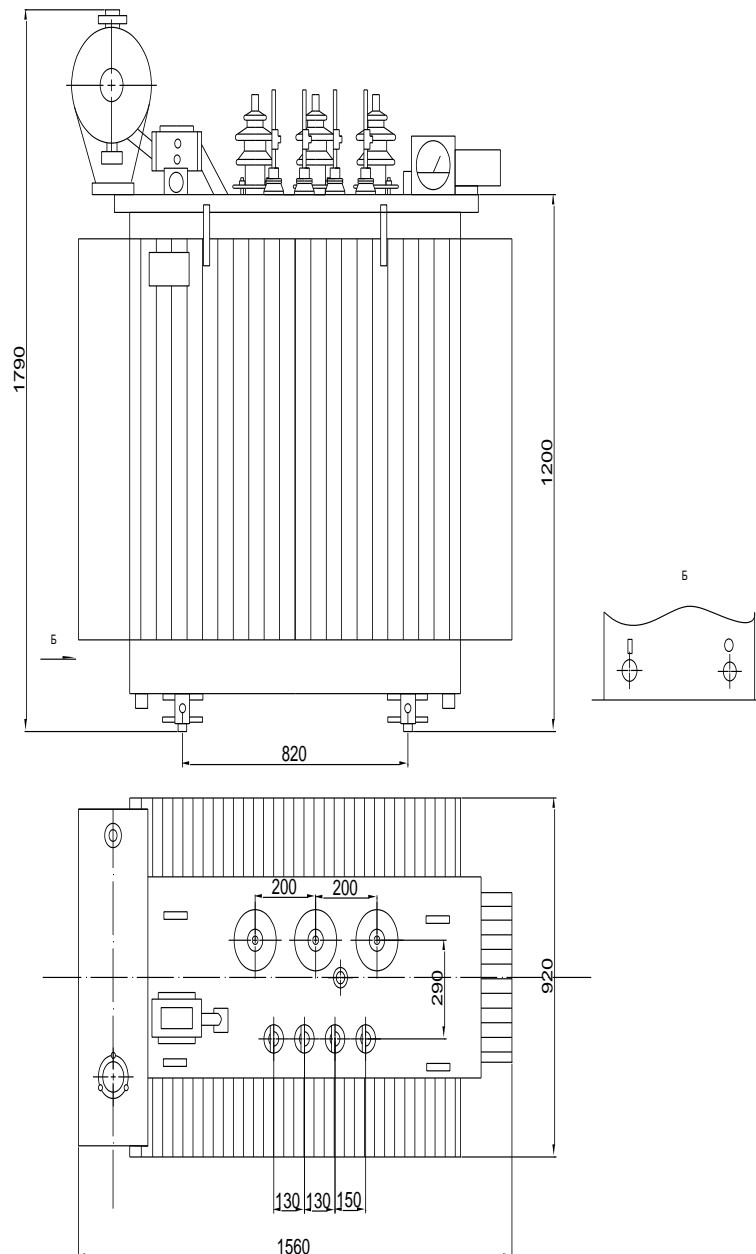


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд трансформатора
ТМГ-1000 У1 10/0,4 У/У_н-0 [27]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
36

Встановлення двох трансформаторів ТМГ-1000 У1 10/0,4 У/Ун-0 у складі трансформаторної підстанції є технічно обґрунтованим рішенням, яке забезпечує необхідну пропускну здатність, резервування потужності, відповідність вимогам електробезпеки та стабільне електропостачання побутових споживачів у нормальних і аварійних режимах роботи.

2.4 Розробка трансформаторної підстанції

Трансформаторна підстанція являє собою двотрансформаторну комплекtnу трансформаторну підстанцію (КТП) напругою 10/0,4 кВ, призначену для електропостачання побутових споживачів з підвищеними вимогами до надійності та безперервності живлення. Конструктивно підстанція виконана у вигляді блокового (контейнерного) виконання з розміщенням у єдиному корпусі двох силових трансформаторів та розподільчих пристроїв високої і низької напруги (рис.3.2).

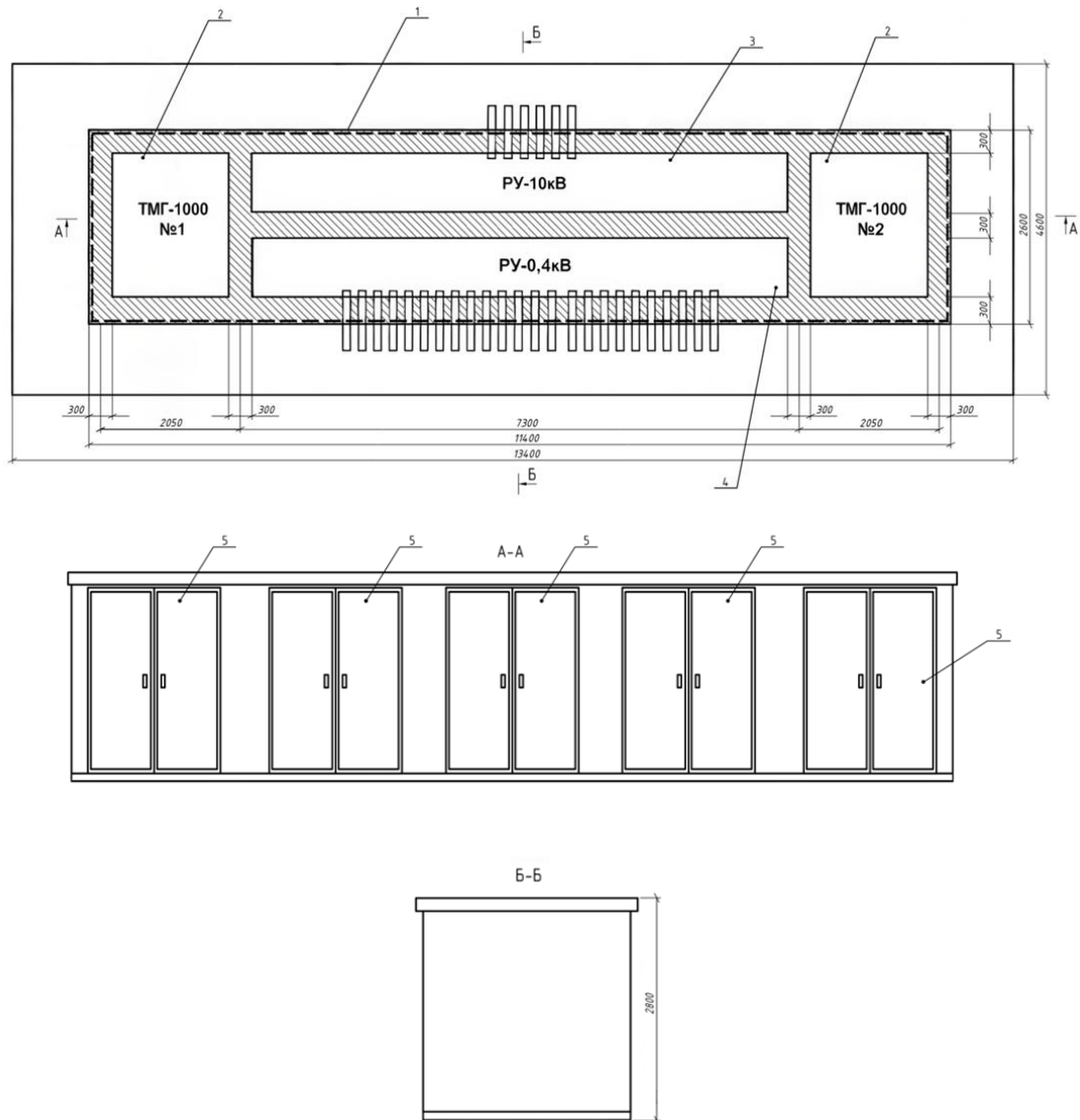
У розробленому плані підстанція має подовжену прямокутну форму, що забезпечує раціональне компонування обладнання та зручність експлуатації. По обох кінцях корпусу розміщені два силові трансформатори типу ТМГ-1000, які позначені як ТМГ-1000 №1 та ТМГ-1000 №2.

Таке симетричне розташування трансформаторів забезпечує рівномірний розподіл навантажень, спрощує організацію вентиляції та знижує тепловий вплив одного трансформатора на інший.

У центральній частині підстанції розміщені розподільчі пристрої 10 кВ (РУ-10 кВ) та розподільчі пристрої 0,4 кВ (РУ-0,4 кВ). РУ-10 кВ розташоване у верхній частині внутрішнього об'єму підстанції та призначене для приймання електроенергії з мережі середньої напруги, комутації введів і відхідних ліній, а також захисту силових трансформаторів. РУ-0,4 кВ розміщене нижче та призначене для розподілу електричної енергії між відхідними кабельними лініями низької напруги, що живлять побутових споживачів.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розподільчі пристрої конструктивно відокремлені від трансформаторних відсіків, що підвищує рівень електробезпеки та відповідає вимогам нормативних документів щодо зонування електроустановок різних класів напруги. Внутрішні перегородки та огорожувальні конструкції забезпечують обмеження доступу до струмоведучих частин та локалізацію можливих аварійних процесів.



1- каркас; 2- трифазний масляний герметичний трансформатор типу ТМГ-1000 У1; 3-розподільчий пристрій РУ-10кВ; 4-розподільчий пристрій РУ-0,4 кВ; 5 - двері

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд трансформаторної підстанції, що розробляється:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

38

Зовнішній вигляд підстанції (рис.2.2, розріз А–А) показує, що корпус обладнання окремими дверима для кожного функціонального відсіку. Це дозволяє здійснювати обслуговування трансформаторів, РУ-10 кВ та РУ-0,4 кВ незалежно один від одного без порушення роботи суміжних відсіків. Така організація доступу підвищує експлуатаційну зручність і знижує ризик помилкових дій персоналу.

Габаритні розміри підстанції та відстані між елементами обладнання, що наведені на рис.2.2, забезпечують дотримання нормативних вимог щодо проходів, зон обслуговування та монтажних зазорів. Конструкція підстанції передбачає можливість прокладання кабельних введів як з боку високої, так і з боку низької напруги, що спрощує прив'язку КТП до зовнішніх електричних мереж.

Розроблена трансформаторна підстанція є сучасною двотрансформаторною КТП 10/0,4 кВ, у якій реалізовано резервування потужності, раціональне зонування обладнання та зручну компоновку для монтажу й експлуатації. Прийняті конструктивні рішення забезпечують надійне електропостачання побутових споживачів, відповідність вимогам електробезпеки та можливість безперервної роботи підстанції в нормальних і післяаварійних режимах.

2.5 Розподільчі пристрої високої та низької напруг трансформаторної підстанції

2.5.1 Розподільчі пристрої високої напруги 10 кВ (РУ-10 кВ) [28]

Розподільчі пристрої 10 кВ призначені для приймання електричної енергії від розподільчої мережі середньої напруги, комутації силових трансформаторів та забезпечення їх захисту від аварійних режимів роботи. У складі двотрансформаторної підстанції РУ-10 кВ виконано у вигляді окремого функціонального відсіку, конструктивно відокремленого від трансформаторних камер та розподільчих пристроїв низької напруги (рис.2.2).

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Основними функціями РУ-10 кВ є:

- підключення двох силових трансформаторів до мережі 10 кВ;
- комутація робочих і резервних вводів;
- захист трансформаторів від струмів короткого замикання та перевантажень;
- забезпечення можливості безпечного відключення трансформаторів для огляду і ремонту.

До складу РУ-10 кВ входять:

- ввідні та трансформаторні комірочки 10 кВ, кожна з яких закріплена за відповідним трансформатором;
- вимикачі навантаження, що забезпечують комутацію силових кіл під навантаженням;
- роз'єднувачі з видимим розривом кола для створення безпечних умов обслуговування;
- плавкі запобіжники, призначені для захисту трансформаторів від струмів короткого замикання;
- обмежувачі перенапруг, що захищають ізоляцію обладнання від грозових і комутаційних перенапруг;
- заземлювальні ножі для заземлення відключених ділянок.

Компоновка РУ-10 кВ забезпечує чітке розділення фаз, достатні ізоляційні відстані та відповідність вимогам електробезпеки. Доступ до апаратів РУ-10 кВ здійснюється через окремі двері, що унеможлиблює випадковий контакт персоналу зі струмоведучими частинами під час роботи інших відсіків підстанції. Конструкція дозволяє виконувати оперативні перемикання та обслуговування трансформаторів без повного знеструмлення підстанції, що є особливо важливим для побутових споживачів.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.5.2 Розподільчі пристрої низької напруги 0,4 кВ (РУ-0,4 кВ) [29]

Розподільчі пристрої 0,4 кВ призначені для розподілу електричної енергії, що надходить від силових трансформаторів, між відхідними кабельними лініями, які живлять побутових споживачів. У складі підстанції РУ-0,4 кВ розміщене в окремому відсіку, що конструктивно відокремлений від РУ-10 кВ та трансформаторних камер, але безпосередньо пов'язаний з ними електрично (рис.2.2).

Основними функціями РУ-0,4 кВ є:

- приймання електричної енергії від двох трансформаторів;
- секціонування шин 0,4 кВ та забезпечення резервування живлення;
- захист відхідних ліній від перевантажень і коротких замикань;
- комутація та облік електричної енергії.

Склад РУ-0,4 кВ включає:

- шинну систему 0,4 кВ, розраховану на номінальні струми трансформаторів (понад 1400 А для одного трансформатора потужністю 1000 кВА);
- ввідні автоматичні вимикачі від кожного трансформатора;
- секційний вимикач, що дозволяє об'єднувати або розділяти секції шин у нормальному та аварійному режимах;
- відхідні автоматичні вимикачі або запобіжникові вимикачі для живлення окремих кабельних ліній;
- вимірювальні прилади та трансформатори струму, призначені для контролю режимів роботи та обліку електроенергії;
- захисні та допоміжні апарати, зокрема апарати захисту від перенапруг, сигнальні елементи та пристрої автоматики.

Наявність виведеної нейтралі трансформатора дозволяє організувати систему заземлення нейтралі та забезпечити живлення однофазних споживачів напругою 230 В. РУ-0,4 кВ спроектоване з урахуванням селективності захистів, що дає змогу локалізувати аварію на окремій лінії без відключення всієї підстанції.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Конструкція РУ-0,4 кВ передбачає зручний доступ до апаратури для експлуатації, вимірювань і технічного обслуговування, а також достатні проходи й відстані між елементами, що відповідають вимогам електробезпеки та ергономіки.

Спільна робота розподільчих пристроїв 10 кВ і 0,4 кВ забезпечує надійне приймання, трансформацію та розподіл електричної енергії. РУ-10 кВ виконує функції захисту та комутації на стороні середньої напруги, тоді як РУ-0,4 кВ забезпечує гнучкий розподіл навантаження між побутовими споживачами та реалізацію резервування живлення. Така організація дозволяє підтримувати стабільні режими роботи підстанції як у нормальних, так і в аварійних умовах, що є ключовою вимогою для систем електропостачання житлового сектору.

2.6 Розробка принципової схеми електроживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції

Принципова схема електроживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції, наведена на рисунку 2.3, відображає повний електричний ланцюг від приймання електроенергії з мережі середньої напруги 10 кВ до її розподілу між побутовими споживачами на стороні низької напруги 0,4 кВ. Схема розроблена з урахуванням двотрансформаторного виконання КТП, що забезпечує резервування потужності, підвищену надійність та гнучкість режимів роботи.

Живлення підстанції здійснюється від зовнішньої кабельної лінії 10 кВ, яка підводиться до розподільчого пристрою високої напруги РУ-10 кВ. У складі РУ-10 кВ передбачені окремі комірочки для кожного силового трансформатора, оснащені апаратами комутації та захисту. Така побудова дозволяє незалежно підключати та відключати кожен трансформатор, виконувати оперативні перемикання, а також забезпечує захист трансформаторів від аварійних режимів, зокрема струмів короткого замикання та перевантажень.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

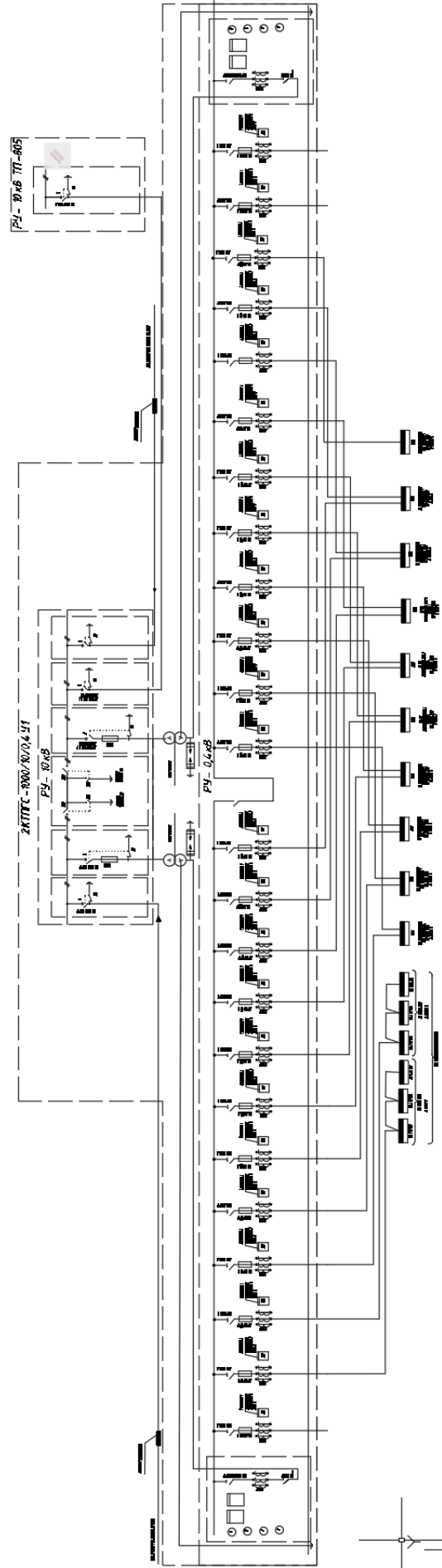


Рисунок 2.3 – Принципова схема електроживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
43

Принципова схема РУ-10 кВ забезпечує селективність захистів і можливість локалізації аварій без повного знеструмлення підстанції.

Від РУ-10 кВ електрична енергія подається на два силові трансформатори, які працюють у мережі 10/0,4 кВ. У нормальному режимі роботи навантаження розподіляється між трансформаторами, що зменшує їх теплове навантаження та підвищує ресурс обладнання. У післяаварійному режимі передбачена можливість живлення споживачів від одного трансформатора з допустимим обмеженням навантаження.

На стороні низької напруги 0,4 кВ вторинні обмотки трансформаторів підключені до шин розподільчого пристрою РУ-0,4 кВ. Шинна система виконана секціонованою, що чітко простежується на принциповій схемі. Кожен трансформатор живить свою секцію шин, а між секціями передбачений секційний комутаційний апарат, який дозволяє об'єднувати або розділяти секції залежно від режиму роботи. Таке рішення забезпечує резервування живлення та підвищує експлуатаційну надійність підстанції.

Від шин РУ-0,4 кВ здійснюється живлення значної кількості відхідних кабельних ліній, кожна з яких призначена для окремої групи побутових споживачів. На принциповій схемі кожна відхідна лінія обладнана власним апаратом захисту і комутації, що забезпечує захист від перевантажень та коротких замикань, а також можливість індивідуального відключення лінії під час аварії або проведення робіт. Така побудова дозволяє локалізувати пошкодження на окремій ділянці мережі без відключення всієї підстанції.

Схема також передбачає організацію нейтралі на стороні 0,4 кВ, що є необхідною умовою для живлення однофазних побутових електроприймачів напругою 230 В та коректної роботи системи заземлення і захисних пристроїв. Розміщення вимірювальних і контрольних елементів на шині 0,4 кВ дозволяє здійснювати контроль режимів роботи підстанції, навантаження окремих секцій і відхідних ліній.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, розроблена принципова схема електроживлення забезпечує надійне приймання електричної енергії на стороні 10 кВ, її трансформацію двома силовими трансформаторами та раціональний розподіл на стороні 0,4 кВ із резервуванням, селективним захистом і можливістю гнучкого керування режимами роботи. Прийняті схемні рішення відповідають вимогам електробезпеки, експлуатаційної надійності та забезпечують стабільне електропостачання побутових споживачів у нормальних і післяаварійних режимах.

2.7 Розробка фундаменту під комплектну трансформаторну підстанцію

Фундамент комплектної трансформаторної підстанції розроблено з урахуванням габаритних розмірів КТП, маси встановленого обладнання, умов експлуатації та вимог до надійності і довговічності споруди. Конструктивні рішення фундаменту прийняті відповідно до креслення розподільчої підстанції (рис.2.2).

Фундамент виконаний у вигляді монолітної залізобетонної основи, на якій встановлюється корпус двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції (рис.2.4).

Фундамент має прямокутну форму в плані та відповідає загальним габаритам КТП з урахуванням необхідних монтажних припусків по периметру. Таке рішення забезпечує рівномірний розподіл навантаження від маси двох силових трансформаторів ТМГ-1000, розподільчих пристроїв 10 кВ і 0,4 кВ, а також металоконструкцій корпусу підстанції.

Конструкція фундаменту передбачає улаштування опорних бетонних тумб (або стрічкових елементів), на які безпосередньо спирається підстанція. Між тумбами та нижньою площиною корпусу КТП забезпечується вентиляційний зазор, що сприяє природному охолодженню обладнання та зменшує вплив вологи на металеві елементи. Верхні поверхні опор виконані в одному рівні з дотриманням горизонтальності, що є необхідною умовою правильної установки та стійкості підстанції.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

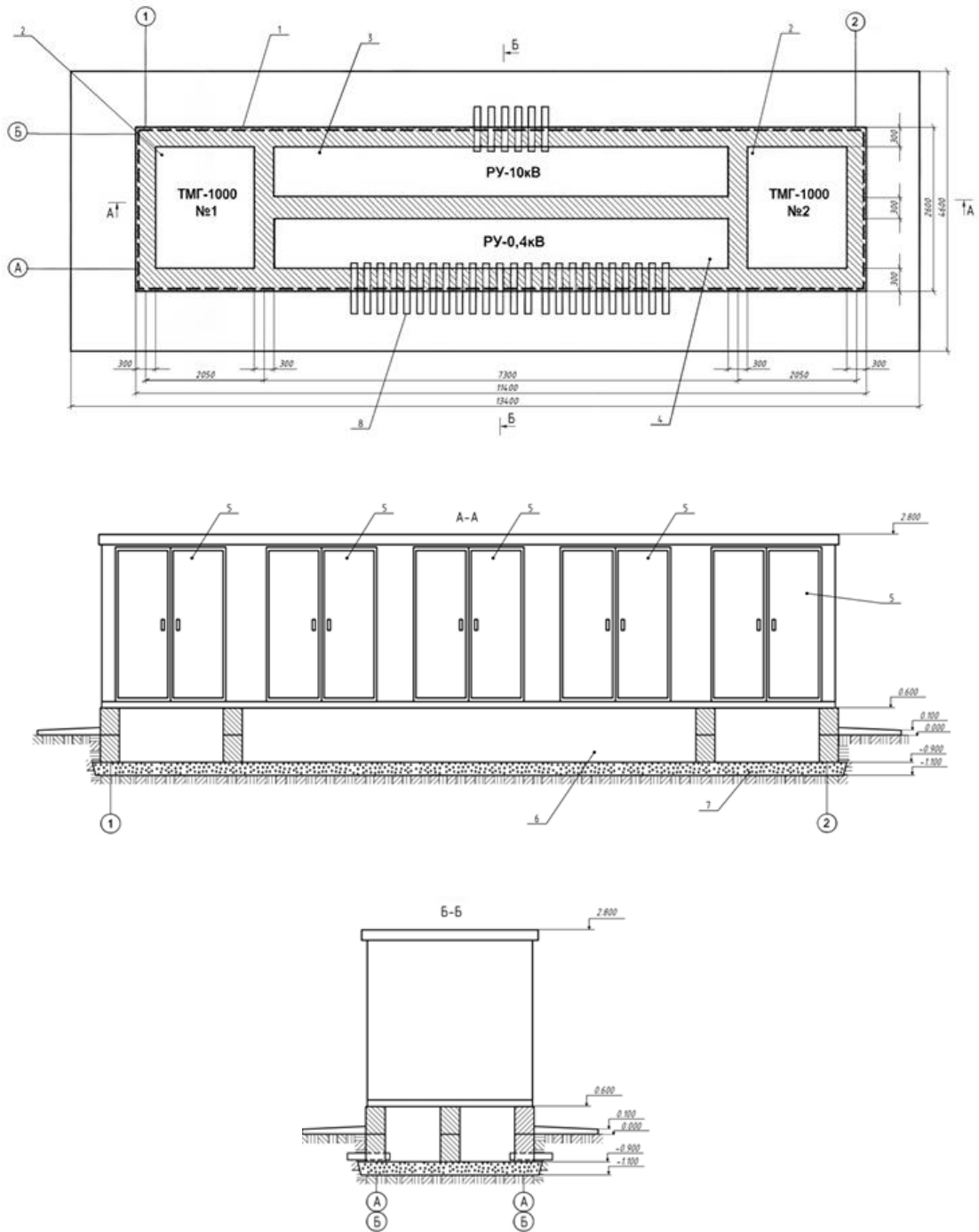


Рисунок 2.4 – Фундамент трансформаторної підстанції

Фундамент влаштовується на попередньо підготовленій основі. Після розробки котловану дно вирівнюється та ущільнюється, після чого влаштовується підготовчий шар з піщано-щебеневої суміші. Цей шар забезпечує вирівнювання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
46

основи, зменшення нерівномірних осідань і покращення дренажних властивостей ґрунту. Поверх підготовки виконується бетонна подушка, на якій формується основна залізобетонна частина фундаменту.

Армування фундаменту здійснюється сталевією арматурою відповідного діаметра, що розміщується у зонах розтягу та стиску бетонної конструкції. Арматурний каркас забезпечує сприйняття статичних навантажень від власної маси КТП та обладнання, а також можливих динамічних впливів під час транспортування, монтажу і експлуатації. Бетонування виконується бетоном нормативного класу міцності з обов'язковим ущільненням бетонної суміші.

У конструкції фундаменту передбачені кабельні вводи та технологічні отвори для підведення кабельних ліній 10 кВ і 0,4 кВ знизу підстанції. Їх розташування узгоджене з компоновкою розподільчих пристроїв РУ-10 кВ і РУ-0,4 кВ, що дозволяє виконати підключення кабелів без додаткового порушення фундаментної конструкції.

Фундамент піднімається над рівнем планувальної відмітки землі, що забезпечує захист підстанції від підтоплення атмосферними опадами та поверхневими водами. Навколо фундаменту передбачається зворотна засипка з ущільненням ґрунту та організація водовідведення, що підвищує довговічність споруди.

Розроблений фундамент під комплектну трансформаторну підстанцію, забезпечує надійну установку КТП, сприйняття експлуатаційних навантажень, зручність монтажу та безпечну тривалу експлуатацію підстанції в заданих ґрунтових і кліматичних умовах.

2.8 Розробка системи заземлення комплектної трансформаторної підстанції

З метою забезпечення електробезпеки та захисту обслуговуючого персоналу і споживачів від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції струмоведучих частин проєктованого електрообладнання передбачається улаштування заземлювального пристрою трансформаторної підстанції (рис.2.2).

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

діаметром 12 мм. З'єднання виконується шляхом зварювання двостороннім зварним швом, при цьому довжина кожного зварного шва повинна бути не меншою ніж шість діаметрів заземлювального провідника, що гарантує надійний електричний контакт і механічну міцність з'єднання.

Після виконання зварювальних робіт місця з'єднань підлягають обробці антикорозійним покриттям, зокрема фарбуванню чорною фарбою, з метою захисту металу від корозії та збільшення строку служби заземлювального пристрою в ґрунтових умовах.

Опір розтікання струму заземлювального пристрою трансформаторної підстанції відповідно до вимог нормативних документів повинен становити не більше 4 Ом. Після завершення монтажу заземлювального контуру проводяться його випробування шляхом вимірювання опору розтікання. У разі, якщо за результатами вимірювань значення опору перевищує допустимий рівень 4 Ом, проєктом передбачається можливість зменшення опору шляхом додаткового добивання вертикальних заземлювачів або розширення контуру заземлення.

Заземлювальний пристрій підлягає обов'язковій перевірці перед підключенням трансформаторної підстанції до джерела електроживлення, а також у процесі подальшої експлуатації - періодично, у строки, встановлені чинними нормативними документами, шляхом контрольних вимірювань опору розтікання заземлювальних пристроїв.

Заземлення всіх металевих неструмоведучих частин електрообладнання, металевих оболонок і броні кабелів, корпусів розподільчих пристроїв та інших елементів електроустановки виконується відповідно до вимог ПУЕ (редакція 2006 р.), СНіП 3.05.06-85, ВСН 1-77, а також згідно з вимогами технічної документації заводу-виробника електрообладнання. Реалізація зазначених вимог забезпечує нормативний рівень електробезпеки, надійну роботу електроустановки та відповідність проєктних рішень чинним стандартам і правилам експлуатації.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.9 Висновки до другого розділу

У другому розділі обґрунтовано доцільність розробки двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ для електропостачання житлового сектору з нерівномірними навантаженнями та підвищеними вимогами до надійності й безперервності живлення. Встановлено, що забезпечення нормативної якості електричної енергії на стороні 0,4 кВ потребує застосування підстанції, здатної виконувати трансформацію напруги, раціональний розподіл потужності, комутацію та селективний захист у нормальних і післяаварійних режимах.

Сформовано вихідні дані для проєктування з урахуванням живлення від мережі 10 кВ змінного струму частотою 50 Гц, вимог до електропостачання трифазних і однофазних побутових споживачів, кліматичного виконання У1 та дотримання чинних нормативних документів. Обґрунтовано вибір двотрансформаторної КТП з резервуванням потужності, що забезпечує підвищену надійність електропостачання та можливість збереження живлення споживачів у разі відключення одного трансформатора.

Для підстанції прийнято два трифазні масляні герметичні трансформатори ТМГ-1000 У1 потужністю по 1000 кВА зі схемою з'єднання обмоток Y/Y_n-0 , що забезпечує виведену нейтраль на стороні 0,4 кВ, можливість живлення однофазних споживачів і коректну роботу захисних пристроїв. Конструктивне виконання підстанції у вигляді блокової КТП з розділенням відсіків за класами напруги та раціональною компоновкою обладнання забезпечує електробезпеку, зручність експлуатації та технологічність монтажу.

У розділі також узагальнено рішення щодо розподільчих пристроїв 10 кВ і 0,4 кВ, фундаменту підстанції та системи заземлення, яка запроєктована відповідно до вимог ПУЕ та передбачає контур заземлення з вертикальних і горизонтальних електродів із нормованим опором розтікання струму не більше 4 Ом.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Реалізація прийнятих конструктивних і схемних рішень забезпечує нормативний рівень електробезпеки, експлуатаційної надійності та стабільне електропостачання побутових споживачів у нормальних і післяаварійних режимах.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 МОНТАЖ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 10/0,4 кВ ДО ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

3.1 Розробка зовнішньої електромережі 10 кВ/0,4 кВ

Розробка прив'язки прокладання кабелів до інженерних споруд

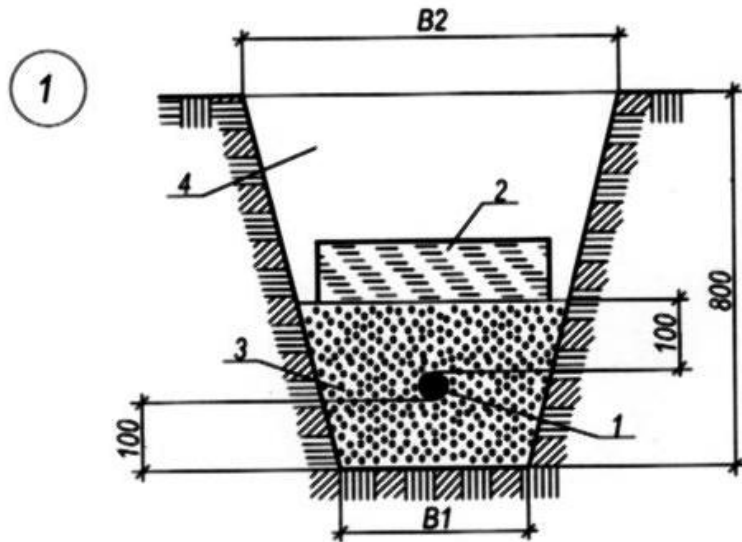
Розробка зовнішньої електромережі 10 кВ/0,4 кВ при під'єднанні готової трансформаторної підстанції передбачає вибір і трасування кабельних ліній, визначення способу прокладання, геометричних параметрів траншей, а також прив'язку траси до існуючих інженерних мереж і споруд. Під час проєктування вирішальними є вимоги механічного захисту кабелю, забезпечення ремонтпридатності, дотримання мінімально допустимих відстаней до суміжних комунікацій та виконання умов безпечної експлуатації мережі впродовж усього життєвого циклу.

Базовим рішенням для прокладання кабельної лінії у ґрунті є укладання кабелю в траншеї з формуванням захисних шарів та перекриттям цеглою у верхній частині зони прокладання. Такий спосіб застосовується за наявності м'якого ґрунту та забезпечує достатній рівень механічного захисту від випадкових пошкоджень під час земляних робіт. Конструкція укладання кабелю в м'який ґрунт із використанням цегли як елемента захисту наведена на рисунку 3.1.

На практиці така схема використовується як типова для більшості ділянок траси за відсутності ускладнюючих факторів (перетини, зближення, підвищені механічні впливи).

У випадках, коли за трасою необхідно прокласти декілька кабелів паралельно, приймається рішення щодо їх розміщення у межах однієї траншеї з дотриманням відстаней між кабелями та забезпеченням однакового рівня захисту.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1-кабель; 2-цегла; 3- м'який ґрунт; 4-місцевий ґрунт

Рисунок 3.1 – Укладання кабелю в м'який ґрунт:

Приклад укладання кількох кабелів у м'який ґрунт наведено на рисунку 3.2, де конструктивно показано взаємне розміщення кабелів у тілі траншеї та організацію захисного шару.

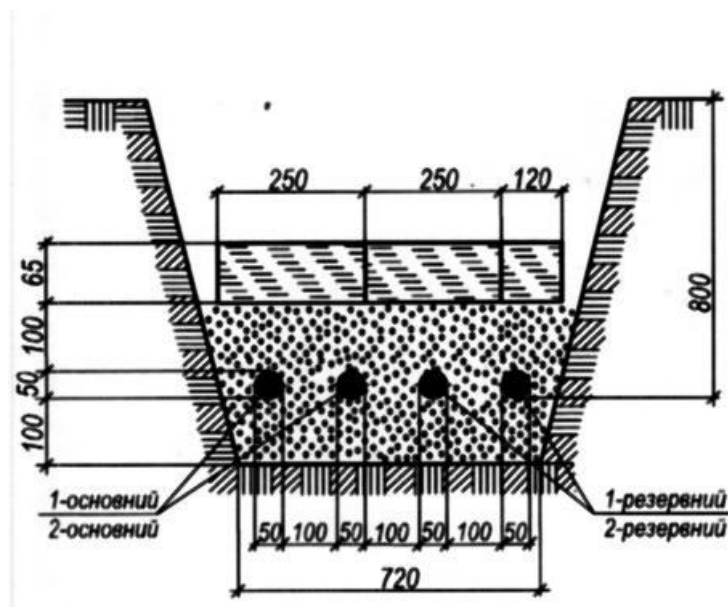


Рисунок 3.2 - Укладання декількох кабелів в м'який ґрунт

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

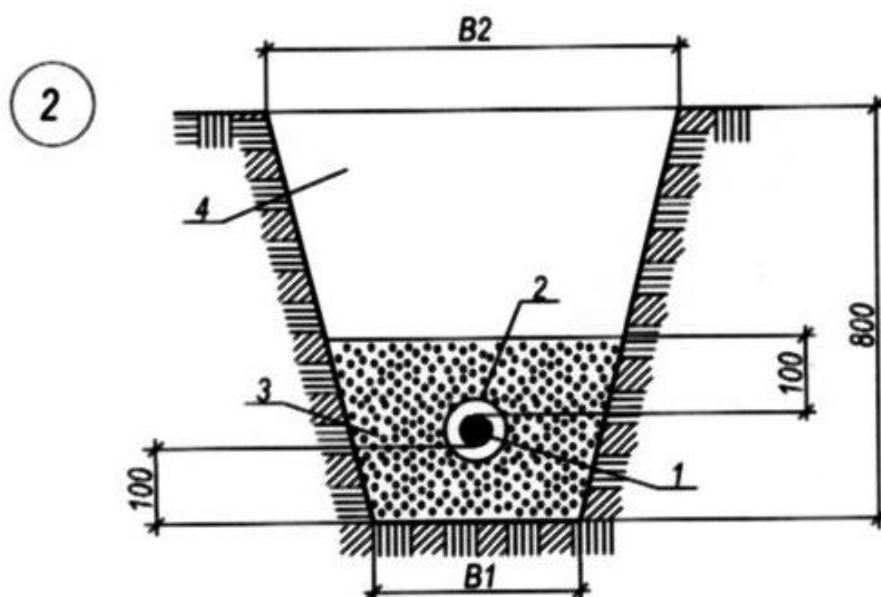
МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

Таке рішення зменшує обсяги земляних робіт і спрощує прив'язку траси, однак підвищує вимоги до точності геометричних параметрів траншеї та до організації теплового режиму кабельної лінії.

Для ділянок, на яких можливий вплив додаткових механічних навантажень, локальні перетини або підвищений ризик пошкодження, передбачається прокладання кабелю в захисних полімерних трубах. Схема укладання кабелю в жорстку гофровану поліетиленову двошарову трубу діаметром 110 мм наведена на рисунку 3.3.



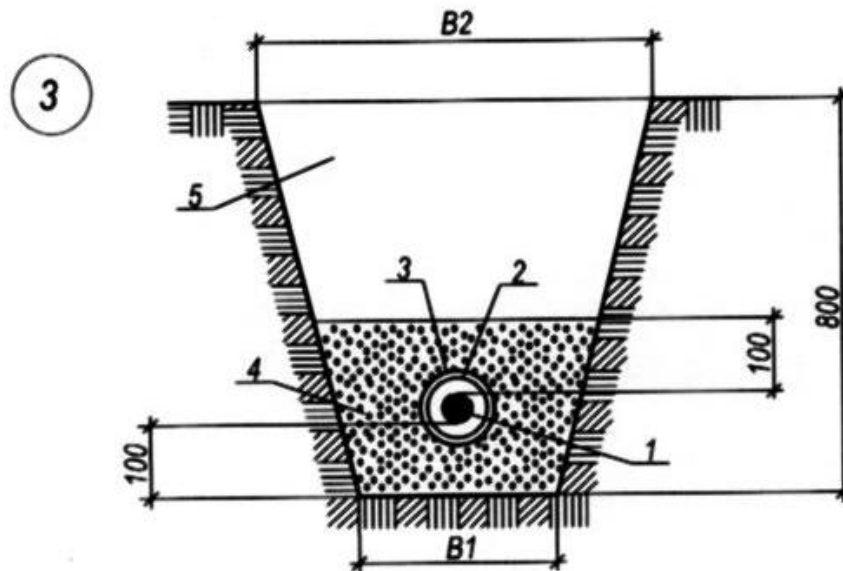
1-кабель; 2-жорстка труба гофрована поліетиленова двошарова діаметром 110 мм; 3- м'який ґрунт; 4-місцевий ґрунт

Рисунок 3.3 – Укладання кабелю в гофровану поліетиленову двошарову трубу:

Застосування труби дозволяє підвищити стійкість лінії до локальних деформацій ґрунту, зменшити ризик пошкодження оболонки та покращити умови ремонту на окремих ділянках.

У разі необхідності додаткового посилення захисту на найбільш відповідальних ділянках траси (наприклад, у місцях можливого впливу будівельної техніки

або при ускладнених умовах прокладання) використовується поєднання поліетиленової труби з металевим кожухом. Конструкція такого рішення наведена на рисунку 3.4, де забезпечується підвищена механічна міцність захисту та зменшується ймовірність пошкодження кабелю при зовнішніх впливах.



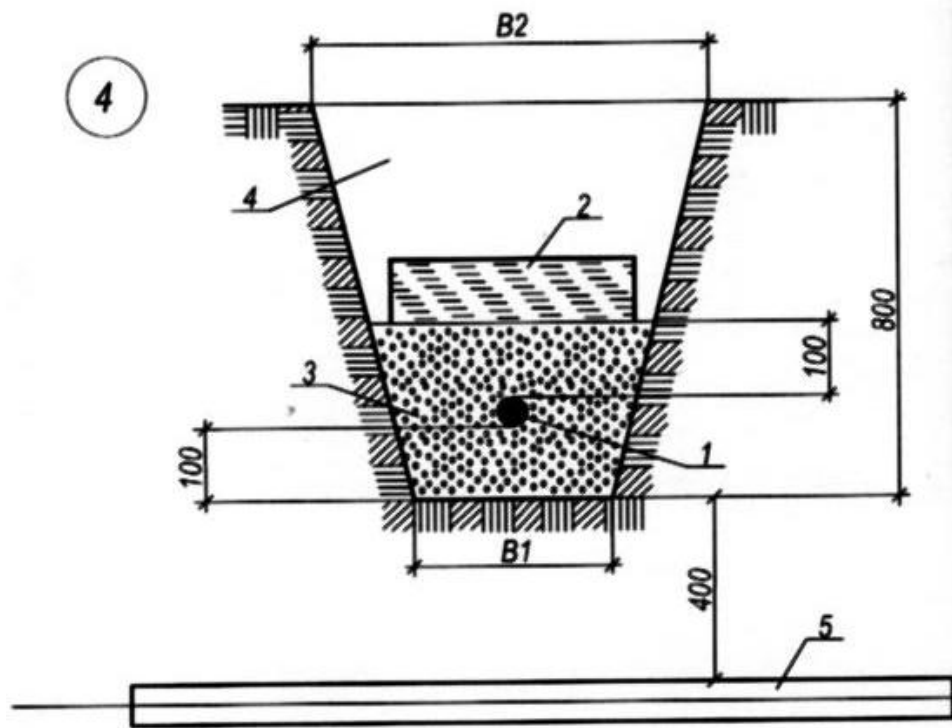
1-кабель; 2-жорстка труба гофрована поліетиленова двошарова діаметром 110 мм; 4-металевий кожух; 4- м'який ґрунт; 5-місцевий ґрунт

Рисунок 3.4 – Укладання кабелю в гофровану поліетиленову двошарову трубу з металевим кожухом:

Під час прив'язки траси кабельної лінії до інженерних споруд обов'язково враховують взаємне розташування кабелю та діючих трубопроводів. При наявності під трасою трубо-, водо- або газопроводу приймається рішення щодо укладання кабелю з дотриманням вертикальних відстаней і додаткових заходів захисту. Типове рішення для випадку розміщення трубопроводу під кабелем наведено на рисунку 3.5.

Для таких умов принциповим є забезпечення нормативної відстані між комунікаціями, а також можливість виконання ремонтних робіт без взаємного пошкодження мереж.

При застосуванні захисту кабелю поліетиленовими трубами допустимі відстані до інженерних комунікацій можуть бути зменшені, і в наведених умовах відстань допускається зменшувати до 0,25 м, що прямо враховується під час прив'язки траси в місцях перетинів та зближень.



1-кабель; 2-цегла; 3- м'який ґрунт; 4-місцевий ґрунт;
5-трубо- водо- газопровід

Рисунок 3.5 – Укладання кабелю в м'який ґрунт при наявності під ним трубо- водо- газопровода

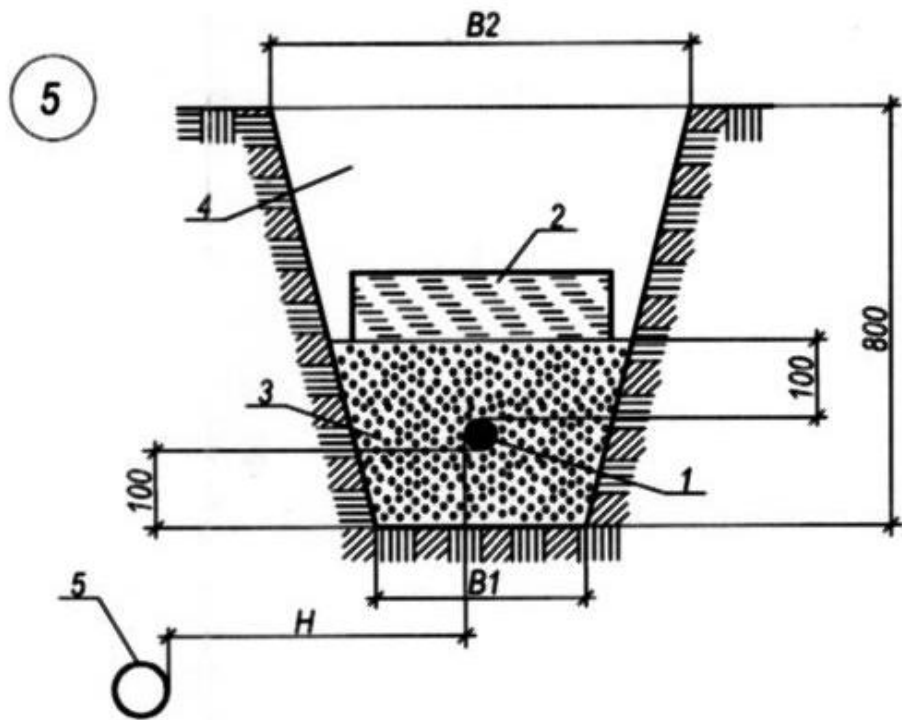
Геометричні параметри траншеї (ширини $B1$ по дну та $B2$ по верху) визначаються кількістю кабелів, що прокладаються, та обраним способом захисту. Значення параметрів траншеї $B1$ і $B2$ при певній кількості прокладених кабелів наведено в таблиці 3.1

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

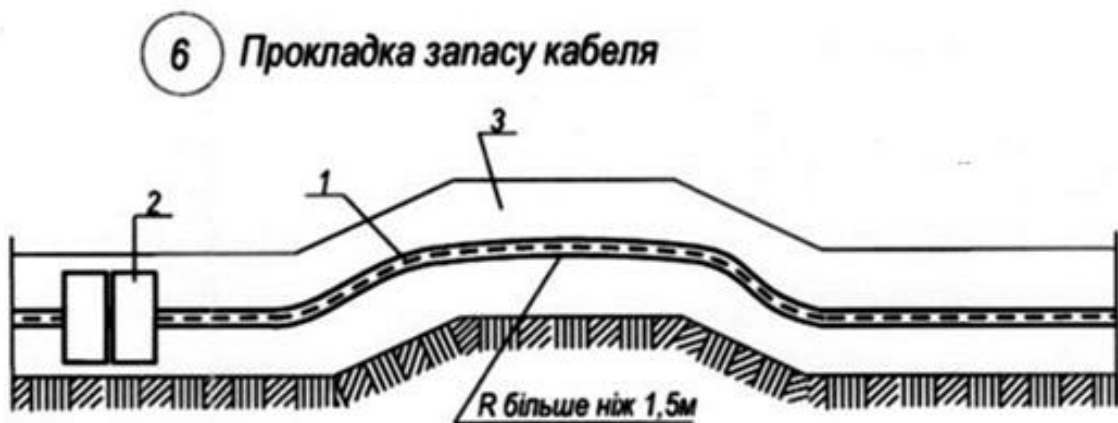
Арк.

56



1-кабель; 2-цегла; 3- м'який ґрунт; 4-місцевий ґрунт; 5-трубо-, водопровід, каналізація; дренаж, газопровід низького і середнього тиску

Рисунок 3.6 - Укладання кабеля в м'який ґрунт при наявності збоку від нього трубо-, водопроводу, каналізації; дренажу, газопроводу низького і середнього тиску



1-кабель; 2-цегла; 3- м'який ґрунт

Рисунок 3.7 – Прокладка запасу кабеля:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
58

Під час трасування кабельних ліній важливими є повороти траси, оскільки на цих ділянках кабель зазнає додаткових згинальних деформацій. Поворот кабельних трас виконується з дотриманням мінімального радіуса вигину, який визначається зовнішнім діаметром кабелю. Вимога щодо радіуса наведена на рисунку 3.8, де зазначено, що $R = 25 \times$ діаметр кабелю, а також показані характерні розміри ділянки повороту. Дотримання цієї умови є обов'язковим для збереження цілісності ізоляції та оболонки кабелю та для забезпечення нормативного ресурсу лінії.

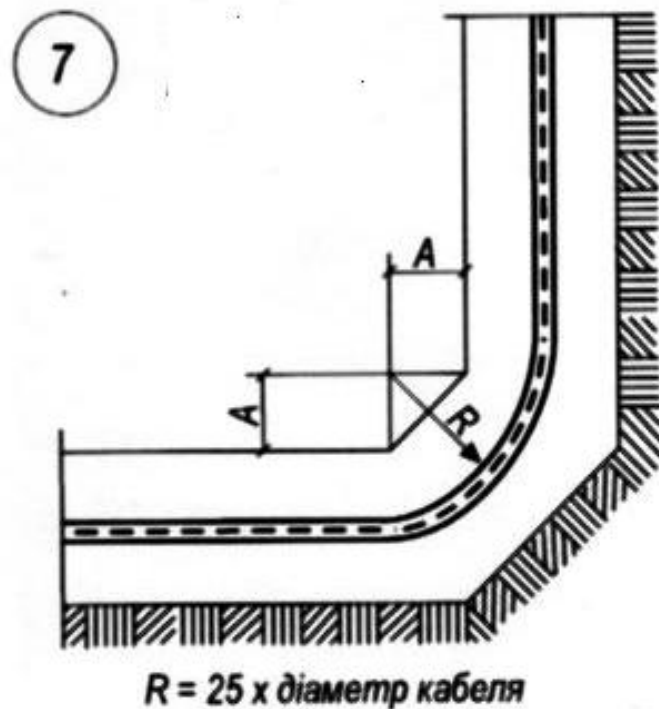


Рисунок 3.8 – Поворот кабельних трас

Нормативні відстані до трубопроводів при прокладанні кабельних ліній наведені в таблиці 3.2.

При цьому під час проектування слід враховувати, що за наявності захисту кабелю трубою допустимі відстані можуть коригуватися відповідно до умов прокладання та прийнятих захисних заходів.

Таблиця 3.2 - Відстані до трубопроводів

№ п/п	Назва трубопровода	Відстань до трубопровода Н, мм		
		Нормальні умови про- кладання	складні умови прокладання	
			без захи- сту кабеля	захист ка- беля тру- бою
1	Водопровід, каналізація, газопро- від низького (0,049 МПа), серед- нього (0,294 МПа) і високого ти- ску (від 0,29 МПа до 0,588 МПа)	1000	500	250
2	Газопровід високого тиску (від 0,588 МПа до 1,176 МПа)	2000		

Додаткові технічні умови, які повинні виконуватися під час улаштування захисту кабелю поліетиленовими трубами, полягають у тому, що торці поліетиленових труб необхідно змастити цементним розчином М100 за ДСТУ Б.В.2.7-23-95, а також у тому, що при захисті кабелів поліетиленовими трубами вказані відстані до інженерних мереж можуть бути зменшені відповідно до прийнятого рішення та умов прокладання.

3.2 Підбір кабелів заживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції

Проектовані кабельні лінії 10 кВ та 0,4 кВ призначені для електропостачання житлового комплексу. Даним проектом передбачено прокладання кабелів в траншеях.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вибір марки та поперечного перерізу кабелів виконано відповідно до допустимих тривалих струмових навантажень у нормальних і перевантажених режимах роботи з урахуванням матеріалу струмопровідних жил, виду ізоляції та способу прокладання. Обрані кабелі перевірено за умовами допустимих втрат напруги в лінії, а також на термічну і динамічну стійкість при протіканні струмів короткого замикання. Довжини ділянок кабельних ліній, прийняті марки та перерізи кабелів наведені на кресленнях [МРМА25.00.00.000Е2].

Підбір кабелів для заживлення побутових споживачів від трансформаторної підстанції 2КТПГ-1000/10/0,4У здійснювався з урахуванням класу напруги електричної мережі, типу та способу прокладання кабельних ліній, орієнтовної довжини трас, а також вимог до пропускної здатності, надійності й електробезпеки системи електропостачання. При цьому враховано умови зовнішнього прокладання кабелів у ґрунті, характерні для розподільчих мереж житлового сектору, а також результати аналізу конструктивних рішень прокладання кабельних ліній, наведених у пункті 3.1 (рис. 3.1–3.8).

Для підключення трансформаторної підстанції до розподільчої мережі середньої напруги 10 кВ передбачено виконання кабельної лінії КЛ-10 кВ з використанням кабелю марки ААБЛУ-10 3×120 з орієнтовною довжиною 0,3 км (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Зовнішні електромережі 10 кВ

№ п/п	Тип мереж	Марка проводу кабеля	Орієнтовна довжина, км
1	КЛ-10кВ	ААБЛУ-10 3X120	0,3

Даний кабель є трижильним, з алюмінієвими струмопровідними жилами перерізом 120 мм², із паперовою ізоляцією та бронею, що робить його придатним для прокладання безпосередньо в ґрунті (рис.3.9).

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.9 - Кабель марки ААБЛУ-10 3×120 [31]

Вибір такого перерізу забезпечує необхідний запас за допустимим тривалим струмом навантаження, а також мінімальне падіння напруги на відносно короткій ділянці мережі 10 кВ. Наявність броні підвищує механічну міцність кабелю та стійкість до зовнішніх впливів, що є особливо актуальним для зовнішніх трас, де можливі навантаження від ґрунту, транспорту або випадкові пошкодження під час виконання земляних робіт.

Для розподілу електричної енергії на стороні низької напруги 0,4 кВ та безпосереднього заживлення побутових споживачів прийнято виконання кабельної лінії КЛ-0,4 кВ з використанням кабелю марки АВВГ-1 3×120 з орієнтовною сумарною довжиною 1,321 км (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Зовнішні електромережі 0,4 кВ

№ п/п	Тип мереж	Марка проводу кабеля	Орієнтовна довжина, км
	КЛ-0,4кВ	АВВГ-1 3x120	1,321

Кабель даної марки має алюмінієві жили, полівінілхлоридну ізоляцію та оболонку, що забезпечує можливість його застосування в зовнішніх мережах 0,4 кВ при прокладанні в ґрунті з використанням захисних конструктивних рішень (рис.3.10). Переріз жил 120 мм^2 дозволяє зменшити втрати напруги на відхідних лініях та забезпечити необхідну пропускну здатність для живлення груп побутових споживачів у житловому секторі.



Рисунок 3.10 - Кабель марки АВВГ-1 3×120 [32]

3.3 Вимоги щодо прокладання кабелів від трансформаторної підстанції до побутових споживачів

Прокладання кабельних ліній від трансформаторної підстанції до побутових споживачів виконується з дотриманням вимог чинних нормативно-технічних документів з метою забезпечення надійної, безпечної та довготривалої експлуатації системи електропостачання. Прийнята марка кабелю за умов середньої корозійної активності ґрунтів не потребує застосування спеціальних антикорозійних заходів, що відповідає умовам прокладання в розподільчих мережах житлового сектору.

Перетини вулиць з інтенсивним рухом автомобільного транспорту передбачено виконувати методом горизонтального проколу без розкриття дорожнього

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

покриття. Прокол здійснюється на глибині не менше 3 м із прокладанням кабелю в жорсткій гофрованій двошаровій поліетиленовій трубі діаметром 110 мм. З метою підвищення надійності та забезпечення можливості подальшої модернізації мережі паралельно основній трубі передбачається прокладання резервної труби аналогічного типу.

Земляні роботи в зоні прокладання кабельних ліній виконуються виключно ручним способом з метою запобігання пошкодженню існуючих підземних комунікацій та елементів благоустрою. Відповідно до вимог «Правил охорони електричних мереж» уздовж кабельної лінії встановлюється охоронна зона, ширина якої становить по одному метру в кожен бік від крайніх кабелів.

Кабельні лінії прокладаються в ґрунті на глибині не менше 0,7 м, а при перетині проїзних частин і вулиць - на глибині не менше 1,0 м. На орних землях кабелі прокладаються на глибині не менше 1,0 м, при цьому смуга землі над трасою може використовуватися для сільськогосподарських посівів без обмежень. На вводах кабельних ліній до будівель і споруд, а також у місцях їх перетину з підземними інженерними спорудами допускається зменшення глибини закладання до 0,5 м на ділянках довжиною до 5 м за умови обов'язкового захисту кабелю від механічних пошкоджень.

Відстань у просвіті від кабелю, прокладеного безпосередньо в землі, до фундаментів будівель і споруд повинна бути не менше 0,6 м. У траншеї перед укладанням кабелю виконується підсипання знизу, а після прокладання - засипка зверху шаром дрібнозернистого ґрунту, який не містить каміння, будівельного сміття та шлаків, що можуть пошкодити ізоляцію кабелю.

Кабель у ґрунті прокладається з поздовжнім запасом у вигляді «змійки» з величиною запасу не менше 2 % по всій довжині траси з дотриманням вимог СНіП 3.05.06-85, що компенсує можливі температурні деформації та осідання ґрунту. Для захисту від механічних пошкоджень кабелі накриваються одним шаром звичайної глиняної цегли, укладеної поперек траси кабельної лінії.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Після засипання траншеї вздовж траси кабельної лінії встановлюються розпізнавальні та сигнальні знаки у місцях поворотів траси, розташування з'єднувальних муфт, перетину шляхів сполучення, а також на вводах кабелів у будівлі та споруди.

При прокладанні кабельних ліній у зоні зелених насаджень відстань від кабелю до стовбурів дерев повинна бути не менше 2 м. У межах зелених зон із чагарниковими насадженнями допускається зменшення цієї відстані до 0,75 м. Перетини автомобільних доріг виконуються з прокладанням кабелю в трубах із ухилом не менше 2 % в один бік для запобігання накопиченню вологи всередині захисної оболонки.

У місцях перетину силових кабелів з підземними інженерними комунікаціями кабелі прокладаються в захисних трубах. При перетині з водопроводами, газопроводами та каналізаційними мережами вертикальна відстань між кабелем і трубопроводами повинна бути не менше 0,5 м. У зоні перетину кабель обов'язково прокладається в гнучких гофрованих двошарових поліетиленових трубах діаметром 110 мм на довжині не менше 2 м у кожен бік від місця перетину.

При перетині кабельних ліній між собою вони повинні бути розділені шаром ґрунту товщиною не менше 0,25 м. Горизонтальна відстань у просвіті від проєктованого кабелю до водо-, газо- та теплопроводів повинна бути не менше 1,0 м, а до кабелів зв'язку - не менше 0,5 м. Відстань по горизонталі від кабельної лінії до підземної частини опори повітряної лінії напругою до 1 кВ, опори контактної електромережі або опори зв'язку повинна становити не менше 1,0 м, а при прокладанні кабелю на ділянці зближення в неметалевій трубі достатньої механічної міцності допускається зменшення цієї відстані до 0,5 м.

Дотримання наведених вимог забезпечує механічну цілісність кабельних ліній, електробезпеку, можливість безпечної експлуатації та обслуговування мереж, а також відповідність проєктних рішень чинним нормативним документам у сфері електропостачання побутових споживачів.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі розроблено електромережу підключення трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ до побутових споживачів житлового сектору з урахуванням умов прокладання, вимог надійності та електробезпеки. Обґрунтовано трасування кабельних ліній 10 кВ і 0,4 кВ з прив'язкою до існуючих інженерних споруд, визначено доцільні способи прокладання кабелів у ґрунті із застосуванням захисних конструкцій (цегла, поліетиленові труби, металеві кожухи) залежно від умов траси.

Виконано підбір марок і поперечних перерізів кабелів для мереж 10 кВ і 0,4 кВ з урахуванням допустимих тривалих струмів, втрат напруги, а також термічної і динамічної стійкості при коротких замиканнях. Для мережі 10 кВ прийнято кабель ААБЛУ-10 3×120, а для мережі 0,4 кВ – кабель АВВГ-1 3×120, що забезпечує необхідну пропускну здатність, механічну міцність і надійність електропостачання побутових споживачів.

Сформульовано основні вимоги до прокладання кабельних ліній, зокрема щодо глибини закладання, мінімальних відстаней до інших інженерних мереж, радіусів вигину, улаштування запасів кабелю та захисту в місцях перетинів і зближень. Дотримання наведених рішень і нормативних вимог забезпечує довговічну, безпечну та стабільну роботу зовнішніх електромереж і надійне електропостачання житлового сектору від проєктованої трансформаторної підстанції.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне обґрунтування, проектування та технічну розробку системи електропостачання побутових споживачів на основі комплектної трансформаторної підстанції класу напруги 10/0,4 кВ, що відповідає сучасним вимогам до надійності, безперервності живлення та електробезпеки.

У першому розділі на основі аналізу літературних і нормативно-технічних джерел встановлено особливості електропостачання житлового сектору, зумовлені нерівномірністю навантажень і зростанням електроспоживання. Узагальнено призначення, структуру та класифікацію трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, розглянуто конструктивні та енергетичні характеристики силових трансформаторів, а також схеми підключення підстанцій до розподільчих мереж. Отримані результати створили теоретичну основу для прийняття технічно обґрунтованих проєктних рішень у наступних розділах.

У другому розділі обґрунтовано доцільність застосування двотрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ з резервуванням потужності для електропостачання житлового сектору. Сформовано вихідні дані проєктування та виконано вибір двох трансформаторів ТМГ-1000 У1 зі схемою з'єднання Y/Y_n-0 , що забезпечує живлення однофазних і трифазних споживачів та виконання вимог електробезпеки. Розроблено конструктивне виконання КТП, рішення щодо розподільчих пристроїв 10 кВ і 0,4 кВ, фундаменту та системи заземлення з нормованим опором розтікання не більше 4 Ом. Запропоновані рішення забезпечують нормативну якість електроенергії, надійність роботи та безпечну експлуатацію підстанції в нормальних і післяаварійних режимах.

У третьому розділі розроблено зовнішні електромережі 10 кВ і 0,4 кВ для підключення трансформаторної підстанції до побутових споживачів. Обґрунтовано трасування кабельних ліній з урахуванням існуючих інженерних комунікацій і умов забудови, визначено способи прокладання кабелів у ґрунті із застосуванням захисних конструкцій. Виконано підбір марок і перерізів кабелів, які

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

забезпечують допустимі струмові навантаження, мінімальні втрати напруги та стійкість до струмів короткого замикання. Сформульовано вимоги до прокладання кабельних ліній, дотримання яких гарантує довговічність, механічну цілісність і безпечну експлуатацію мереж.

У цілому виконана магістерська робота є завершеним технічним проєктом, у якому послідовно вирішено задачі аналізу, проєктування та обґрунтування трансформаторної підстанції і мереж її підключення. Запропоновані технічні рішення відповідають чинним нормативним документам, забезпечують високий рівень надійності та електробезпеки і можуть бути використані як основа для практичної реалізації системи електропостачання житлового сектору.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії : підручник / В. М. Охріменко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 286 с.

2. Споживачі електроенергії (Лекції для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання). Укл. О.В.Саприка, Ю.П.Кравченко. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 74 с.

3. Соловей О.І., Чернявський А.В., Ситник О.О., Ткаченко В.Ф. Курбака Г.В. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навчальний посібник. Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І, 2018. – 132с.

4. Коваленко О.І., Коваленко, Л.Р. Основи електропостачання : навчальний посібник. Одеса : Олді+, 2025. 237 с.

5. Бурбело М.Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М.Й. Бурбело, О.О. Бірюков, Л.М. Мельничук. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204с.

6. Калюжний Д. М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання) / Д.М. Калюжний, А. О. Карюк, І. Є. Щербак; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 124 с.

7. Виробництво, перетворення, розподіл і споживання електричної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://boigor.blogspot.com/2019/02/blog-post.html>.

8. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://enext.ua/upload/books/pueh_ukraina_2017.pdf.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

9. Підстанції трансформаторні типу БКТП 400...2500/6(10)/0,4-У1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eastexpress.com.ua/uk/products/podstanczii-transformatornye-tipa-bktp-400-2500-610-04-u1/>.

10. Комплектні трансформаторні підстанції (КТП) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lk-energy.com.ua/ktp-2/>.

11. Поняття та Види ДБН: Повний перелік на 2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1>.

12. ДСТУ 3399-96. Підстанції трансформаторні комплектні потужністю від 25 до 2500 кВ·А на напругу до 10 кВ. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dnaop.com/html/61451/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_3399-96

13. Єрмілова Н.В. Навчальний посібник до самостійного вивчення матеріалу «Електрообладнання та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості» з дисципліни «Електротехніка та електропостачання» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Н.В. Єрмілова; за заг.ред. Н.В. Єрмілової. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 76 с.

14. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

15. Електрична частина станцій і підстанцій : Конспект лекцій для здобувачів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [Електронне видання] / укл.: В. М. Козін, О. Ю. Савойський, О. В. Рясна. – Суми, 2025 – 279 с.

16. Електричні станції і підстанції [текст]: конспект лекцій для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

денної форми навчання / уклад. Євсюк М.М. – Луцьк: Технічний коледж Луцького НТУ, 2018. – 210 с.

17. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. д-ра техн. наук, професора. В. І. Мілих. - Київ: Каравела, 2018. – 452 с.

18. Класифікація силових масляних трансформаторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/a480436-klassifikatsiya-silovyh-maslyanyh.html>.

19. Комплектна трансформаторна підстанція для міських мереж КТП 25-1000/10(6)/0,4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukrelcom.com/ktpy250_1000_uk.php.

20. Щоглова комплектна трансформаторна підстанція КТПМ-100/10/0,4 У1 з масляним трансформатором [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://use.com.ua/ua/p1519480464-machtovaya-komplektnaya-transformatornaya.html>

21. Комплектна трансформаторна підстанція 160/10/0,4, У1 тупикова кіоскового типу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://use.com.ua/ua/p1519859876-komplektnaya-transformatornaya-podstantsiya.html>.

22. Блочна комплектна трансформаторна підстанція БКТП-400...2500/6(10)/0,4-У1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1910273918-blochnaya-komplektnaya-transformatornaya.html>.

23. Підстанції у бетонній оболонці типу БКТП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://max-electro.com.ua/ua/bktp-betonnaya-transformatornaya-podstantsiya>.

24. Внутрішньо-цехова трансформаторна підстанція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Внутрішньо-цехова трансформаторна підстанція <https://aicen.com.ua/ua/p1103691698-ktp-1000-kva.html>.

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

25. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання” (скорочений курс лекцій, частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Павло Вусатий, Микола Потапський, Ігор Гарасимчук (За загальною редакцією Павла Потапського). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. – 127с.

26. Вимоги та норми встановлення трансформаторних підстанцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aicen.com.ua/ua/a511713-trebovaniya-normy-ustanovki.html>.

27. Трансформатор ТМ-1000/10 У1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://transf.com.ua/product/transformator-tm-1000-10-u1/>.

28. Розподільчі пристрої високої напруги (10 – 35 кВ) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://teks-general.com.ua/ua/products-ua/distribution-devices-10-35-kv-ua>.

29. Розподільчі пристрої низької напруги (0,4 кВ) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://teks-general.com.ua/ua/products-ua/distribution-devices-04-kv-ua>.

30. Бондаренко, Є.А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка : навч. посіб. / Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 120 с.

31. Кабель АСБл-10 3х120 (ож) Южкабель [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://amperok.com.ua/ru/kabel_asbl-10_3_120_ozh_pivdenkabel?gclid=CjwKCAiA3rPKBhBZEiwAhPNFQGMG1XntHPwUpbucBY3lsZbl3mpIjeENqE_0xykY-GRI94rtCXlk2xoCrT0QAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Shop_all&utm_term=&utm_content=785279554963.

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк. 72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

32. Кабель АВВГ 4х120 1 (см) Южкабель [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://amperok.com.ua/ru/kabel_avvg_4_120_1_sm_pivdenkabel?gclid=CjwKCAiA3rPKBhBZEiwAhPNFQIPm0XqTHk1LzdCAK4wO8GMFnYME-m7iYzPnk50qvaPNtenxLOtwhoCYQIQAvD_BwE&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PMax_Znyzhki&utm_term=&utm_content=

					МРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					MPMA25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		