

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ Євген АНТИПОВ

(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: “Електропостачання механізмів будівельного майданчика з встановленням КТП 10/0,4 кВ”

Спеціальність 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” _____

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»

02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Світлана МАКАРЕВИЧ

(ПІБ)

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Андрій ПЕТРЕНКО

(ПІБ)

Виконав

(Підпис)

Валентин ВОЙТОВИЧ

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Войтовичу Валентину Васильовичу

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами» _____

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: "Електропостачання механізмів будівельного майданчика з встановленням КТП 10/0,4 кВ "

затверджена наказом ректора НУБіП України від "30" 10. 2025 р. № 2606 "С"

Термін подання завершеного проекту на кафедру "29" травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: каталоги електрообладнання; вимоги ПУЕ; ситуаційний план електропостачання, електричне навантаження

Перелік питань, які потрібно вирішити: провести аналіз ситуаційного плану будівельного майданчика, проаналізувати електричне навантаження, розрахувати електричні параметри схеми електропостачання, розрахувати і вибрати обладнання для КТП 10/0,4 кВ, розрахувати і вибрати електричні кабелі для мережі напругою 10 і 0,4 кВ, скласти специфікацію електротехнічного обладнання, описати заходи з охорони праці при виконанні робіт в установках з підвищеною небезпекою

Перелік графічних документів: презентація виконана в Microsoft PowerPoint

Дата видачі завдання: 30.10.2025 р.

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Андрій ПЕТРЕНКО

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

Валентин ВОЙТОВИЧ

РЕФЕРАТ

Метою роботи є розроблення технічно обґрунтованої системи електропостачання механізмів будівельного майданчика зі встановленням комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, що забезпечує надійне та безпечне електроживлення будівельних механізмів і допоміжного обладнання.

Об'єктом дослідження є система електропостачання будівельного майданчика зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку.

Предметом дослідження є методи розрахунку електричних навантажень, вибору комплектної трансформаторної підстанції, кабельних ліній, комутаційних та захисних апаратів для мереж напругою 10 кВ і 0,4 кВ.

У роботі виконано аналіз ситуаційного плану будівельного майданчика та складу електричних навантажень споживачів. Визначено встановлену, активну, реактивну та повну потужності електроприймачів, до складу яких входять баштовий кран, будівельні підйомники, бетонозмішувачі, компресорне обладнання, зварювальні пости, насоси, побутові приміщення та системи освітлення.

За результатами розрахунків отримано сумарну встановлену потужність 312,5 кВт, розрахункову активну потужність 158,5 кВт, реактивну потужність 122,4 квар та повну потужність 200,3 кВА. Для забезпечення електропостачання будівельного майданчика обґрунтовано вибір комплектної трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА.

Виконано вибір кабельних ліній мережі 0,4 кВ та кабельної лінії 10 кВ, розраховано втрати напруги та струми короткого замикання, здійснено вибір апаратів керування і захисту. Проведено перевірку вибраного обладнання за нормальними та аварійними режимами роботи. Розроблено специфікацію електротехнічного обладнання та заходи з охорони праці, включаючи розрахунок захисного заземлення комплектної трансформаторної підстанції.

Ключові слова: будівельний майданчик, електропостачання, комплектна трансформаторна підстанція, КТП 10/0,4 кВ, електричне навантаження, кабельна лінія, автоматичний вимикач, струм короткого замикання, заземлення, охорона праці.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	11
АНАЛІЗ СИТУАЦІЙНОГО ПЛАНУ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ	11
1.1. Аналіз ситуаційного плану будівельного майданчика.....	11
1.2. Аналіз електричного навантаження споживачів	13
1.3. Вимоги правил улаштування електроустановок	16
Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2	20
РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 кВ.....	20
2.1. Опис електричної схеми електропостачання	20
2.2. Розрахунок електричного навантаження споживачів	24
2.3. Розрахунок та вибір електричних кабелів напругою 0,4 кВ	26
2.4. Розрахунок та вибір електричних апаратів керування та захисту 0,4 кВ	28
Висновки до розділу 2.....	30
РОЗДІЛ 3	32
РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКТНОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 10/0.4 кВ	32
3.1. Розрахунок потужності силового трансформатора	32
3.2. Вибір типу силового трансформатора.....	34
3.3. Розрахунок та вибір електрообладнання КТП на напругу 10 кВ	37
3.4. Перевірка вибраного обладнання на аварійні режими роботи	41

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Електропостачання механізмів будівельного майданчика з встановленням КТП 10/0,4 кВ			
Розробив		Войтович В.В.						
Перевірив		Петренко А.В.						
Н. контр.								
Затвердив		Антипов Є. О.						
					Літера	Аркуш	Аркушів	
						5		

РОЗДІЛ 4	46
РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 10 КВ	46
4.1. Визначення траси прокладання зовнішньої електричної мережі	46
4.2. Розрахунок та вибір електричного кабелю	47
4.3. Визначення втрат напруги та потужності у кабельній лінії	49
4.4. Розрахунок струмів коротких замикань в кабельній лінії	50
4.5. Розрахунок та вибір апаратів захисту кабельної лінії	52
4.6. Висновки до розділу 4	53
РОЗДІЛ 5	54
ОПИС СПЕЦИФІКАЦІЇ ВИБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ	54
5.1. Огляд вимог до специфікації електричного обладнання	54
5.2. Специфікація на обладнання напругою 0,4 кВ	55
5.3. Специфікація на обладнання напругою 10 кВ	57
5.4. Специфікація на обладнання КТП	58
5.5. Висновки до розділу 5	59
РОЗДІЛ 6	60
ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ В УСТАНОВКАХ З ПІДВИЩЕНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ	60
6.1. Загальні положення з охорони праці	60
6.2. Захист людей від ураження електричним струмом	61
6.3. Влаштування контуру заземлення підстанції	62
6.4. Висновки до розділу 6	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

FU – запобіжник;

I_{доп} – допустимий тривалий струм кабелю, А;

I_к – струм короткого замикання, кА.

I_р – розрахунковий струм, А;

P_{вст} – встановлена потужність, кВт;

P_р – розрахункова активна потужність, кВт;

QF – автоматичний вимикач;

QS – роз'єднувач;

Q_р – розрахункова реактивна потужність, квар;

S_р – розрахункова повна потужність, кВА;

U_н – номінальна напруга, кВ;

ΔU – втрата напруги, В;

$\Delta U\%$ – відносна втрата напруги, %;

АВВГ – силовий кабель з алюмінієвими жилами та полівінілхлоридною ізоляцією;

КЗ – коротке замикання;

КЛ – кабельна лінія;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ОПН – обмежувач перенапруг;

ПЛ – повітряна лінія електропередачі;

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;

РУ – розподільчий пристрій;

T1 – силовий трансформатор;

ТА – трансформатор струму;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						7
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Бакалаврська кваліфікаційна робота Войтовича В. В., студента четвертого курсу, спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Інжиніринг енергосистем з відновлювальними джерелами» виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Київ, 2026 рік. на тему «Електропостачання механізмів будівельного майданчика з встановленням КТП 10/0,4 кВ».

Робота містить 69 сторінок, 6 рисунків, 29 таблиць, 25 джерел літератури.

Будівельні майданчики належать до об'єктів тимчасового електропостачання з підвищеною динамікою навантаження. На відміну від стаціонарних промислових або житлових об'єктів, склад електроприймачів будівельного майданчика змінюється залежно від етапу виконання робіт, режиму експлуатації механізмів, кількості працюючих бригад і тривалості змін. Основними споживачами електричної енергії є баштові крани, будівельні підйомники, бетонозмішувачі, компресори, зварювальні пости, насосне обладнання, ручний електроінструмент, побутові приміщення та системи тимчасового освітлення.

Ефективна організація електропостачання будівельного майданчика має важливе значення для безперервності технологічного процесу, безпеки персоналу та раціонального використання електроенергії. Неправильний вибір потужності трансформаторної підстанції, перерізів кабельних ліній або апаратів захисту може призвести до перевантаження мережі, надмірних втрат напруги, помилкових спрацювань захисту, пошкодження електрообладнання та простоїв будівельної техніки.

Для умов будівництва 9-поверхового житлово-адміністративного будинку доцільним є застосування комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, яка забезпечує перетворення електричної енергії з напруги 10 кВ на напругу 0,4 кВ та живлення основних електроприймачів за радіальною схемою. Така схема є зручною для тимчасових мереж, оскільки дозволяє окремо захищати й вимикати групи навантаження, локалізувати пошкодження та забезпечувати безпечне обслуговування електроустановок.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

У роботі як умовне підприємство прийнято ТОВ «Будмонтаж-Сервіс», яке виконує зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку в Київській області. Живлення будівельного майданчика передбачається від існуючої мережі 10 кВ через кабельну лінію довжиною 0,42 км і комплектну трансформаторну підстанцію КТП 10/0,4 кВ. Електроприймачі об'єкта належать переважно до III категорії надійності електропостачання, тому для об'єкта приймається один ввід від мережі 10 кВ з подальшим розподілом електроенергії на шини 0,4 кВ.

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена потребою у технічно обґрунтованому проєктуванні системи електропостачання механізмів будівельного майданчика з урахуванням вимог безпечної експлуатації, допустимих втрат напруги, струмів короткого замикання, умов прокладання кабельних ліній та вибору електрообладнання комплектної трансформаторної підстанції. Проєктні рішення мають забезпечити надійне живлення будівельних механізмів, освітлення, побутових приміщень і допоміжного обладнання.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технічно обґрунтованої системи електропостачання механізмів будівельного майданчика зі встановленням КТП 10/0,4 кВ шляхом аналізу електричного навантаження, вибору силового трансформатора, кабельних ліній, апаратів керування та захисту, а також перевірки вибраного обладнання за нормальними й аварійними режимами роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. проаналізувати ситуаційний план будівельного майданчика; визначити склад і режими роботи електроприймачів;
2. виконати розрахунок встановленої, активної, реактивної та повної потужності навантаження;
3. обґрунтувати вибір КТП 10/0,4 кВ;
4. виконати вибір кабельних ліній 0,4 кВ і 10 кВ;
5. розрахувати втрати напруги та струми короткого замикання; вибрати електричні апарати керування й захисту;
6. сформулювати специфікацію обладнання;
7. розробити заходи з охорони праці та заземлення підстанції.

Об'єктом дослідження є система електропостачання будівельного майданчика зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку. Предметом

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дослідження є методи розрахунку електричних навантажень, вибору комплектної трансформаторної підстанції, кабельних ліній, комутаційних і захисних апаратів для мереж 10 кВ і 0,4 кВ.

Методи дослідження включають інженерний аналіз електричних навантажень, розрахунок активної, реактивної та повної потужності, визначення робочих струмів, перевірку кабельних ліній за нагріванням і втратою напруги, розрахунок струмів короткого замикання, а також порівняння параметрів вибраного обладнання з нормативними та каталожними вимогами.

Практична значущість роботи полягає у формуванні комплексу технічних рішень, які можуть бути використані для організації тимчасового електропостачання будівельного майданчика. Запропонована система з КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА забезпечує живлення основних будівельних механізмів, має резерв для пускових режимів електродвигунів і дозволяє виконати подальший вибір кабельних ліній, апаратів захисту, обладнання 10 кВ та контуру заземлення.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИТУАЦІЙНОГО ПЛАНУ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
СПОЖИВАЧІВ

1.1. Аналіз ситуаційного плану будівельного майданчика

Будівельний майданчик, прийнятий для розрахунків, належить умовному підприємству ТОВ «Будмонтаж-Сервіс» і призначений для зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку. Об'єкт розташований у Київській області. Електропостачання передбачається від існуючої мережі 10 кВ через комплектну трансформаторну підстанцію КТП 10/0,4 кВ, яка встановлюється поблизу основних електричних навантажень будівельного майданчика.

Ситуаційний план є вихідним документом для вибору схеми електропостачання, розміщення КТП, прокладання кабельних ліній і визначення орієнтовних довжин відхідних ліній 0,4 кВ. Розміри будівельного майданчика становлять 120 × 80 м. Основними зонами електроспоживання є зона роботи баштового крана, ділянки роботи будівельних підйомників, бетонозмішувального та зварювального обладнання, насосна зона, побутові вагончики, тимчасове освітлення будівлі та зовнішнє освітлення території.

З огляду на відносно компактні розміри майданчика та змінний характер навантаження приймається радіальна схема розподілу електроенергії. За цією схемою від шин 0,4 кВ КТП окремими кабельними лініями живляться групи споживачів Л-1–Л-8. Радіальна структура спрощує вибір захисту, зменшує вплив пошкодження однієї лінії на роботу інших електроприймачів і дозволяє виконувати технічне обслуговування окремих ділянок без повного знеструмлення майданчика.

Комплектну трансформаторну підстанцію доцільно розміщувати так, щоб забезпечити зручний підхід кабельної лінії 10 кВ, можливість під'їзду обслуговувального транспорту, безпечні відстані до будівельних механізмів і мінімально можливу довжину найбільш навантажених ліній 0,4 кВ. При цьому потрібно враховувати, що баштовий кран, зварювальні пости, компресор і

підйомники формують найбільші струмові навантаження, тому збільшення довжини їх кабельних ліній безпосередньо впливає на втрати напруги.

Узагальнене розміщення КТП і основних груп електроприймачів на будівельному майданчику наведено на рисунку 1.1. Схема має орієнтовний характер і використовується як основа для подальшого вибору довжин кабельних ліній та електрообладнання.

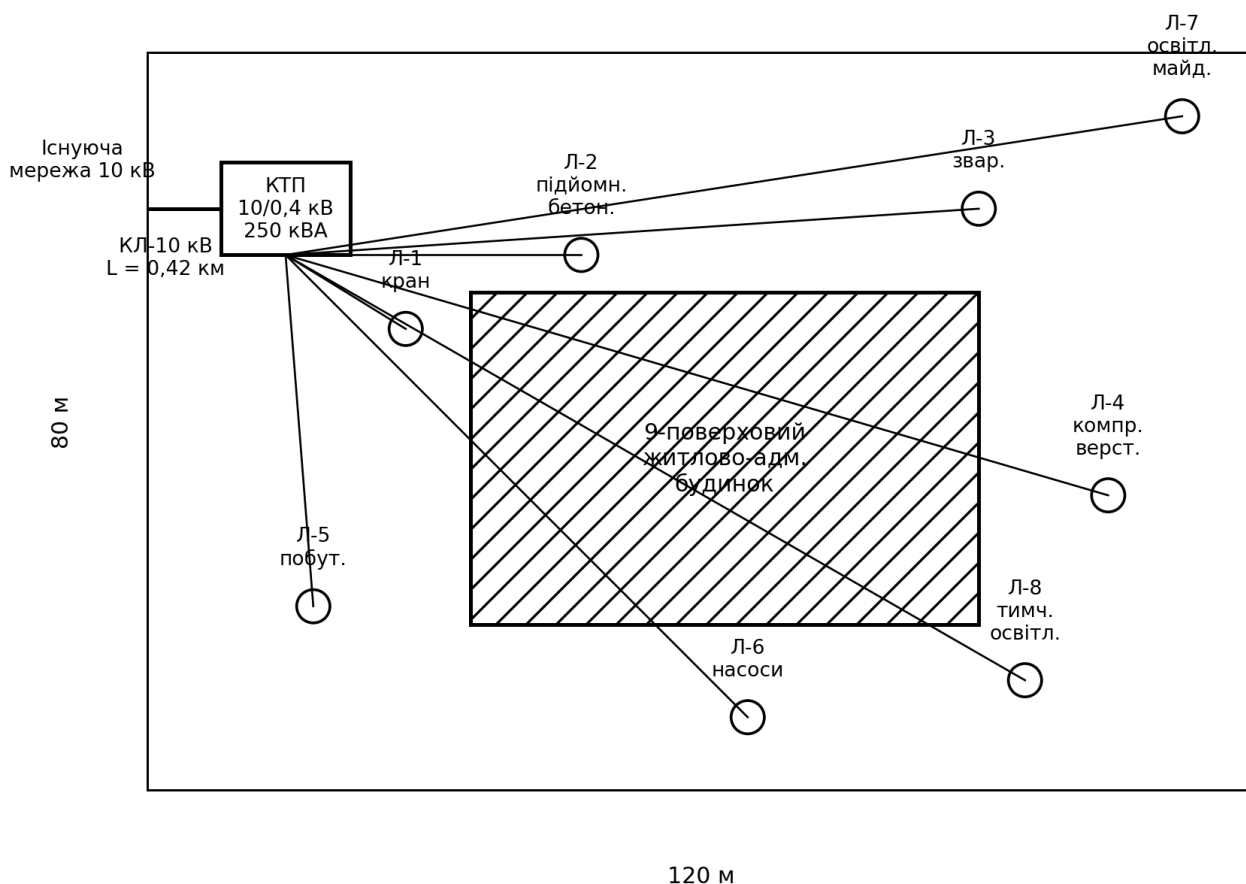


Рис. 1.1 – Узагальнений ситуаційний план будівельного майданчика

Вихідні параметри об'єкта, прийняті для подальших розрахунків, наведено в таблиці 1.1. Вони визначають клас напруги мережі, категорію електроприймачів, допустимі технічні обмеження та базові умови вибору КТП.

Таблиця 1.1

Основні вихідні дані будівельного майданчика

Показник	Прийняте значення
Підприємство	ТОВ «Будмонтаж-Сервіс»

Показник	Прийняте значення
Об'єкт електропостачання	Будівельний майданчик зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку
Розташування об'єкта	Київська область
Напруга живильної мережі	10 кВ
Напруга розподільної мережі	0,4 кВ
Частота мережі	50 Гц
Довжина кабельної лінії 10 кВ до КТП	0,42 км
Розміри будівельного майданчика	120 × 80 м
Категорія надійності електропостачання	III категорія
Допустима втрата напруги у мережі 0,4 кВ	до 5 %
Потужність КЗ на шинах 10 кВ	100 МВА
Прийнята трансформаторна підстанція	КТП 10/0,4 кВ, 250 кВА

Отже, аналіз ситуаційного плану показує, що електропостачання будівельного майданчика доцільно виконувати від комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ за радіальною схемою. Такий підхід відповідає тимчасовому характеру об'єкта, забезпечує роздільне живлення основних груп електроприймачів і створює основу для подальших розрахунків електричних навантажень, кабельних ліній та апаратів захисту.

1.2. Аналіз електричного навантаження споживачів

Електричне навантаження будівельного майданчика формується технологічними механізмами, зварювальним обладнанням, насосами, системами освітлення та побутовими споживачами. На відміну від стаціонарних об'єктів, для будівельного майданчика характерна нерівномірна робота обладнання: окремі механізми працюють циклічно, частина електроприймачів вмикається короткочасно, а освітлення та побутові споживачі мають більш стабільний режим протягом робочого часу.

Розрахунок навантаження виконується за встановленою потужністю, коефіцієнтом використання та коефіцієнтом потужності окремих груп електроприймачів. Такий підхід дозволяє отримати не тільки сумарну встановлену

потужність, а й більш реалістичну розрахункову потужність, яка враховує фактичну одночасність і тривалість роботи обладнання.

$$P_{вст.i} = n_i \cdot P_{н.i}, \text{ кВт} \quad (1.1)$$

$$P_{р.i} = P_{вст.i} \cdot k_{в.i}, \text{ кВт} \quad (1.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi_i) / \cos \varphi_i} \quad (1.3)$$

$$Q_{р.i} = P_{р.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (1.4)$$

$$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}, \text{ кВА} \quad (1.5)$$

У формулах (1.1)–(1.5) n_i – кількість однотипних електроприймачів; $P_{н.i}$ – номінальна потужність одного електроприймача; $P_{вст.i}$ – встановлена потужність групи; $k_{в.i}$ – коефіцієнт використання; $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності; $P_{р.i}$, $Q_{р.i}$ та S_p – відповідно активна, реактивна й повна розрахункові потужності.

Перелік електроприймачів будівельного майданчика, прийнятий для розрахунків, наведено у таблиці 1.2. У таблиці виділено як технологічні механізми, так і допоміжні навантаження, оскільки всі вони впливають на вибір потужності трансформатора та параметрів мережі 0,4 кВ.

Таблица 1.2

Перелік електроприймачів будівельного майданчика

№	Електроприймач	К-ть	P1, кВт	P _{вст} , кВт	кв	cosφ
1	Баштовий кран	1	75,0	75,0	0,50	0,75
2	Будівельні підйомники	2	11,0	22,0	0,40	0,75
3	Бетонозмішувачі	2	7,5	15,0	0,45	0,80
4	Розчинонасос	1	18,5	18,5	0,55	0,80
5	Компресор пересувний	1	30,0	30,0	0,55	0,82
6	Зварювальні пости	5	8,0	40,0	0,40	0,55
7	Глибинні вібратори бетону	8	1,5	12,0	0,30	0,70
8	Верстати різання, свердління, гнуття	4	4,0	16,0	0,40	0,75
9	Дренажні насоси	2	5,5	11,0	0,65	0,80
10	Побутові вагончики	5	5,0	25,0	0,65	0,95
11	Освітлення будівельного майданчика	1	18,0	18,0	0,80	0,95
12	Тимчасове освітлення будівлі	1	10,0	10,0	0,70	0,95

№	Електроприймач	К-ть	P1, кВт	Pвст, кВт	кв	cosφ
13	Малий ручний електроінструмент	1	20,0	20,0	0,40	0,80
-	Разом			312,5		

За даними таблиці 1.2 сумарна встановлена потужність електроприймачів становить 312,5 кВт. Однак ця величина не може безпосередньо використовуватись для вибору трансформатора, оскільки одночасна робота всіх механізмів з номінальним навантаженням є малоюмовірною. Тому подальше оцінювання виконується за розрахунковими активними та реактивними складовими.

$$P_p = \sum P_{p.i} = 158,53 \text{ кВт} \quad (1.6)$$

$$Q_p = \sum Q_{p.i} = 122,39 \text{ квар} \quad (1.7)$$

$$S_p = \sqrt{(158,53^2 + 122,39^2)} = 200,28 \text{ кВА} \quad (1.8)$$

$$\cos\varphi_p = P_p / S_p = 158,53 / 200,28 = 0,79 \quad (1.9)$$

Отриманий коефіцієнт потужності $\cos\varphi_p = 0,79$ пояснюється значною часткою електродвигунного та зварювального навантаження. Найбільший вплив на сумарну потужність мають баштовий кран, група підйомників і бетонного обладнання, зварювальні пости, компресор, верстати та вібратори. Співвідношення встановленої та розрахункової активної потужності за основними лініями 0,4 кВ наведено на рисунку 1.2.

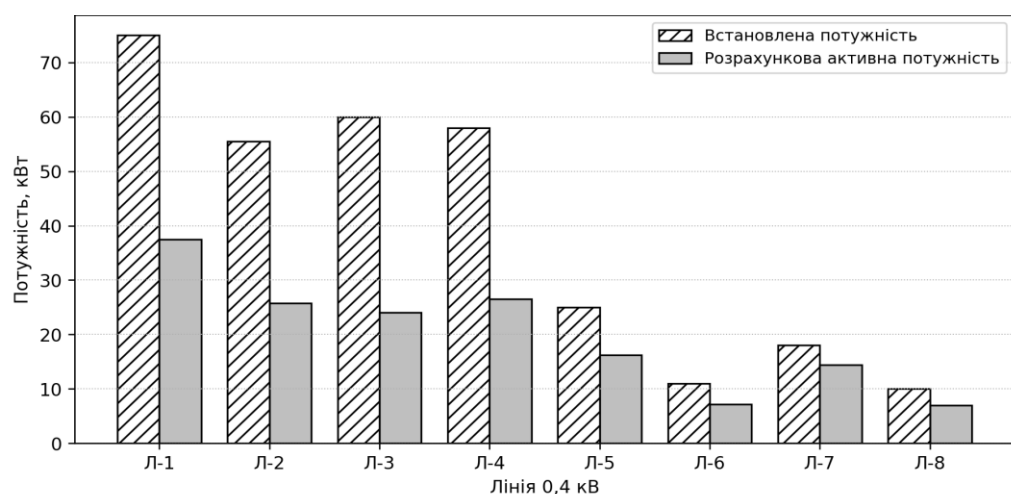


Рис.1.2 – Порівняння встановленої та розрахункової активної потужності споживачів

Для подальшого розподілу навантаження від шин 0,4 кВ КТП електроприймачі об'єднано у вісім групових ліній. Такий поділ враховує територіальне розміщення механізмів, призначення навантаження та необхідність окремого захисту найбільш потужних споживачів. Прийнятий розподіл наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Розподіл відхідних ліній 0,4 кВ від КТП

Лінія	Група споживачів	Рвст, кВт	Орієнтовна довжина, м
Л-1	Баштовий кран	75,0	70
Л-2	Підйомники, бетонозмішувачі, розчинонасос	55,5	95
Л-3	Зварювальні пости та ручний інструмент	60,0	120
Л-4	Компресор, верстати, вібратори	58,0	85
Л-5	Побутові вагончики	25,0	55
Л-6	Дренажні насоси	11,0	80
Л-7	Зовнішнє освітлення майданчика	18,0	160
Л-8	Тимчасове освітлення будівлі	10,0	110

Розрахункова повна потужність 200,28 кВА є основою для подальшого вибору силового трансформатора. З урахуванням коефіцієнта запасу 1,15 потрібна потужність трансформатора становить 230,32 кВА, тому в подальших розрахунках приймається КТП 10/0,4 кВ з трансформатором стандартної потужності 250 кВА. Прийняте рішення забезпечує резерв для пускових режимів електродвигунів і короткочасної одночасної роботи будівельних механізмів.

1.3. Вимоги правил улаштування електроустановок

Проектування системи електропостачання будівельного майданчика повинно виконуватися з урахуванням вимог чинних нормативних документів у сфері електроенергетики, електробезпеки та будівельного проектування. До основних документів, які визначають вимоги до вибору схеми, електрообладнання, кабельних ліній, захисних апаратів і заземлення, належать Правила улаштування

електроустановок, Кодекс систем розподілу, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, а також відповідні державні будівельні норми.

Для будівельного майданчика електроприймачі віднесено переважно до III категорії надійності електропостачання. Це означає, що для живлення об'єкта допускається застосування одного джерела живлення за умови дотримання вимог до захисту, заземлення, допустимих втрат напруги та безпечної експлуатації. У роботі приймається один ввід від мережі 10 кВ до КТП 10/0,4 кВ з подальшим радіальним розподілом електроенергії на стороні 0,4 кВ.

Електрообладнання повинно вибиратися за номінальною напругою, тривалим робочим струмом, вимикальною здатністю, стійкістю до струмів короткого замикання та умовами навколишнього середовища. Для тимчасових мереж будівельного майданчика особливо важливими є механічний захист кабелів, правильне розміщення шаф і розподільних пристроїв, наявність захисного заземлення, застосування автоматичних вимикачів з достатньою вимикальною здатністю та можливість оперативного відключення пошкодженої ділянки.

На стороні 10 кВ КТП повинні бути передбачені апарати для комутації трансформатора, захисту від коротких замикань і перенапруг, а також пристрої для безпечного виконання ремонтних робіт. На стороні 0,4 кВ необхідно передбачити ввідний автоматичний вимикач і групові апарати захисту для кожної відхідної лінії. Для електродвигунних навантажень доцільно застосовувати апарати з характеристиками, що враховують пускові струми, а для освітлювальних ліній – апарати з меншими номіналами та достатньою чутливістю захисту.

Таблиця 1.4

Основні нормативні вимоги до системи електропостачання будівельного майданчика

Напрямок вимог	Зміст вимоги	Урахування в роботі
Схема живлення	Схема повинна забезпечувати надійне та безпечне живлення електроприймачів відповідної категорії	Прийнято радіальну схему від КТП 10/0,4 кВ до ліній Л-1–Л-8

Напрямок вимог	Зміст вимоги	Урахування в роботі
Вибір обладнання	Апарати вибираються за напругою, робочим струмом, вимикальною здатністю та стійкістю до КЗ	Передбачено вибір QS1, QF1, FU1-FU3, QF2-QF10 та перевірку аварійних режимів
Кабельні лінії	Кабелі перевіряються за нагріванням, механічною міцністю та допустимою втратою напруги	Для мережі 0,4 кВ прийнято кабелі АБВГ з перевіркою $\Delta U \leq 5\%$
Захист від КЗ	Вимикальна здатність апарата має перевищувати очікуваний струм короткого замикання	Для шин 0,4 кВ прийнято $I_k = 6,01$ кА; апарати мають $I_{cu} 10-25$ кА
Заземлення	Металеві корпуси електрообладнання повинні бути приєднані до захисного заземлення	У подальших розділах передбачено розрахунок контуру заземлення КТП
Охорона праці	Експлуатація електроустановок виконується з дотриманням правил електробезпеки	У розділі 6 передбачаються організаційні та технічні заходи безпеки

Таким чином, вимоги нормативних документів визначають основні обмеження для подальших розрахунків: вибір обладнання за класом напруги 10 кВ і 0,4 кВ, забезпечення допустимої втрати напруги у мережі 0,4 кВ не більше 5 %, перевірка комутаційних апаратів за струмами короткого замикання, вибір кабельних ліній за тривало допустимим струмом і організація захисного заземлення КТП. Ці вимоги враховуються у наступних розділах роботи.

Висновки до розділу 1

У першому розділі виконано аналіз вихідних даних для проектування системи електропостачання механізмів будівельного майданчика зі встановленням КТП 10/0,4 кВ. Як об'єкт розрахунку прийнято будівельний майданчик ТОВ «Будмонтаж-Сервіс» зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку в Київській області.

Встановлено, що живлення будівельного майданчика доцільно виконувати від існуючої мережі 10 кВ через комплектну трансформаторну підстанцію КТП 10/0,4 кВ. Для розподілу електроенергії на стороні 0,4 кВ прийнято радіальну схему з вісьмома

відхідними лініями, що живлять баштовий кран, підйомники, бетонозмішувачі, зварювальні пости, компресор, верстати, насоси, побутові вагончики та освітлення.

За результатами аналізу електроприймачів сумарна встановлена потужність становить 312,5 кВт. Після врахування коефіцієнтів використання отримано розрахункову активну потужність 158,53 кВт, реактивну потужність 122,39 квар і повну розрахункову потужність 200,28 кВА. Загальний коефіцієнт потужності навантаження становить 0,79.

Попередньо обґрунтовано застосування комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА, оскільки з урахуванням коефіцієнта запасу 1,15 необхідна потужність трансформатора становить 230,32 кВА. Прийнята потужність забезпечує резерв для пускових режимів електродвигунів і нерівномірної роботи будівельних механізмів.

Проаналізовано основні вимоги нормативних документів до улаштування електроустановок будівельного майданчика. Встановлено необхідність подальшого розрахунку кабельних ліній за струмом і втратою напруги, вибору апаратів керування й захисту за вимикальною здатністю, вибору обладнання сторони 10 кВ і розрахунку заземлення КТП. Отримані результати є вихідною базою для розділів 2 і 3, у яких виконується детальний розрахунок мережі 0,4 кВ та комплектної трансформаторної підстанції.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2
РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 0,4 КВ

2.1. Опис електричної схеми електропостачання

Електрична схема електропостачання будівельного майданчика розробляється для забезпечення надійного живлення основних будівельних механізмів, технологічного обладнання, побутових приміщень, насосних установок і систем тимчасового освітлення. Об'єктом електропостачання є будівельний майданчик зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку, що живиться від існуючої мережі 10 кВ через комплектну трансформаторну підстанцію КТП 10/0,4 кВ. Схема приймається радіальною, оскільки такий принцип побудови є простим, зручним для тимчасових електричних мереж будівельного майданчика та дозволяє окремо захищати кожну групу електроприймачів.

Електропостачання будівельного майданчика здійснюється від існуючої повітряної або кабельної мережі напругою 10 кВ. Від точки приєднання до комплектної трансформаторної підстанції прокладається кабельна лінія КЛ-10 кВ довжиною 0,42 км. На вводі КТП передбачено комутаційну та захисну апаратуру напругою 10 кВ, яка забезпечує приймання електроенергії, можливість відключення підстанції, захист силового трансформатора від аварійних режимів і захист ізоляції від перенапруг.

Однолінійну електричну схему електропостачання будівельного майданчика наведено на рисунку 2.1.

На стороні 10 кВ у схемі передбачено роз'єднувач QS1, вимикач навантаження QF1, комплект високовольтних запобіжників FU1–FU3 та обмежувач перенапруг ОПН. Роз'єднувач QS1 призначений для створення видимого розриву кола під час виконання ремонтних або профілактичних робіт. Вимикач навантаження QF1 забезпечує комутацію робочого струму трансформатора.

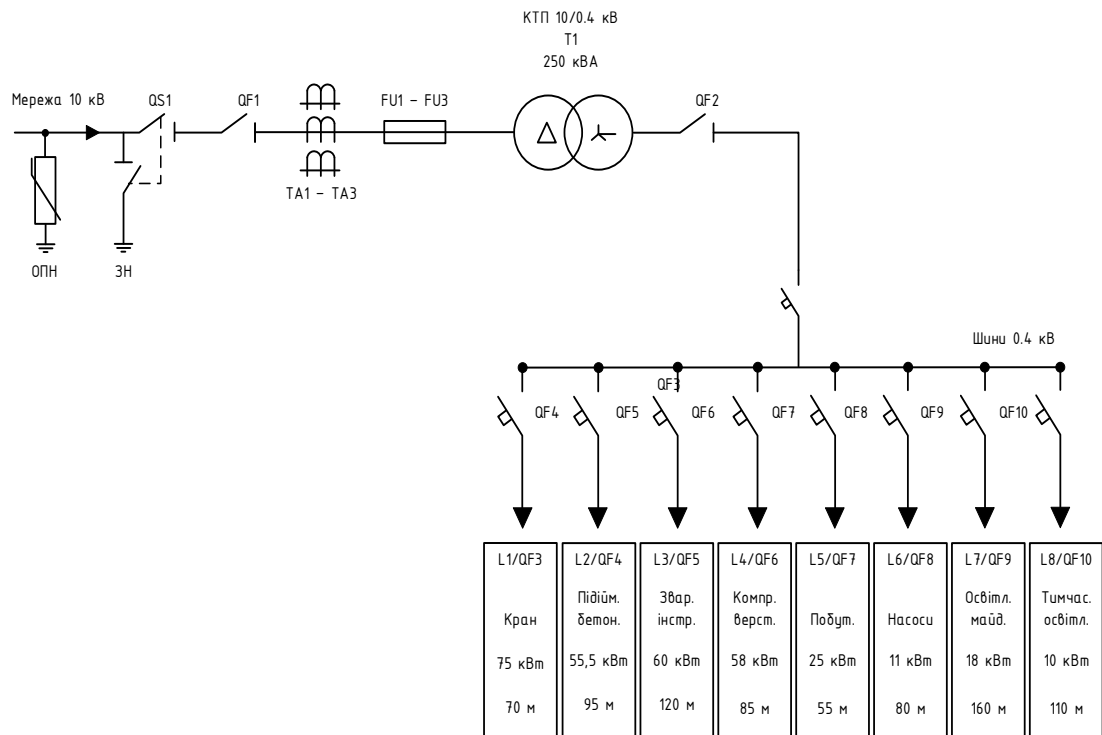


Рис. 2.1 – Однолінійна схема електропостачання будівельного майданчика від КТП 10/0,4 кВ

Високовольтні запобіжники FU1–FU3 виконують функцію захисту трансформатора від коротких замикань і значних аварійних струмів. Обмежувач перенапруг ОПН захищає ізоляцію електрообладнання КТП від грозових та комутаційних перенапруг.

На стороні 10 кВ у схемі передбачено роз'єднувач QS1, вимикач навантаження QF1, комплект високовольтних запобіжників FU1–FU3 та обмежувач перенапруг ОПН. Роз'єднувач QS1 призначений для створення видимого розриву кола під час виконання ремонтних або профілактичних робіт. Вимикач навантаження QF1 забезпечує комутацію робочого струму трансформатора. Високовольтні запобіжники FU1–FU3 виконують функцію захисту трансформатора від коротких замикань і значних аварійних струмів. Обмежувач перенапруг ОПН захищає ізоляцію електрообладнання КТП від грозових та комутаційних перенапруг.

Основним елементом схеми є силовий трансформатор Т1 потужністю 250 кВА з напругою 10/0,4 кВ. Трансформатор призначений для пониження напруги з 10 кВ до 0,4 кВ і живлення трифазних та однофазних електроприймачів будівельного майданчика. За попередніми розрахунками повне навантаження споживачів становить 200,28 кВА, тому прийняття трансформатора 250 кВА забезпечує роботу з необхідним

резервом потужності для пускових режимів електродвигунів і короточасного збільшення навантаження. Коефіцієнт завантаження трансформатора становить 80,1 %, що є допустимим для тривалої експлуатації.

Номінальний струм трансформатора на стороні 10 кВ визначається за формулою:

$$I_{н.ВН} = S_T / (\sqrt{3} \cdot U_{ВН}), \quad (2.1)$$

де $I_{н.ВН}$ – номінальний струм трансформатора на стороні вищої напруги, А; S_T – номінальна потужність трансформатора, кВА; $U_{ВН}$ – номінальна напруга сторони вищої напруги, кВ.

Для прийнятого трансформатора:

$$I_{н.ВН} = 250 / (1,732 \cdot 10) = 14,43 \text{ А}. \quad (2.2)$$

Номінальний струм на стороні 0,4 кВ становить:

$$I_{н.НН} = S_T / (\sqrt{3} \cdot U_{НН}), \quad (2.3)$$

$$I_{н.НН} = 250 / (1,732 \cdot 0,4) = 360,84 \text{ А}. \quad (2.4)$$

Отримані значення використовуються для вибору високовольтної апаратури, ввідного автоматичного вимикача сторони 0,4 кВ і перевірки обладнання на нормальні та аварійні режими роботи.

На стороні 0,4 кВ від трансформатора живиться розподільчий пристрій РУ-0,4 кВ. На вводі низьковольтного розподільчого пристрою встановлюється автоматичний вимикач QF2, який забезпечує загальний захист шин 0,4 кВ і відключення всієї низьковольтної мережі будівельного майданчика у разі аварійного режиму. Для QF2 приймається автоматичний вимикач номіналом 400 А з регульованою уставкою розчіплювача $I_r = 360$ А, що узгоджується з номінальним струмом трансформатора 360,84 А і розрахунковим струмом навантаження 289,1 А.

Від шин 0,4 кВ відходять окремі радіальні лінії Л-1–Л-8. Кожна лінія має власний автоматичний вимикач QF3–QF10, що забезпечує селективне відключення пошкодженої ділянки без знеструмлення всього будівельного майданчика. Такий підхід підвищує надійність експлуатації тимчасової електричної мережі та спрощує обслуговування окремих груп споживачів.

Лінія Л-1 живить баштовий кран потужністю 75 кВт, який є одним із найбільш відповідальних і потужних електроприймачів будівельного майданчика. Для цієї лінії передбачено автоматичний вимикач QF3 і кабельну трасу довжиною 70 м. Лінія Л-2

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

живить групу механізмів, до якої входять будівельні підйомники, бетонозмішувачі та розчинонасос загальною встановленою потужністю 55,5 кВт. Лінія Л-3 призначена для живлення зварювальних постів і малого ручного електроінструменту загальною потужністю 60 кВт. Для цієї групи передбачено окремий захист, оскільки зварювальні установки характеризуються зниженим коефіцієнтом потужності та різкозмінним режимом навантаження.

Лінія Л-4 живить компресор, верстати різання, свердління, гнуття та глибинні вібратори бетону. Загальна встановлена потужність цієї групи становить 58 кВт. Лінія Л-5 призначена для електропостачання побутових вагончиків будівельного майданчика. Лінія Л-6 забезпечує живлення дренажних насосів, які використовуються для відведення води з території будівництва або котловану. Лінія Л-7 живить зовнішнє освітлення будівельного майданчика, а лінія Л-8 – тимчасове освітлення будівлі, що зводиться.

Радіальна побудова мережі 0,4 кВ дозволяє розділити технологічні, побутові та освітлювальні навантаження. Це важливо для будівельного майданчика, оскільки різні групи електроприймачів мають різний режим роботи, коефіцієнт використання та вимоги до захисту. Електродвигунні навантаження потребують урахування пускових струмів, зварювальні пости – запасу за струмом і стійкості до короткочасних перевантажень, а освітлювальні мережі – забезпечення допустимої втрати напруги на найбільш віддалених ділянках.

У попередніх розрахунках для мережі 0,4 кВ прийнято кабелі АВВГ відповідних перерізів: для лінії Л-1 – АВВГ 4×35, для Л-3 – АВВГ 4×25, для Л-2, Л-4 і Л-7 – АВВГ 4×16, для Л-5, Л-6 і Л-8 – АВВГ 4×10. Вибрані кабелі перевіряються за допустимим тривалим струмом і втратою напруги. За результатами розрахунку найбільша втрата напруги не перевищує 3,01 %, що менше допустимого значення 5 %. Отже, прийнята схема та вибрані кабельні лінії забезпечують нормальний рівень напруги на затискачах електроприймачів.

Захист відхідних ліній виконується автоматичними вимикачами QF3–QF10. Для лінії Л-1 прийнято автоматичний вимикач QF3 типу 3P D100, для Л-2 – QF4 типу 3P C63, для Л-3 – QF5 типу 3P C80, для Л-4 – QF6 типу 3P C63, для Л-5 – QF7 типу 3P C32, для Л-6 – QF8 типу 3P C25, для Л-7 – QF9 типу 3P C32, для Л-8 – QF10 типу 3P C16. Вимикальна здатність апаратів відхідних ліній приймається 10 кА, а ввідного

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

вимикача QF2 – 25 кА. Це більше за розрахунковий струм короткого замикання на шинах 0,4 кВ, який становить 6,01 кА, тому прийняті апарати відповідають умовам аварійного режиму.

Прийнята електрична схема електропостачання забезпечує послідовне перетворення та розподіл електроенергії: від мережі 10 кВ через кабельну лінію до КТП, далі через силовий трансформатор Т1 на шини 0,4 кВ і від них до окремих груп споживачів. Така схема є технічно обґрунтованою для будівельного майданчика III категорії надійності, оскільки має просту структуру, достатній резерв потужності, індивідуальний захист ліній і можливість локалізації пошкоджень.

Отже, для електропостачання механізмів будівельного майданчика приймається радіальна схема з живленням від існуючої мережі 10 кВ через КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА. На стороні 10 кВ передбачено комутаційну апаратуру, високовольтні запобіжники та обмежувач перенапруг, на стороні 0,4 кВ – ввідний автоматичний вимикач і окремі відхідні лінії до основних груп електроприймачів. Прийнята схема відповідає характеру навантаження будівельного майданчика, забезпечує надійне живлення механізмів, можливість подальшого вибору кабелів, апаратів захисту та перевірки обладнання на аварійні режими.

2.2. Розрахунок електричного навантаження споживачів

Розрахунок електричного навантаження виконано для електроприймачів будівельного майданчика, що живляться від шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ. До складу навантаження входять баштовий кран, підйомники, бетонозмішувачі, розчинонасос, компресор, зварювальні пости, ручний електроінструмент, дренажні насоси, побутові вагончики та освітлення. Оскільки одночасність роботи механізмів є змінною, розрахунок прийнято виконувати за встановленою потужністю, коефіцієнтом використання та коефіцієнтом потужності окремих груп споживачів.

Встановлена та розрахункова активна потужності i -ї групи електроприймачів визначаються за формулами:

$$P_{\text{вст}i} = n_i \cdot P_{\text{ном}i}, \quad (2.5)$$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						24
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_{pi} = P_{встi} \cdot k_{вi}, \quad (2.6)$$

де n_i - кількість однотипних електроприймачів; $P_{номi}$ - номінальна потужність одного електроприймача, кВт; $k_{вi}$ - коефіцієнт використання встановленої потужності. Реактивна та повна потужності визначаються за залежностями:

$$Q_{pi} = P_{pi} \cdot \tan \varphi_i, \quad (2.7)$$

$$\tan \varphi_i = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i}}{\cos \varphi_i}, \quad (2.8)$$

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}. \quad (2.9)$$

Для баштового крана $P_{вст1} = 1 \cdot 75 = 75$ кВт, $P_{p1} = 75 \cdot 0,50 = 37,5$ кВт. За $\cos \varphi = 0,75$ значення $\tan \varphi = 0,882$, тому $Q_{p1} = 37,5 \cdot 0,882 = 33,1$ квар, а $S_{p1} = 50,0$ кВА. Аналогічно виконано розрахунок для інших споживачів, результати наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахунок електричного навантаження споживачів будівельного майданчика

№	Електроприймач	Рвст, кВт	кв	cosφ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	Кран баштовий	75,0	0,50	0,75	37,5	33,1	50,0
2	Підйомники	22,0	0,40	0,75	8,8	7,8	11,7
3	Бетонозмішувачі	15,0	0,45	0,80	6,8	5,1	8,4
4	Розчинонасос	18,5	0,55	0,80	10,2	7,6	12,7
5	Компресор	30,0	0,55	0,82	16,5	11,5	20,1
6	Зварювальні пости	40,0	0,40	0,55	16,0	24,3	29,1
7	Вібратори бетону	12,0	0,30	0,70	3,6	3,7	5,1
8	Верстати	16,0	0,40	0,75	6,4	5,6	8,5
9	Дренажні насоси	11,0	0,65	0,80	7,2	5,4	8,9
10	Побутові вагончики	25,0	0,65	0,95	16,3	5,3	17,1
11	Освітлення майданчика	18,0	0,80	0,95	14,4	4,7	15,2
12	Освітлення будівлі	10,0	0,70	0,95	7,0	2,3	7,4
13	Ручний електроінстр.	20,0	0,40	0,80	8,0	6,0	10,0
14	Разом	312,5			158,5	122,4	200,3

Сумарні розрахункові значення активної, реактивної та повної потужності визначено підсумовуванням відповідних складових навантаження:

$$P_{\Sigma} = \sum P_{pi} = 158,5 \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_{pi} = 122,4 \text{ квар}, \quad (2.11)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{158,5^2 + 122,4^2} = 200,3 \text{ кВА}. \quad (2.12)$$

Загальний коефіцієнт потужності становить

$$\cos \varphi_{\Sigma} = P_{\Sigma} / S_{\Sigma} = 158,5 / 200,3 = 0,79 \quad (2.13)$$

Розрахунковий струм на стороні 0,4 кВ визначається за повною потужністю:

$$I_p = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{200,3}{1,732 \cdot 0,4} = 289,1 \text{ А}. \quad (2.14)$$

Для живлення будівельного майданчика приймається трансформатор КТП потужністю $S_T = 250$ кВА. Його номінальний струм на стороні 0,4 кВ та коефіцієнт завантаження становлять:

$$I_{н.т} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250}{1,732 \cdot 0,4} = 360,8 \text{ А}, \quad (2.15)$$

$$k_3 = \frac{S_{\Sigma}}{S_T} = \frac{200,3}{250} = 0,80. \quad (2.16)$$

Отже, розрахункова повна потужність споживачів становить 200,3 кВА, а розрахунковий струм на стороні 0,4 кВ - 289,1 А. Прийняття КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА є технічно обґрунтованим, оскільки забезпечує роботу основних механізмів із запасом для пускових струмів і короткочасного одночасного ввімкнення обладнання. Отримані значення використовуються для вибору ввідного апарата, перерізів кабельних ліній 0,4 кВ і перевірки втрат напруги.

2.3. Розрахунок та вибір електричних кабелів напругою 0,4 кВ

Мережа 0,4 кВ будівельного майданчика приймається радіальною: від РУ-0,4 кВ комплектної трансформаторної підстанції окремими кабельними лініями живляться баштовий кран, технологічні механізми, зварювальні пости, насоси, побутові приміщення та освітлення. Вибір кабелів виконується за розрахунковим струмом, допустимою втратою напруги та умовами механічної надійності. Для

відгалужень прийнято силові кабелі АВВГ на напругу 0,66/1 кВ з прокладанням у захищених трасах або трубах на ділянках можливого пошкодження.

Розрахунковий струм трифазної лінії визначається за формулою:

$$I_p = P_p / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi) \quad (2.17)$$

де I_p - розрахунковий струм лінії, А; P_p - розрахункова активна потужність, кВт; $U_n = 0,4$ кВ - номінальна лінійна напруга; $\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності групи електроприймачів.

Попередньо переріз кабелю вибирається за умовою нагрівання, після чого виконується перевірка за втратою напруги:

$$I_{доп} \geq I_p \quad (2.18)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) \quad (2.19)$$

$$\Delta U\% = (\Delta U / U_n) \cdot 100 \leq 5\% \quad (2.20)$$

У формулах L - довжина кабельної лінії, км; r_0 - активний опір жили, Ом/км; x_0 - індуктивний опір кабелю, Ом/км. Для розрахунку прийнято $x_0 = 0,08$ Ом/км, а r_0 вибрано відповідно до стандартного перерізу алюмінієвої жили. Допустима втрата напруги для ліній 0,4 кВ приймається не більше 5 %.

Для прикладу виконаємо перевірку лінії Л-1, що живить баштовий кран. За результатами пункту 2.2 прийнято $P_p = 37,5$ кВт, $\cos\varphi = 0,75$, $L = 70$ м = 0,07 км. Тоді:

$$I_{p1} = 37,5 / (\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,75) = 72,2 \text{ А} \quad (2.21)$$

Для лінії Л-1 приймається кабель АВВГ 4×35 з допустимим тривалим струмом $I_{доп} = 105$ А. При $r_0 = 0,868$ Ом/км та $\sin\varphi = 0,661$ втрата напруги становить:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \cdot 72,2 \cdot 0,07 \cdot (0,868 \cdot 0,75 + 0,08 \cdot 0,661) = 6,16 \text{ В} \quad (2.22)$$

$$\Delta U_1\% = (6,16 / 400) \cdot 100 = 1,54\% < 5\% \quad (2.23)$$

Отже, кабель АВВГ 4×35 для лінії Л-1 задовольняє умови за нагріванням та втратою напруги. Аналогічні обчислення виконано для всіх відгалужень мережі 0,4 кВ. Результати наведено в таблиці 2.3.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Результати розрахунку та вибору кабелів мережі 0,4 кВ

Лінія	Група електроприймачів	L, м	Pp, кВт	Ip, А	Прийнятий кабель	Iдоп, А	ΔU , %
Л-1	Баштовий кран	70	37,5	72,2	АВВГ 4×35	105	1,54
Л-2	Підйомники, бетонозмішувачі, розчинонасос	95	25,7	47,4	АВВГ 4×16	65	3,01
Л-3	Зварювальні пости та інструмент	120	24,0	55,8	АВВГ 4×25	85	2,34
Л-4	Компресор, верстати, вібратори	85	26,5	48,7	АВВГ 4×16	65	2,78
Л-5	Побутові вагончики	55	16,3	24,7	АВВГ 4×10	50	1,74
Л-6	Дренажні насоси	80	7,2	12,9	АВВГ 4×10	50	1,12
Л-7	Освітлення майданчика	160	14,4	21,9	АВВГ 4×16	65	2,79

Найбільші втрати напруги отримано для лінії Л-2 - 3,01 % та для лінії Л-7 - 2,79 %, що не перевищує допустимих 5 %. Для баштового крана, зварювальних постів та довгої лінії освітлення переріз збільшено до найближчого стандартного значення з технологічним запасом.

Остаточно прийнято: для Л-1 - АВВГ 4×35; для Л-3 - АВВГ 4×25; для Л-2, Л-4 і Л-7 - АВВГ 4×16; для Л-5, Л-6 і Л-8 - АВВГ 4×10. Прийняті перерізи відповідають розрахунковим струмам, мають запас за нагріванням і забезпечують допустимий рівень напруги на затискачах електроприймачів будівельного майданчика.

2.4. Розрахунок та вибір електричних апаратів керування та захисту 0,4 кВ

Електричні апарати керування та захисту мережі 0,4 кВ вибираються для ввідного кола РУ-0,4 кВ і відхідних ліній Л-1-Л-8. Розрахунок виконується за струмами навантаження, визначеними у пункті 2.2, та з урахуванням кабелів, прийнятих у пункті 2.3. Апарат повинен витримувати робочий режим, не допускати тривалого перевантаження кабелю та гарантовано вимикати струм короткого замикання.

Номінальний струм трансформатора на стороні 0,4 кВ визначається за формулою:

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28

$$I_{н.т} = S_T / (\sqrt{3} \cdot U_H) \quad (2.23)$$

Для трансформатора Т1 потужністю $S_T = 250$ кВА за $U_H = 0,4$ кВ одержуємо:

$$I_{н.т} = 250 / (1,732 \cdot 0,4) = 360,8 \text{ А} \quad (2.24)$$

Розрахунковий струм короткого замикання на шинах 0,4 кВ визначається через напругу короткого замикання трансформатора. Для трансформатора цієї потужності приймається $u_k = 6 \%$.

$$I_{к.0,4} = I_{н.т} \cdot 100 / u_k \quad (2.25)$$

$$I_{к.0,4} = 360,8 \cdot 100 / 6 = 6013 \text{ А} = 6,01 \text{ кА} \quad (2.26)$$

Номінальний струм автоматичного вимикача або уставка його теплового розчіплювача вибираються за умовою узгодження з навантаженням і допустимим струмом кабелю. Вимикальна здатність апарата повинна перевищувати очікуваний струм короткого замикання:

$$I_p \leq I_{н.ап} \leq I_{доп} \quad (2.27)$$

$$I_{сз} \geq I_{к.0,4} \quad (2.28)$$

Для ввідного апарата РУ-0,4 кВ приймається автоматичний вимикач QF2 номіналом 400 А з регульованою уставкою $I_r = 360$ А. Такий вибір узгоджується з номінальним струмом трансформатора 360,8 А і розрахунковим струмом навантаження 289,1 А. Вимикальна здатність QF2 приймається 25 кА, а для відхідних ліній - 10 кА, що більше за розрахункове значення 6,01 кА.

Для лінії Л-1 за пунктом 2.3 прийнято $I_{p1} = 72,2$ А та кабель АВВГ 4×35 з допустимим струмом $I_{доп} = 105$ А. Для цієї лінії приймається вимикач QF3 на 100 А з вимикальною здатністю 10 кА. Перевірка умов вибору має вигляд:

$$72,2 \text{ А} \leq 100 \text{ А} \leq 105 \text{ А}; \quad 10 \text{ кА} > 6,01 \text{ кА} \quad (2.29)$$

Аналогічно виконано вибір апаратів для решти відхідних ліній. Для електродвигунних навантажень приймаються апарати з характеристикою С або D, що враховує короточасні пускові струми, а для зварювальних постів передбачено запас за номіналом автоматичного вимикача.

Результати вибору апаратів керування та захисту мережі 0,4 кВ

Поз.	Призначення	Ip, А	Кабель	Ідо п, А	Апарат захисту	Ін або Ir, А
QF2	Ввід РУ-0,4 кВ	289, 1	-	-	ЗР 400 А, регул. розчіплювач	Ir=360
QF3	Л-1, баштовий кран	72,2	АВВГ 4×35	105	ЗР D100	100
QF4	Л-2, підйомники, бетонозмішувачі	47,4	АВВГ 4×16	65	ЗР С63	63
QF5	Л-3, зварювальні пости та інструмент	55,8	АВВГ 4×25	85	ЗР С80	80
QF6	Л-4, компресор, верстати, вібратори	48,7	АВВГ 4×16	65	ЗР С63	63
QF7	Л-5, побутові вагончики	24,7	АВВГ 4×10	50	ЗР С32	32
QF8	Л-6, дренажні насоси	12,9	АВВГ 4×10	50	ЗР С25	25
QF9	Л-7, освітлення майданчика	21,9	АВВГ 4×16	65	ЗР С32	32
QF10	Л-8, тимчасове освітлення будівлі	10,6	АВВГ 4×10	50	ЗР С16	16

Керування електроприймачами виконується через місцеві шафи керування, магнітні пускачі або контактори. Для баштового крана, підйомників, компресора та насосів передбачаються контактори категорії АС-3 з тепловими реле, а для освітлення - модульні контактори, ручні перемикачі або реле часу. Прийняті апарати забезпечують роздільне вимикання груп споживачів, локалізацію пошкоджень і безпечну експлуатацію тимчасової мережі будівельного майданчика.

Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано розрахунок та вибір електрообладнання для мережі 0,4 кВ будівельного майданчика. Розроблено однолінійну схему електропостачання від комплектної трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА з радіальним розподілом електроенергії до основних груп електроприймачів.

За результатами розрахунку електричних навантажень встановлено, що сумарна встановлена потужність споживачів становить 312,5 кВт, розрахункова активна потужність – 158,5 кВт, реактивна потужність – 122,4 квар, а повна

потужність – 200,3 кВА. Розрахунковий струм навантаження на стороні 0,4 кВ становить 289,1 А.

На основі отриманих результатів підтверджено доцільність застосування комплектної трансформаторної підстанції потужністю 250 кВА, коефіцієнт завантаження якої становить близько 0,8, що забезпечує необхідний резерв потужності для пускових режимів електродвигунів та можливого збільшення навантаження.

Виконано вибір кабельних ліній мережі 0,4 кВ та їх перевірку за допустимим тривалим струмом і втратою напруги. Встановлено, що максимальна втрата напруги не перевищує допустимого значення 5 %, що гарантує належну якість електроенергії на затискачах споживачів.

Також здійснено вибір ввідного та відхідних автоматичних вимикачів, які забезпечують надійний захист мережі від перевантажень і струмів короткого замикання. Отримані результати є основою для подальшого розрахунку обладнання комплектної трансформаторної підстанції та системи електрозахисту.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК КОМПЛЕКТНОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ
ПІДСТАНЦІЇ 10/0.4 кВ

3.1. Розрахунок потужності силового трансформатора

Потужність силового трансформатора комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ визначається за розрахунковим навантаженням будівельного майданчика. До складу споживачів входять електроприводи будівельних механізмів, зварювальні пости, насосне обладнання, побутові вагончики та тимчасове освітлення. Під час вибору трансформатора враховується не тільки встановлена потужність електроприймачів, а й фактичний режим їх одночасної роботи, коефіцієнти використання та реактивне навантаження.

Розрахункова активна потужність групи споживачів визначається за формулою:

$$P_p = \sum (P_{вст.i} \cdot k_{в.i}) \quad (3.1)$$

де $P_{вст.i}$ - встановлена потужність i -ї групи електроприймачів, кВт; $k_{в.i}$ - коефіцієнт використання відповідної групи споживачів.

Реактивна потужність визначається за коефіцієнтом потужності електроприймачів:

$$Q_p = \sum (P_{п.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i), \quad \operatorname{tg} \varphi_i = \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi_i)} / \cos \varphi_i \quad (3.2)$$

За результатами розрахунків пункту 2.2 одержано такі групові значення навантаження будівельного майданчика, наведені в таблиці 3.1.

Повна розрахункова потужність електричного навантаження визначається за виразом:

$$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)} \quad (3.3)$$

Після підстановки сумарних значень $P_p = 158,53$ кВт та $Q_p = 122,39$ квар одержуємо:

$$S_p = \sqrt{(158,53^2 + 122,39^2)} = 200,28 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

Фактичний коефіцієнт потужності навантаження будівельного майданчика становить:

$$\cos\varphi = P_p / S_p = 158,53 / 200,28 = 0,79 \quad (3.5)$$

Отримане значення $\cos\varphi = 0,79$ є типовим для будівельних майданчиків, де значну частину навантаження становлять електродвигуни та зварювальні установки. Для недопущення перевантаження трансформатора під час короточасного одночасного вмикання механізмів приймається коефіцієнт запасу $K_z = 1,15$.

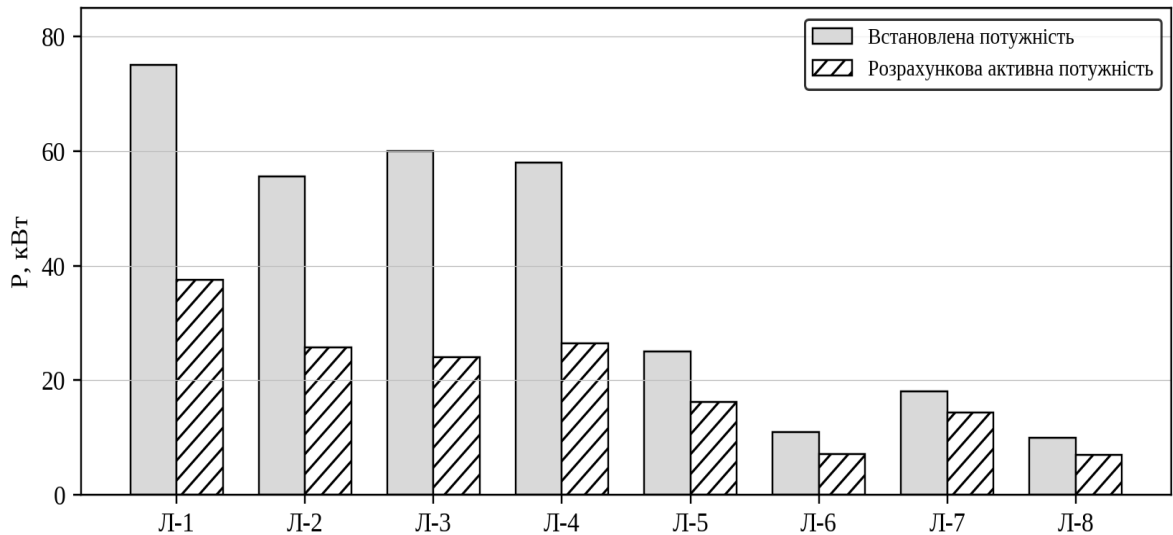


Рис. 3.1 - Порівняння встановленої та розрахункової активної потужності споживачів

Необхідна потужність трансформатора з урахуванням запасу визначається за формулою:

$$S_{т.розр} = K_z \cdot S_p \quad (3.6)$$

$$S_{т.розр} = 1,15 \cdot 200,28 = 230,32 \text{ кВА} \quad (3.7)$$

За шкалою стандартних потужностей силових трансформаторів найближчим більшим значенням є $S_{т.н} = 250$ кВА. Отже, для КТП 10/0,4 кВ доцільно прийняти один силовий трансформатор номінальною потужністю 250 кВА. Така потужність забезпечує роботу розрахункового навантаження 200,28 кВА та залишає резерв для пускових режимів електродвигунів і можливого короточасного збільшення навантаження.

Коефіцієнт завантаження вибраного трансформатора в нормальному режимі визначається за формулою:

$$\beta = (S_p / S_{т.н}) \cdot 100 \% \quad (3.8)$$

$$\beta = (200,28 / 250) \cdot 100 = 80,1 \% \quad (3.9)$$

Завантаження трансформатора становить 80,1 %, тобто не перевищує допустимий рівень для тривалої роботи. Резерв повної потужності дорівнює 49,72 кВА, що становить близько 19,9 % від номінальної потужності трансформатора.



Рисунок 3.2 - Завантаження вибраного силового трансформатора 250 кВА

Для подальшого вибору апаратів сторони 10 кВ та 0,4 кВ визначаються номінальні струми трансформатора на обох сторонах напруги:

$$I_{н} = S_{т.н} / (\sqrt{3} \cdot U_{н}) \quad (3.10)$$

$$I_{н.ВН} = 250 / (1,732 \cdot 10) = 14,43 \text{ А}; \quad (3.11)$$

$$I_{н.НН} = 250 / (1,732 \cdot 0,4) = 360,84 \text{ А} \quad (3.12)$$

Розрахункова потужність силового трансформатора з урахуванням запасу становить 230,32 кВА. Для встановлення у КТП 10/0,4 кВ приймається трансформатор стандартної номінальної потужності 250 кВА. Прийняте рішення забезпечує нормальне живлення будівельних механізмів, освітлення та допоміжних споживачів, а також створює достатній резерв для пускових і змінних режимів роботи будівельного майданчика.

3.2. Вибір типу силового трансформатора

Вибір типу силового трансформатора виконується з урахуванням розрахункового навантаження будівельного майданчика, умов встановлення КТП 10/0,4 кВ та вимог до надійної роботи електроприймачів. За результатами пункту 3.1 повне розрахункове навантаження становить $S_p = 200,28$ кВА, а необхідна потужність з урахуванням резерву - $S_{т.розр} = 230,32$ кВА. Тому

номінальна потужність трансформатора повинна бути більшою за розрахункову і забезпечувати запас для пускових режимів електродвигунів.

Для даного об'єкта доцільно застосувати один трифазний понижувальний оливний герметичний трансформатор типу ТМГ напругою 10/0,4 кВ. Герметичне виконання з природним оливним і повітряним охолодженням є придатним для встановлення у комплектній трансформаторній підстанції та не потребує складного експлуатаційного обслуговування. Перевірка стандартних типорозмірів виконується за коефіцієнтом завантаження:

$$\beta = S_p / S_{t.n} \cdot 100 \% \quad (3.13)$$

де β - коефіцієнт завантаження трансформатора, %; S_p - розрахункова повна потужність споживачів, кВА; $S_{t.n}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Таблиця 3.2

Порівняння стандартних варіантів силового трансформатора

Варіант	$S_{t.n}$, кВА	β , %	Резерв або перевантаження, кВА	Оцінка
ТМГ-160/10/0,4	160	125,2	перевантаження 40,28	не допускається
ТМГ-250/10/0,4	250	80,1	резерв 49,72	приймається
ТМГ-400/10/0,4	400	50,1	резерв 199,72	недоцільний

Трансформатор потужністю 160 кВА не приймається, оскільки його завантаження перевищує допустимі 100 %. Варіант 400 кВА має надмірний резерв і призведе до необґрунтованого збільшення вартості КТП. Найбільш раціональним є трансформатор потужністю 250 кВА, для якого коефіцієнт завантаження дорівнює:

$$\beta = 200,28 / 250 \cdot 100 = 80,1 \% \quad (3.14)$$

Отримане значення $\beta = 80,1 \%$ є допустимим для тривалої роботи трансформатора. Резерв повної потужності становить 49,72 кВА, або близько 19,9 % від номінальної потужності. Такий запас достатній для короткочасних пускових струмів баштового крана, підйомників, компресора та іншого електрифікованого обладнання будівельного майданчика.

Для встановлення у КТП приймається силовий трансформатор ТМГ-250/10/0,4-У1 зі схемою та групою з'єднання обмоток Д/Ун-11. На стороні високої напруги обмотка з'єднується у трикутник, а на стороні 0,4 кВ - у зірку з

виведеною нейтраллю. Це забезпечує живлення трифазних і однофазних електроприймачів напругою 380/220 В та зменшує вплив несиметричного навантаження.

Таблиця 3.3

Основні технічні характеристики прийнятого трансформатора

Параметр	Позначення	Прийняте значення
Тип трансформатора	T	ТМГ-250/10/0,4-У1
Номінальна потужність	$S_{t.n}$	250 кВА
Номінальна напруга ВН	UBH	10 кВ
Номінальна напруга НН	UHH	0,4 кВ
Схема та група з'єднання	-	Д/УН-11
Напруга короткого замикання	u_k	4,5 %
Втрати холостого ходу	P_0	0,70 кВт
Втрати короткого замикання	P_k	4,20 кВт
Струм холостого ходу	I_0	1,9 %
Кліматичне виконання	-	У1

Номінальні струми прийнятого трансформатора становлять $I_{н.ВН} = 14,43$ А та $I_{н.НН} = 360,84$ А. Ці значення використовуються під час вибору апаратів сторони 10 кВ і 0,4 кВ. Додатково перевіримо орієнтовні втрати потужності у трансформаторі за розрахункового навантаження:

$$\Delta P_t = P_0 + P_k \cdot \beta^2 \quad (3.15)$$

$$\Delta P_t = 0,70 + 4,20 \cdot 0,801^2 = 3,40 \text{ кВт} \quad (3.16)$$

Отримані втрати відповідають нормальному режиму роботи трансформатора даної потужності та не потребують переходу на більший типорозмір. Отже, для комплектної трансформаторної підстанції будівельного майданчика остаточно приймається один силовий трансформатор ТМГ-250/10/0,4-У1, 250 кВА, 10/0,4 кВ, Д/УН-11. Прийняте рішення узгоджується з розрахунковим навантаженням, вибраною схемою електропостачання, кабельними лініями та апаратами захисту мережі 0,4 кВ.

Примітка. Каталожні параметри прийняті за типовими характеристиками силових оливних трансформаторів ТМГ потужністю 250 кВА класу напруги 10/0,4 кВ.

3.3. Розрахунок та вибір електрообладнання КТП на напругу 10 кВ

Електрообладнання сторони 10 кВ комплектної трансформаторної підстанції вибирається для приймання електроенергії від кабельної лінії 10 кВ, комутації силового трансформатора Т1 та захисту ізоляції і струмопровідних частин від аварійних режимів. Для будівельного майданчика прийнято радіальну схему живлення від існуючої мережі 10 кВ через КТП 10/0,4 кВ з одним силовим трансформатором потужністю 250 кВА. Оскільки електроприймачі належать переважно до III категорії надійності, на стороні 10 кВ достатньо одного вводу з комутаційним апаратом, високовольтними запобіжниками та обмежувачами перенапруг.

Вихідними параметрами для вибору апаратів 10 кВ є номінальна напруга мережі, потужність трансформатора, розрахунковий робочий струм на стороні вищої напруги та очікуваний струм короткого замикання на шинах живильної мережі. Основні дані для розрахунку наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Вихідні параметри для вибору обладнання 10 кВ

Показник	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Номінальна напруга мережі	U10	10	кВ
Номінальна потужність трансформатора	Str	250	кВА
Розрахункова потужність КЗ на шинах 10 кВ	Sk	100	МВА
Тривалість перевірки термічної стійкості	tk	1	с
Частота мережі	f	50	Гц

Робочий струм сторони 10 кВ визначається за номінальною потужністю трансформатора. У розрахунку використовується повна потужність трансформатора, оскільки саме вона визначає струмове навантаження первинного кола КТП.

$$I_{10} = S_{\text{тр}} / (\sqrt{3} \cdot U_{10}) = 250 / (1,732 \cdot 10) = 14,43 \text{ А.} \quad (3.17)$$

Отримане значення показує, що робочий струм на стороні 10 кВ є порівняно малим, тому вибір комутаційних апаратів визначається не тільки струмом навантаження, а насамперед стандартним класом напруги, вимогами до комутаційної здатності та стійкості до коротких замикань. Для ввідного кола приймаються апарати на номінальний струм 630 А, що є типовим значенням для комплектних пристроїв 10 кВ і забезпечує значний експлуатаційний резерв.

Перевірка за номінальним струмом виконується за умовою

$$I_{\text{ном. ап}} \geq I_{10}; \quad 630 \geq 14,43 \text{ А.} \quad (3.18)$$

Умова виконується для роз'єднувача, вимикача навантаження, струмоведучих частин і заземлювального ножа. Далі визначається розрахунковий струм трифазного короткого замикання на стороні 10 кВ.

$$I_{\text{к. 10}} = S_{\text{к}} / (\sqrt{3} \cdot U_{10}) = 100 / (1,732 \cdot 10) = 5,77 \text{ кА.} \quad (3.19)$$

Для перевірки електродинамічної стійкості приймається ударний коефіцієнт $k_{\text{уд}} = 1,8$, характерний для мереж середньої напруги з переважно індуктивним опором.

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{к. 10}} = 1,8 \cdot 1,414 \cdot 5,77 = 14,7 \text{ кА.} \quad (3.20)$$

Термічний імпульс короткого замикання при тривалості дії 1 с становить

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к. 10}}^2 \cdot t_{\text{к}} = 5,77^2 \cdot 1 = 33,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (3.21)$$

Для апаратів 10 кВ приймається стійкість не менше 20 кА протягом 3 с. Тоді допустимий термічний імпульс дорівнює $20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$, що значно перевищує розрахункове значення $33,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$. Отже, вибрані апарати мають достатній запас за термічною та електродинамічною стійкістю.

Струм плавкої вставки високовольного запобіжника вибирається з урахуванням робочого струму трансформатора та можливих пускових

намагнічувальних струмів. Для трансформатора 250 кВА приймається коефіцієнт запасу 1,6.

$$I_{пл} \geq 1,6 \cdot I_{10} = 1,6 \cdot 14,43 = 23,1 \text{ А.} \quad (3.22)$$

За результатом розрахунку приймається плавка вставка на 25 А. Вона не повинна спрацьовувати при нормальному робочому струмі трансформатора, але повинна забезпечувати швидке обмеження аварійного струму при внутрішніх пошкодженнях трансформатора або короткому замиканні на його стороні. Прийнятий тип запобіжника має номінальну вимикаючу здатність 31,5 кА, що перевищує розрахунковий струм короткого замикання 5,77 кА.

Таблиця 3.4

Вибір електрообладнання КТП на стороні 10 кВ

Позначення	Елемент обладнання	Прийнятий тип	Основні параметри	Обґрунтування вибору
QS1	Роз'єднувач вводу 10 кВ	PB3-10/630 У3	Уном = 10 кВ; Іном = 630 А; Ітерм = 20 кА	Видимий розрив кола; 630 А > 14,43 А; 20 кА > 5,77 кА
QF1	Вимикач навантаження 10 кВ	ВНА-10/630-20 У3	Уном = 10 кВ; Іном = 630 А; Ітерм = 20 кА; ідин ≈ 50 кА	Комутація робочого струму трансформатора; достатня стійкість до КЗ
FU1-FU3	Високовольтні запобіжники	ПКТ-101-10-25-31,5 У3	Уном = 10 кВ; Івст = 25 А; Івідкл = 31,5 кА	25 А > 23,1 А; 31,5 кА > 5,77 кА; захист трансформатора від КЗ
ОПН	Обмежувач перенапруг	ОПНп-10/12 УХЛ1	Клас напруги 10 кВ; Унр ≈ 12 кВ; Ірозр = 10 кА	Захист ізоляції КТП від грозових і комутаційних перенапруг

Позначення	Елемент обладнання	Прийнятий тип	Основні параметри	Обґрунтування вибору
ТА1-ТА3	Трансформатори струму	ТОЛУ-10 20/5, 0,5S/10P	Уном = 10 кВ; І1/І2 = 20/5 А; f = 50 Гц	Вимірювання струму та можливість підключення захисту; 20 А > 14,43 А
ЗН	Заземлювальний ніж	ЗН-10/630	Уном = 10 кВ; Іном = 630 А	Заземлення відключеної ділянки під час ремонтних робіт

Прийнята комбінація апаратів є доцільною для КТП потужністю 250 кВА, оскільки поєднує простоту конструкції, достатню надійність і можливість швидкого вимкнення пошкодженого трансформатора за допомогою струмообмежувальних запобіжників. Використання вимикача навантаження на 630 А не пов'язане з фактичним робочим струмом трансформатора, а з типовим виконанням комірок 10 кВ та необхідністю забезпечення механічної, термічної й електродинамічної стійкості апарата.

Таблиця 3.5

Перевірка вибраного обладнання за розрахунковими умовами

Розрахункова умова	Розрахункове значення	Прийняте значення обладнання	Висновок
$U_{ном.ап} \geq U_{мережі}$	10 кВ	10 кВ	Виконується
$I_{ном.ап} \geq I_{10}$	14,43 А	630 А	Виконується із запасом
Розрахункова умова	Розрахункове значення	Прийняте значення обладнання	Висновок
$I_{терм} \geq I_{к.10}$	5,77 кА	20 кА	Виконується
$i_{дин} \geq i_{уд}$	14,7 кА	≈ 50 кА	Виконується
$W_{доп} \geq W_{к}$	33,3 кА ² ·с	1200 кА ² ·с	Виконується

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Розрахункова умова	Розрахункове значення	Прийняте значення обладнання	Висновок
$I_{вст} \geq 1,6 \cdot I_{10}$	23,1 А	25 А	Виконується
$I_{відкл} \geq I_{к.10}$	5,77 кА	31,5 кА	Виконується

За результатами перевірки всі вибрані апарати 10 кВ відповідають умовам нормального та аварійного режимів роботи. До складу електрообладнання КТП на стороні 10 кВ доцільно включити роз'єднувач QS1, вимикач навантаження QF1, комплект високовольтних запобіжників FU1-FU3, обмежувачі перенапруг ОПН, трансформатори струму для вимірювання та заземлювальний ніж. Така схема забезпечує приймання електроенергії від мережі 10 кВ, захист трансформатора Т1 250 кВА, безпечне виконання ремонтних робіт і подальшу передачу електроенергії на шини 0,4 кВ будівельного майданчика.

3.4. Перевірка вибраного обладнання на аварійні режими роботи

Перевірка вибраного обладнання КТП виконується для підтвердження його працездатності у нормальних та аварійних режимах. До основних аварійних режимів належать трифазне коротке замикання на стороні 10 кВ, коротке замикання на шинах 0,4 кВ, короткочасне перевантаження трансформатора, а також робота апаратів захисту під час вимикання пошкодженої ділянки. Перевірка проводиться за номінальною напругою, робочим струмом, вимикальною здатністю, термічною та електродинамічною стійкістю.

У попередніх пунктах для КТП прийнято трансформатор ТМГ-250/10/0,4 з номінальною потужністю 250 кВА, високовольтну комутаційну апаратуру 10 кВ, запобіжники ПКТ-101-10-25-31,5 та автоматичні вимикачі сторони 0,4 кВ. Для узгодженості розрахунку приймаються ті самі вихідні дані, що використовувалися під час вибору обладнання у пунктах 3.1-3.3.

Вихідні дані для перевірки обладнання в аварійних режимах

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Потужність трансформатора	Ст.н	250	кВА
Напруга сторони ВН	U _{ВН}	10	кВ
Напруга сторони НН	U _{НН}	0,4	кВ
Напруга короткого замикання трансформатора	ик	6	%
Потужність КЗ на шинах 10 кВ	Sk.10	100	МВА
Час термічної перевірки	тк	1	с
Ударний коефіцієнт	куд	1,8	-

Спочатку перевіряється аварійний режим на стороні 10 кВ. Розрахунковий струм трифазного короткого замикання визначається за потужністю короткого замикання живильної мережі:

$$I_{к.10} = S_{к.10} / (\sqrt{3} \cdot U_{ВН}) = 100 / (1,732 \cdot 10) = 5,77 \text{ кА.} \quad (3.23)$$

Ударний струм короткого замикання, який використовується для перевірки електродинамічної стійкості апаратів, визначається за виразом:

$$i_{уд.10} = k_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к.10} = 1,8 \cdot 1,414 \cdot 5,77 = 14,7 \text{ кА.} \quad (3.24)$$

Термічна дія струму короткого замикання оцінюється через тепловий імпульс:

$$B_{к.10} = I_{к.10}^2 \cdot t_{к} = 5,77^2 \cdot 1 = 33,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (3.25)$$

Отримані значення порівнюються з паспортними параметрами вибраних апаратів. Для вимикача навантаження ВНА-10/630-20 приймається струм термічної стійкості 20 кА протягом 3 с, що відповідає допустимому тепловому імпульсу 1200 кА²·с. Це значення значно більше за розрахункове 33,3 кА²·с.

Таблиця 3.7

Перевірка апаратів 10 кВ на аварійний режим

Елемент	Прийнятий тип	Розрахункова умова	Параметр апарата	Висновок
QS1	PB3-10/630	Іном $\geq 14,43$ А; Ітерм $\geq 5,77$ кА	630 А; 20 кА	Виконується

Елемент	Прийнятий тип	Розрахункова умова	Параметр апарата	Висновок
QF1	ВНА-10/630-20	$I_{ном} \geq 14,43 \text{ А};$ $I_{терм} \geq 5,77 \text{ кА};$ $i_{дин} \geq 14,7 \text{ кА}$	630 А; 20 кА; 50 кА	Виконується
FU1-FU3	ПКТ-101-10-25-31,5	$I_{відкл} \geq 5,77 \text{ кА};$ $I_{вст} \geq 23,1 \text{ А}$	31,5 кА; 25 А	Виконується
ОПН	ОПНп-10/12	Клас напруги відповідає мережі 10 кВ	10 кВ; $I_{розр} 10 \text{ кА}$	Виконується
ТА1-ТА3	ТОЛУ-10 20/5	$I_1 \geq I_{10}$	$20 \text{ А} > 14,43 \text{ А}$	Виконується

Далі перевіряється обладнання сторони 0,4 кВ. Номінальний струм трансформатора на стороні нижчої напруги становить:

$$I_{н.0,4} = S_{т.н} / (\sqrt{3} \cdot U_{нн}) = 250 / (1,732 \cdot 0,4) = 360,8 \text{ А.} \quad (3.26)$$

Струм короткого замикання на шинах 0,4 кВ визначається за напругою короткого замикання трансформатора. Для прийнятого трансформатора використовується $u_k = 6 \%$.

$$I_{к.0,4} = I_{н.0,4} \cdot 100 / u_k = 360,8 \cdot 100 / 6 = 6013 = 6,01 \text{ кА.} \quad (3.27)$$

Ударний струм та тепловий імпульс для шин 0,4 кВ становлять:

$$i_{уд.0,4} = k_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к.0,4} = 1,8 \cdot 1,414 \cdot 6,01 = 15,3 \text{ кА.} \quad (3.28)$$

$$W_{к.0,4} = I_{к.0,4}^2 \cdot t_k = 6,01^2 \cdot 1 = 36,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (3.29)$$

Для ввідного вимикача QF2 прийнято номінальний струм 400 А з регульованою уставкою $I_r = 360 \text{ А}$ і вимикальною здатністю 25 кА. Для відхідних ліній Л-1-Л-8 прийнято автоматичні вимикачі з вимикальною здатністю 10 кА. Оскільки розрахунковий струм КЗ на шинах 0,4 кВ становить 6,01 кА, вимикальна здатність усіх прийнятих апаратів є достатньою.

Таблиця 3.8

Перевірка апаратів РУ-0,4 кВ за вимикальною здатністю

Поз.	Призначення	$I_p, \text{ А}$	Апарат	$I_{си}, \text{ кА}$	Перевірка
QF2	Ввід РУ-0,4 кВ	289,1	ЗР 400 А, $I_r=360 \text{ А}$	25	$25 > 6,01$

Поз.	Призначення	I_p , А	Апарат	$I_{сн}$, кА	Перевірка
QF3	Л-1, баштовий кран	72,2	3P D100	10	$10 > 6,01$
QF4	Л-2, підйомники, бетон.	47,4	3P C63	10	$10 > 6,01$
QF5	Л-3, зварювальні пости	55,8	3P C80	10	$10 > 6,01$
QF6	Л-4, компресор, верстати	48,7	3P C63	10	$10 > 6,01$
QF7	Л-5, побутові вагончики	24,7	3P C32	10	$10 > 6,01$
QF8	Л-6, насоси	12,9	3P C25	10	$10 > 6,01$
QF9	Л-7, освітлення майданчика	21,9	3P C32	10	$10 > 6,01$
QF10	Л-8, тимчасове освітлення	10,6	3P C16	10	$10 > 6,01$

Окремо перевіряється завантаження трансформатора в розрахунковому режимі. За результатами пункту 3.1 повне навантаження будівельного майданчика становить $S_p = 200,28$ кВА. Коефіцієнт завантаження трансформатора дорівнює:

$$\beta = S_p / S_{т.н} \cdot 100 \% = 200,28 / 250 \cdot 100 = 80,1 \%. \quad (3.30)$$

Резерв потужності трансформатора у тривалому режимі становить:

$$\Delta S = S_{т.н} - S_p = 250 - 200,28 = 49,72 \text{ кВА}. \quad (3.31)$$

Завантаження 80,1 % не перевищує номінальної потужності трансформатора. Наявний резерв 49,72 кВА дає можливість витримувати короточасні пускові режими електродвигунів крана, компресора, насосів і будівельних підйомників без переходу трансформатора в тривалий перевантажувальний режим.

Таблиця 3.9

Підсумкова оцінка запасу вибраного обладнання

Перевірюваний параметр	Розрахункове значення	Допустиме або прийняте значення	Результат
Робочий струм сторони 10 кВ	14,43 А	630 А	Запас значний

Перевірюваний параметр	Розрахункове значення	Допустиме або прийняте значення	Результат
Струм КЗ на стороні 10 кВ	5,77 кА	20 кА; 31,5 кА для FU	Умова виконується
Ударний струм 10 кВ	14,7 кА	50 кА	Умова виконується
Струм КЗ на шинах 0,4 кВ	6,01 кА	25 кА для QF2; 10 кА для QF3-QF10	Умова виконується
Завантаження трансформатора	80,1 %	≤ 100 %	Перевантаження немає
Резерв потужності	49,72 кВА	Позитивний резерв	Достатньо

За результатами перевірки вибране обладнання КТП 10/0,4 кВ відповідає аварійним режимам роботи. Високовольтні апарати, запобіжники та автоматичні вимикачі мають достатній запас, а трансформатор ТМГ-250/10/0,4 працює з коефіцієнтом завантаження 80,1 %.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано вибір та перевірку основного обладнання комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, призначеної для електропостачання механізмів будівельного майданчика.

На підставі розрахованого навантаження прийнято силовий трансформатор потужністю 250 кВА, який забезпечує надійну роботу споживачів у нормальних та післяаварійних режимах. Виконано вибір комутаційної апаратури сторони 10 кВ і 0,4 кВ, а також апаратів захисту, що відповідають вимогам за номінальною напругою, струмом та вимикальною здатністю.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання та перевірку вибраного обладнання на електродинамічну і термічну стійкість. Результати розрахунків показали, що всі елементи схеми відповідають умовам надійної та безпечної експлуатації.

Обране обладнання КТП забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання будівельного майданчика, захист електроустановок від аварійних режимів і можливість подальшої безпечної експлуатації системи електропостачання. Отримані результати можуть бути використані для практичної реалізації проєкту електропостачання будівельного об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

РОЗДІЛ 4
РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ
НАПРУГОЮ 10 КВ

4.1. Визначення траси прокладання зовнішньої електричної мережі

Зовнішня електрична мережа напругою 10 кВ призначена для передавання електричної енергії від існуючої мережі середньої напруги до комплектної трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ, яка живить механізми будівельного майданчика. Для об'єкта ТОВ «Будмонтаж-Сервіс» прийнято радіальну схему електропостачання: існуюча мережа 10 кВ – кабельна лінія 10 кВ – КТП 10/0,4 кВ – розподільний пристрій 0,4 кВ – відхідні лінії до будівельних механізмів, освітлення і побутових приміщень.

Будівельний майданчик має розміри 120×80 м, а довжина зовнішньої кабельної лінії від точки приєднання до КТП становить 0,42 км. Прокладання лінії доцільно виконати кабелем 10 кВ у землі вздовж межі будівельного майданчика з мінімізацією перетинів із тимчасовими дорогами, зонами роботи крана, складськими майданчиками та місцями переміщення будівельної техніки. У місцях можливого механічного пошкодження кабель прокладається в захисній трубі або залізобетонному лотку.

Траса кабельної лінії повинна забезпечувати зручність монтажу, огляду та ремонтного доступу, а також безпечні відстані до тимчасових споруд, заземлювального пристрою КТП, водовідвідних каналів та підземних комунікацій. При виборі траси враховано вимоги ПУЕ щодо прокладання кабельних ліній і вимоги Кодексу систем розподілу до надійного та безпечного приєднання електроустановок споживачів до електричних мереж.

За рисунком 4.1 зовнішня мережа виконує функцію живильної ланки між існуючою мережею 10 кВ та понижувальною КТП. Оскільки будівельний майданчик належить до тимчасових об'єктів з електроприймачами III категорії надійності, застосування однієї радіальної кабельної лінії є технічно достатнім.

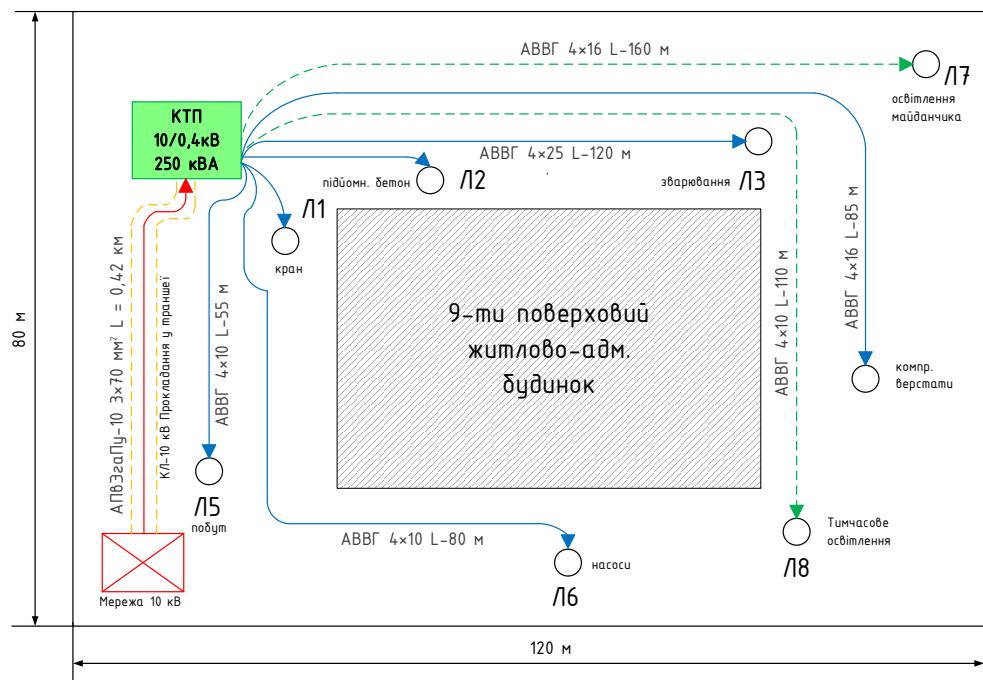


Рис. 4.1 – Схема прокладання зовнішньої кабельної лінії 10 кВ до КТП

Таблица 4.1

Вихідні дані для зовнішньої мережі 10 кВ

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Напруга живильної мережі	U_{10}	10	кВ
Довжина кабельної лінії	L	0,42	км
Потужність трансформатора КТП	$S_{т.н}$	250	кВА
Розрахункова повна потужність навантаження	S_p	200,28	кВА
Потужність КЗ на шинах 10 кВ	$S_{к.10}$	100	МВА
Категорія надійності електропостачання	-	III	-
Схема живлення	-	радіальна	-

При цьому вибір перерізу кабелю повинен виконуватися не лише за робочим струмом, але і за термічною стійкістю до струмів короткого замикання.

4.2. Розрахунок та вибір електричного кабелю

Розрахунок кабельної лінії 10 кВ виконується за робочим струмом, допустимим нагріванням, втратою напруги та термічною стійкістю до струму короткого замикання. Робочий струм сторони 10 кВ визначається за номінальною потужністю

трансформатора КТП, оскільки саме трансформатор є основним навантаженням живильної лінії середньої напруги.

$$I_{10} = S_{т.н} / (\sqrt{3} \cdot U_{10}) \quad (4.1)$$

$$I_{10} = 250 / (1,732 \cdot 10) = 14,43 \text{ А} \quad (4.2)$$

Отриманий робочий струм є невеликим, тому за умовою тривалого нагрівання достатнім був би кабель малого перерізу. Проте для мережі 10 кВ важливими є механічна міцність, надійність ізоляції, зручність монтажу кінцевих муфт та термічна стійкість при коротких замиканнях. Тому для зовнішньої лінії приймається силовий кабель з алюмінієвими жилами, ізоляцією зі зшитого поліетилену та екраном, наприклад АПвЭгаПу-10 3×70 мм² або аналог.

$$I_{доп} \geq I_{10} \quad (4.3)$$

$$180 \text{ А} \geq 14,43 \text{ А} \quad (4.4)$$

Прийнятий кабель має значний запас за допустимим тривалим струмом. Такий запас є доцільним, оскільки кабель прокладається в умовах будівельного майданчика, де можливі зміни температури ґрунту, локальне погіршення тепловідведення та механічні впливи на трасу.

Таблиця 4.2

Обґрунтування вибору кабелю 10 кВ

Параметр	Прийняте значення	Обґрунтування
Марка кабелю	АПвЭгаПу-10 або аналог	Кабель з ізоляцією зі зшитого поліетилену для мереж 10 кВ
Кількість і переріз жил	3×70 мм ²	Забезпечує запас за нагріванням і термічною стійкістю
Номінальна напруга	10 кВ	Відповідає класу живильної мережі
Допустимий тривалий струм	180 А	Більше за розрахунковий струм 14,43 А
Довжина лінії	0,42 км	Відповідає ситуаційному плану майданчика
Спосіб прокладання	у траншеї, у місцях перетину – у трубі	Захист від механічних пошкоджень

Окремо виконується перевірка мінімального перерізу за термічною стійкістю до струму короткого замикання. Для кабелів з алюмінієвими жилами та ізоляцією зі

зшитого поліетилену в інженерному розрахунку приймається коефіцієнт $k = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{0.5} / \text{мм}^2$. Розрахунковий час дії захисту приймається $t_k = 1 \text{ с}$.

$$S_{\min} = I_k \cdot \sqrt{t_k} / k \quad (4.5)$$

$$S_{\min} = 5470 \cdot \sqrt{1} / 94 = 58,2 \text{ мм}^2 \quad (4.6)$$

Мінімальний переріз за термічною стійкістю становить $58,2 \text{ мм}^2$. Прийнятий переріз 70 мм^2 перевищує це значення, тому кабель АПвЕгаПу-10 $3 \times 70 \text{ мм}^2$ відповідає вимогам за робочим струмом і термічною стійкістю.

4.3. Визначення втрат напруги та потужності у кабельній лінії

Втрати напруги у кабельній лінії 10 кВ визначаються за активним та індуктивним опорами кабелю. Для прийнятого кабелю $3 \times 70 \text{ мм}^2$ приймаються орієнтовні питомі параметри: активний опір $r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}$, індуктивний опір $x_0 = 0,09 \text{ Ом/км}$. Коефіцієнт потужності навантаження до компенсації становить $\cos \varphi = 0,79$, відповідно $\sin \varphi = 0,613$.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{10} \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \quad (4.7)$$

$$\Delta U = 1,732 \cdot 14,43 \cdot 0,42 \cdot (0,443 \cdot 0,79 + 0,09 \cdot 0,613) = 4,25 \text{ В} \quad (4.8)$$

$$\Delta U \% = (\Delta U / U_n) \cdot 100 \quad (4.9)$$

$$\Delta U \% = (4,25 / 10000) \cdot 100 = 0,043 \% \quad (4.10)$$

Отримана втрата напруги в кабельній лінії 10 кВ є незначною і практично не впливає на рівень напруги на затискачах трансформатора КТП. Основні втрати напруги в системі електропостачання будівельного майданчика формуються у мережі 0,4 кВ, де довжини відхідних ліній та струми навантаження є більшими.

Активні втрати потужності в трифазній кабельній лінії визначаються за виразом:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{10}^2 \cdot r_0 \cdot L / 1000 \quad (4.11)$$

$$\Delta P = 3 \cdot 14,43^2 \cdot 0,443 \cdot 0,42 / 1000 = 0,116 \text{ кВт} \quad (4.12)$$

За умовного часу роботи будівельного майданчика 2500 год/рік річні втрати електроенергії у лінії становлять:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T_p = 0,116 \cdot 2500 = 290 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (4.13)$$

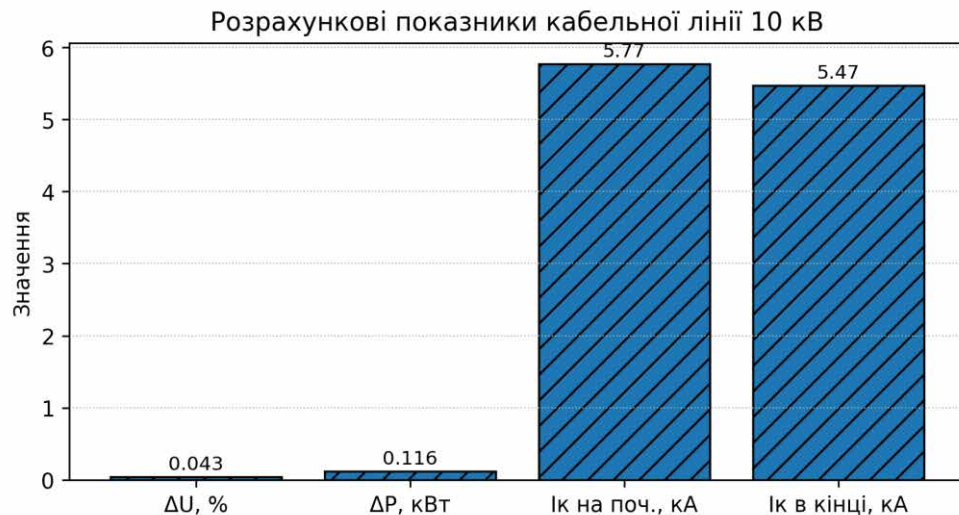


Рис. 4.2 – Розрахункові показники зовнішньої кабельної лінії 10 кВ

За рисунком 4.2 видно, що втрати напруги та активної потужності у зовнішній лінії 10 кВ є малими. Це підтверджує правильність вибору перерізу кабелю 70 мм² і показує, що прийнята лінія має достатній запас для живлення КТП потужністю 250 кВА.

4.4. Розрахунок струмів коротких замикань в кабельній лінії

Розрахунок струмів короткого замикання необхідний для перевірки кабелю, високовольної апаратури та апаратів захисту. Вихідною величиною є потужність короткого замикання на шинах живильної мережі 10 кВ, яка прийнята $S_{k.10} = 100$ МВА. Струм короткого замикання на початку лінії визначений у попередніх розрахунках і становить 5,77 кА. Для уточнення аварійного режиму на вводі КТП враховується опір кабельної лінії довжиною 0,42 км.

$$Z_c = U_{10}^2 / S_{k.10} \quad (4.14)$$

$$Z_c = 10^2 / 100 = 1,00 \text{ Ом} \quad (4.15)$$

$$R_l = r_0 \cdot L = 0,443 \cdot 0,42 = 0,186 \text{ Ом} \quad (4.16)$$

$$X_l = x_0 \cdot L = 0,09 \cdot 0,42 = 0,038 \text{ Ом} \quad (4.17)$$

Повний еквівалентний опір до точки встановлення КТП визначається з урахуванням опору системи та кабельної лінії:

$$Z\Sigma = \sqrt{(R_{\text{л}}^2 + (Z_{\text{с}} + X_{\text{л}})^2)} \quad (4.18)$$

$$Z\Sigma = \sqrt{(0,186^2 + (1,00 + 0,038)^2)} = 1,055 \text{ Ом} \quad (4.19)$$

$$I_{\text{к.к}} = U_{10} / (\sqrt{3} \cdot Z\Sigma) \quad (4.20)$$

$$I_{\text{к.к}} = 10000 / (1,732 \cdot 1,055) = 5470 \text{ А} = 5,47 \text{ кА} \quad (4.21)$$

Ударний струм короткого замикання визначається з урахуванням ударного коефіцієнта $k_{\text{уд}} = 1,8$:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к.к}} \quad (4.22)$$

$$i_{\text{уд}} = 1,414 \cdot 1,8 \cdot 5,47 = 13,9 \text{ кА} \quad (4.23)$$

Тепловий імпульс короткого замикання для часу дії захисту 1 с становить:

$$W_{\text{к}} = I_{\text{к.к}}^2 \cdot t_{\text{к}} = 5,47^2 \cdot 1 = 29,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (4.24)$$

Таблиця 4.3

Розрахунок струму КЗ у кабельній лінії 10 кВ

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Опір системи за потужністю КЗ	$Z_{\text{с}}$	1,00	Ом
Активний опір кабелю	$R_{\text{л}}$	0,186	Ом
Індуктивний опір кабелю	$X_{\text{л}}$	0,038	Ом
Еквівалентний опір до КТП	$Z\Sigma$	1,055	Ом
Струм КЗ на початку лінії	$I_{\text{к.п}}$	5,77	кА
Струм КЗ на вводі КТП	$I_{\text{к.к}}$	5,47	кА
Ударний струм КЗ	$i_{\text{уд}}$	13,9	кА
Тепловий імпульс	$W_{\text{к}}$	29,9	кА ² ·с

Порівняння значень показує, що через наявність опору кабельної лінії струм короткого замикання на вводі КТП зменшується з 5,77 кА до 5,47 кА. Це значення використовується для перевірки кабелю, вимикача навантаження, роз'єднувача, високовольтних запобіжників та обмежувачів перенапруг.

4.5. Розрахунок та вибір апаратів захисту кабельної лінії

Апаратний захист кабельної лінії 10 кВ повинен забезпечувати комутацію робочого струму, відокремлення пошкодженої ділянки, захист від коротких замикань і перенапруг, а також безпечне виконання ремонтних робіт. Для прийнятої схеми зовнішньої мережі застосовується комплект апаратів сторони 10 кВ: роз'єднувач QS1, вимикач навантаження QF1, високовольтні запобіжники FU1-FU3, обмежувачі перенапруг ОПН, трансформатори струму та заземлювальний ніж.

Вибрані апарати перевіряються за номінальною напругою, номінальним струмом, термічною та електродинамічною стійкістю, а для запобіжників – також за вимикальною здатністю:

$$U_{ном.ап} \geq U_{мережі} \quad (4.25)$$

$$I_{ном.ап} \geq I_{10} \quad (4.26)$$

$$I_{терм} \geq I_{к.к}; \quad i_{дин} \geq i_{уд} \quad (4.27)$$

$$I_{відкл} \geq I_{к.к} \quad (4.28)$$

Таблиця 4.4

Вибір і перевірка апаратів захисту кабельної лінії 10 кВ

Поз.	Елемент	Прийнятий тип	Розрахункова умова	Висновок
QS1	Роз'єднувач вводу	PB3-10/630 УЗ	630 А > 14,43 А; 20 кА > 5,47 кА	Виконується
QF1	Вимикач навантаження	ВНА-10/630-20 УЗ	630 А > 14,43 А; 20 кА > 5,47 кА; 50 кА > 13,9 кА	Виконується
FU1-FU3	Високовольтні запобіжники	ПКТ-101-10-25-31,5 УЗ	25 А > 23,1 А; 31,5 кА > 5,47 кА	Виконується
ОПН	Обмежувачі перенапруг	ОПНп-10/12 УХЛ1	Клас напруги відповідає мережі 10 кВ	Виконується
ТА1-ТА3	Трансформатори струму	ТОЛУ-10 20/5	20 А > 14,43 А	Виконується
ЗН	Заземлювальний ніж	ЗН-10/630	$U_{ном} = 10$ кВ; $I_{ном} = 630$ А	Виконується

Вибрані апарати мають достатній запас щодо розрахункових параметрів зовнішньої кабельної лінії. Вимикач навантаження забезпечує комутацію робочого струму трансформатора, запобіжники виконують захист трансформатора та кабельного вводу від аварійних струмів, а обмежувачі перенапруг знижують ризик пошкодження ізоляції під час грозових і комутаційних перенапруг. Наявність заземлювального ножа забезпечує безпечне обслуговування відключеної ділянки.

4.6. Висновки до розділу 4

У четвертому розділі виконано розрахунок зовнішньої електричної мережі напругою 10 кВ для живлення комплектної трансформаторної підстанції будівельного майданчика. Визначено трасу кабельної лінії довжиною 0,42 км, прийнято прокладання кабелю у землі з механічним захистом у місцях можливого пошкодження. Для живлення КТП 10/0,4 кВ потужністю 250 кВА прийнято кабель АПвЭгаПу-10 3×70 мм² або аналог.

Розрахунковий робочий струм сторони 10 кВ становить 14,43 А, що значно менше допустимого тривалого струму вибраного кабелю. Втрата напруги в кабельній лінії становить 0,043 %, а активні втрати потужності - близько 0,116 кВт. Отримані значення підтверджують, що прийнятий кабель має достатній запас за пропускною здатністю і забезпечує якісне живлення трансформаторної підстанції.

Розрахунок короткого замикання показав, що струм КЗ на вводі КТП становить 5,47 кА, ударний струм - 13,9 кА, тепловий імпульс - 29,9 кА²·с. За цими значеннями перевірено апарати захисту кабельної лінії 10 кВ. Прийняті роз'єднувач, вимикач навантаження, запобіжники, обмежувачі перенапруг і трансформатори струму відповідають умовам нормального та аварійного режимів роботи.

РОЗДІЛ 5

ОПИС СПЕЦИФІКАЦІЇ ВИБРАНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

5.1. Огляд вимог до специфікації електричного обладнання

Специфікація електротехнічного обладнання є підсумковим документом, у якому узагальнюються прийняті технічні рішення щодо електропостачання будівельного майданчика. Вона формується на підставі розрахунку навантажень, вибору кабельних ліній, апаратів захисту, силового трансформатора та обладнання КТП 10/0,4 кВ. Специфікація використовується для комплектування об'єкта, підготовки кошторису, закупівлі обладнання та виконання монтажних робіт.

У специфікації необхідно зазначати найменування обладнання, умовне позначення на схемі, прийнятий тип або марку, основні електричні параметри, кількість і призначення. Для тимчасових електроустановок будівельного майданчика особливу увагу приділяють механічній міцності обладнання, ступеню захисту оболонок, наявності запасу за струмом і вимикальною здатністю, а також можливості безпечного технічного обслуговування.

При складанні специфікації враховуються вимоги ПУЕ, Кодексу систем розподілу, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів та правил безпечної експлуатації електроустановок. Усі апарати повинні відповідати класу напруги, очікуваним струмам навантаження та струмам короткого замикання, а кабельні вироби - умовам прокладання і допустимому нагріванню.

Таблиця 5.1

Загальні вимоги до специфікації обладнання

Група обладнання	Основні параметри, які зазначаються	Призначення
Кабельні лінії	Марка, переріз, напруга, довжина, спосіб прокладання	Передавання електроенергії до споживачів

Група обладнання	Основні параметри, які зазначаються	Призначення
Апарати 0,4 кВ	Номінальний струм, характеристика, вимикальна здатність	Захист і комутація відхідних ліній
Апарати 10 кВ	Клас напруги, номінальний струм, термічна та динамічна стійкість	Приймання і захист живлення 10 кВ
КТП	Потужність трансформатора, схема з'єднання, виконання	Перетворення 10 кВ у 0,4 кВ
Заземлення	Кількість електродів, переріз смуги, розрахунковий опір	Електробезпека та захист обладнання

5.2. Специфікація на обладнання напругою 0,4 кВ

Обладнання напругою 0,4 кВ призначене для розподілу електроенергії від шин КТП до основних електроприймачів будівельного майданчика. До складу обладнання входять ввідний автоматичний вимикач, автоматичні вимикачі відхідних ліній, силові кабелі, місцеві шафи керування електродвигунами та елементи системи захисного заземлення. Вибір апаратів узгоджений з розрахунковими струмами, прийнятими у розділі 2.

Таблиця 5.2

Специфікація апаратів захисту мережі 0,4 кВ

Поз.	Призначення	Тип / марка	Основні параметри	Кількість
QF2	Ввід РУ-0,4 кВ	ЗР 400 А, Ir = 360 А	Icu = 25 кА; U = 0,4 кВ	1
QF3	Л-1, баштовий кран	ЗР D100	In = 100 А; Icu = 10 кА	1
QF4	Л-2, підйомники і бетонний вузол	ЗР С63	In = 63 А; Icu = 10 кА	1
QF5	Л-3, зварювальні пости	ЗР С80	In = 80 А; Icu = 10 кА	1
QF6	Л-4, компресор і верстати	ЗР С63	In = 63 А; Icu = 10 кА	1

Поз.	Призначення	Тип / марка	Основні параметри	Кількість
QF7	Л-5, побутові вагончики	3P C32	$I_n = 32 \text{ A}$; $I_{cu} = 10 \text{ кА}$	1
QF8	Л-6, дренажні насоси	3P C25	$I_n = 25 \text{ A}$; $I_{cu} = 10 \text{ кА}$	1
QF9	Л-7, освітлення майданчика	3P C32	$I_n = 32 \text{ A}$; $I_{cu} = 10 \text{ кА}$	1
QF10	Л-8, тимчасове освітлення	3P C16	$I_n = 16 \text{ A}$; $I_{cu} = 10 \text{ кА}$	1

Таблиця 5.3

Специфікація кабельних ліній мережі 0,4 кВ

Лінія	Група споживачів	Кабель	Довжина	Втрати напруги
Л-1	Баштовий кран	АВВГ 4×35	70 м	1,54 %
Л-2	Підйомники, бетонозмішувачі, розчинонасос	АВВГ 4×16	95 м	3,01 %
Л-3	Зварювальні пости та інструмент	АВВГ 4×25	120 м	2,34 %
Л-4	Компресор, верстати, вібратори	АВВГ 4×16	85 м	2,78 %
Л-5	Побутові вагончики	АВВГ 4×10	55 м	1,74 %
Л-6	Дренажні насоси	АВВГ 4×10	80 м	1,12 %
Л-7	Освітлення майданчика	АВВГ 4×16	160 м	2,79 %
Л-8	Тимчасове освітлення будівлі	АВВГ 4×10	110 м	1,49 %

Специфікація мережі 0,4 кВ охоплює всі основні відхідні лінії, зазначені на однолінійній схемі електропостачання. Прийняті автоматичні вимикачі забезпечують селективне вимкнення пошкодженої лінії, а вибрані кабелі мають запас за нагріванням і задовольняють вимогу щодо допустимої втрати напруги до 5 %.

5.3. Специфікація на обладнання напругою 10 кВ

Обладнання напругою 10 кВ призначене для приймання електроенергії від існуючої мережі, комутації силового трансформатора, захисту кабельної лінії та ізоляції КТП від перенапруг. Вибір обладнання виконано з урахуванням робочого струму 14,43 А та розрахункового струму короткого замикання на вводі КТП 5,47 кА.

Таблиця 5.4

Специфікація обладнання напругою 10 кВ

Поз.	Найменування	Тип / марка	Основні параметри	К-ть
КЛ-10	Кабельна лінія 10 кВ	АПвЭгаПу-10 3×70 мм ²	L = 0,42 км; I _{доп} ≈ 180 А	0,42 км
QS1	Роз'єднувач вводу	РВЗ-10/630 УЗ	U = 10 кВ; I _н = 630 А; I _{терм} = 20 кА	1
QF1	Вимикач навантаження	ВНА-10/630-20 УЗ	U = 10 кВ; I _н = 630 А; I _{терм} = 20 кА	1
FU1- FU3	Високовольтні запобіжники	ПКТ-101-10-25-31,5 УЗ	I _{вст} = 25 А; I _{відкл} = 31,5 кА	3
ОПН	Обмежувач перенапруг	ОПНп-10/12 УХЛ1	U = 10 кВ; I _{розр} = 10 кА	3
ТА1- ТА3	Трансформатори струму	ТОЛУ-10 20/5	Клас 0,5S/10P; U = 10 кВ	3
ЗН	Заземлювальний ніж	ЗН-10/630	U = 10 кВ; I _н = 630 А	1
-	Кінцеві муфти 10 кВ	для кабелю 3×70 мм ²	Комплект для внутрішнього/зовнішнього встановлення	2 компл.

Обладнання сторони 10 кВ має значний запас за номінальним струмом, термічною та електродинамічною стійкістю. Запобіжники ПКТ-101 забезпечують вимикання аварійного струму, а обмежувачі перенапруг захищають ізоляцію трансформатора і кабельного вводу від грозових та комутаційних перенапруг.

5.4. Специфікація на обладнання КТП

Комплектна трансформаторна підстанція є центральним елементом системи електропостачання будівельного майданчика. Вона забезпечує приймання електроенергії напругою 10 кВ, її перетворення до напруги 0,4 кВ і розподіл між відхідними лініями. За результатами розрахунків прийнято КТП 10/0,4 кВ з одним силовим трансформатором ТМГ-250/10/0,4-У1.

Таблиця 5.5

Специфікація комплектної трансформаторної підстанції

Найменування	Тип / виконання	Основні параметри	К-ть
Комплектна трансформаторна підстанція	КТП-250/10/0,4	S = 250 кВА; U = 10/0,4 кВ; зовнішнє встановлення	1
Силовий трансформатор	ТМГ-250/10/0,4-У1	250 кВА; Д/Ун-11; ук = 6 % для розрахунку КЗ	1
Пристрій високої напруги	РУ-10 кВ	комірка вводу з QS1, QF1, FU1-FU3, ОПН	1 компл.
Пристрій низької напруги	РУ-0,4 кВ	ввід QF2 400 А; відхідні лінії QF3-QF10	1 компл.
Шини 0,4 кВ	мідні або алюмінієві	Ін не менше 400 А	1 компл.
Контур заземлення	сталь Ø16 мм, смуга 40×4 мм	$R_z \leq 4 \text{ Ом}$	1 компл.
Захисні плакати та знаки	комплект для електроустановок	попереджувальні та заборонні знаки	1 компл.

Прийнята КТП забезпечує коефіцієнт завантаження трансформатора 80,1 %, що є допустимим для тривалого режиму роботи. Наявний резерв 49,72 кВА дозволяє врахувати короточасні пускові струми електродвигунів баштового крана, підйомників, компресора та насосів без тривалого перевантаження трансформатора.

5.5. Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі складено специфікацію вибраного електротехнічного обладнання для електропостачання будівельного майданчика. До специфікації включено обладнання мережі 0,4 кВ, апарати сторони 10 кВ, кабельні лінії та основні елементи комплектної трансформаторної підстанції. Прийнята специфікація узгоджується з розрахунковим навантаженням 200,28 кВА, силовим трансформатором 250 кВА, кабельними лініями Л-1-Л-8 і вибраними апаратами захисту.

Вибране обладнання забезпечує приймання електроенергії від мережі 10 кВ, її перетворення до напруги 0,4 кВ та розподіл між основними будівельними механізмами. Усі апарати мають достатній запас за номінальним струмом і вимикальною здатністю, а кабелі відповідають умовам нагрівання і допустимій втраті напруги. Отримана специфікація може бути використана як основа для кошторису, закупівлі та монтажу обладнання КТП.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

РОЗДІЛ 6

ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ В УСТАНОВКАХ З ПІДВИЩЕНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

6.1. Загальні положення з охорони праці

Електромонтажні та експлуатаційні роботи на будівельному майданчику належать до робіт з підвищеною небезпекою, оскільки виконуються поблизу електроустановок напругою 10 кВ і 0,4 кВ, у тимчасових умовах будівництва, за наявності рухомих механізмів, металевих конструкцій, вологи, пилу та можливих механічних пошкоджень кабельних ліній. Тому організація робіт повинна відповідати вимогам правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, ПУЕ та будівельних норм з охорони праці.

До обслуговування КТП, кабельних ліній і розподільних пристроїв допускаються працівники, які пройшли навчання, інструктаж, перевірку знань з електробезпеки та мають відповідну групу допуску. Роботи в електроустановках 10 кВ виконуються за нарядом-допуском або розпорядженням, після повного зняття напруги, перевірки її відсутності, встановлення переносного заземлення та вивішування заборонних плакатів.

Таблиця 6.1

Небезпечні фактори та заходи захисту

Небезпечний фактор	Можливі наслідки	Заходи захисту
Напруга 10 кВ і 0,4 кВ	Ураження електричним струмом, електрична дуга	Наряд-допуск, зняття напруги, заземлення, блокування доступу
Пошкодження кабелю будівельною технікою	Коротке замикання, пожежа, зупинка механізмів	Прокладання у захищених трасах, попереджувальні знаки, схеми трас
Волога, пил, забруднення	Зниження опору ізоляції, корозія контактів	Оболонки IP54/IP65, регулярний огляд, сушіння та очищення

Небезпечний фактор	Можливі наслідки	Заходи захисту
Рухомі механізми і кранове обладнання	Механічні травми, пошкодження кабельних ліній	Огородження небезпечних зон, узгодження маршрутів кабелів
Робота на відкритому повітрі	Вплив опадів, грози, зниження видимості	Припинення робіт під час грози, застосування ЗІЗ, освітлення робочої зони

Перед початком робіт персонал повинен перевірити справність засобів індивідуального захисту, наявність діелектричних рукавичок, покажчика напруги, переносного заземлення, інструменту з ізольованими рукоятками, попереджувальних плакатів та засобів пожежогасіння. Під час експлуатації тимчасових електромереж необхідно вести журнал оглядів, фіксувати спрацювання апаратів захисту та своєчасно усувати пошкодження ізоляції і контактних з'єднань.

6.2. Захист людей від ураження електричним струмом

Захист людей від ураження електричним струмом на будівельному майданчику забезпечується комплексом технічних і організаційних заходів. До технічних заходів належать захисне заземлення, автоматичне вимкнення живлення, застосування захисних провідників РЕ, вирівнювання потенціалів, використання пристроїв захисного вимкнення для розеткових груп і переносного електроінструменту, а також застосування оболонок з достатнім ступенем захисту.

Для мережі 0,4 кВ після КТП доцільно застосувати систему TN-S або TN-C-S із розділенням PEN-провідника на РЕ та N у ввіді низької напруги. Захисний РЕ-провідник повинен бути приєднаний до головної заземлювальної шини КТП, а металеві корпуси електрообладнання, шафи керування, корпуси будівельних механізмів і металеві конструкції повинні бути приєднані до системи захисного заземлення.

Умовою ефективності автоматичного вимкнення живлення є достатній струм однофазного короткого замикання та правильний вибір апаратів захисту. У загальному вигляді умова автоматичного вимкнення може бути записана як:

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		61

$$I_{k.min} \geq I_{спр}$$

(6.1)

де $I_{k.min}$ - мінімальний струм короткого замикання в кінці захищеної ділянки;
 $I_{спр}$ - струм гарантованого спрацювання захисного апарата. Для відхідних ліній 0,4 кВ прийнято автоматичні вимикачі з характеристиками C і D, що враховує пускові струми електродвигунів і забезпечує вимкнення аварійних режимів.

Таблиця 6.2

Заходи електробезпеки в мережі будівельного майданчика

Елемент системи	Прийнятий захід	Очікуваний результат
КТП 10/0,4 кВ	Захисне заземлення і головна заземлювальна шина	Зниження напруги дотику та відведення струму замикання
РУ-0,4 кВ	Ввідний автомат QF2 і відхідні автомати QF3-QF10	Автоматичне вимкнення пошкодженої ділянки
Розеткові групи і ручний інструмент	ПЗВ або диференційні автомати 30 мА	Додатковий захист персоналу
Металеві корпуси обладнання	Приєднання до РЕ-провідника	Унеможливлення небезпечної напруги на корпусі
Кабельні траси	Механічний захист, сигнальна стрічка, огороження	Зменшення ризику пошкодження кабелю

Організаційні заходи включають оформлення нарядів-допусків, призначення відповідального керівника робіт, цільовий інструктаж, огороження робочого місця, вивішування плакатів безпеки, застосування замків і блокувань, а також контроль відсутності напруги перед доторканням до струмоведучих частин.

6.3. Влаштування контуру заземлення підстанції

Заземлювальний пристрій КТП 10/0,4 кВ призначений для забезпечення електробезпеки персоналу, відведення струмів замикання на землю, стабілізації потенціалу нейтралі мережі 0,4 кВ та захисту обладнання від перенапруг. Контур заземлення виконується у вигляді системи вертикальних електродів, з'єднаних горизонтальною сталевією смугою по периметру підстанції.

Для розрахунку приймаються такі вихідні дані: питомий опір ґрунту $\rho = 60$ Ом·м, сезонний коефіцієнт $k_s = 1,3$, розрахунковий питомий опір $\rho_{роз} = 78$ Ом·м, довжина вертикального електрода $l = 3$ м, діаметр електрода $d = 16$ мм, кількість електродів $n = 8$, довжина горизонтальної смуги $L_g = 24$ м, переріз сталевієї смуги 40×4 мм, глибина закладання $h = 0,7$ м. Допустимий опір заземлювального пристрою приймається не більше 4 Ом.

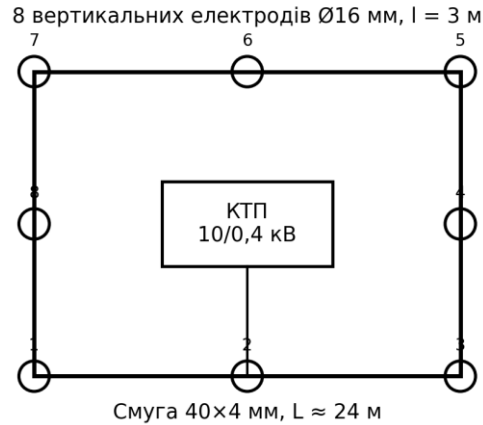


Рис. 6.1 – Прийнята схема заземлювального пристрою КТП

$$\rho_{роз} = \rho \cdot k_s \quad (6.2)$$

$$\rho_{роз} = 60 \cdot 1,3 = 78 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (6.3)$$

Опір одного вертикального електрода визначається за формулою:

$$R_v = \rho_{роз} / (2\pi l) \cdot [\ln(4l / d) - 1] \quad (6.4)$$

$$R_v = 78 / (2\pi \cdot 3) \cdot [\ln(4 \cdot 3 / 0,016) - 1] = 23,3 \text{ Ом} \quad (6.5)$$

Опір групи вертикальних електродів з урахуванням коефіцієнта використання $\eta_v = 0,62$ становить:

$$R_{v.гр} = R_v / (n \cdot \eta_v) \quad (6.6)$$

$$R_{v.гр} = 23,3 / (8 \cdot 0,62) = 4,70 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

Опір горизонтального заземлювача зі сталевієї смуги визначається за виразом:

$$R_g = \rho_{роз} / (2\pi L_g) \cdot \ln(2L_g^2 / (b \cdot h)) \quad (6.8)$$

$$R_g = 78 / (2\pi \cdot 24) \cdot \ln(2 \cdot 24^2 / (0,04 \cdot 0,7)) = 5,49 \text{ Ом} \quad (6.9)$$

Еквівалентний опір заземлювального пристрою визначається паралельним з'єднанням опорів вертикальної та горизонтальної частин:

$$R_3 = (R_{в.гр} \cdot R_г) / (R_{в.гр} + R_г) \quad (6.10)$$

$$R_3 = (4,70 \cdot 5,49) / (4,70 + 5,49) = 2,53 \text{ Ом} \quad (6.11)$$

Таблиця 6.3

Результати розрахунку заземлювального пристрою КТП

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Питомий опір ґрунту	ρ	60	Ом·м
Сезонний коефіцієнт	k_c	1,3	-
Розрахунковий питомий опір	$\rho_{роз}$	78	Ом·м
Кількість вертикальних електродів	n	8	шт.
Довжина електрода	l	3	м
Опір одного електрода	$R_{в.гр}$	23,3	Ом
Опір групи вертикальних електродів	$R_{в.гр}$	4,70	Ом
Опір горизонтальної смуги	$R_г$	5,49	Ом
Розрахунковий опір контуру	R_3	2,53	Ом
Допустиме значення	$R_{доп}$	4,0	Ом

Отриманий опір заземлювального пристрою $R_3 = 2,53 \text{ Ом}$ менший за допустиме значення 4 Ом. Отже, прийнятий контур заземлення забезпечує необхідний рівень електробезпеки для КТП 10/0,4 кВ та може бути використаний для приєднання нейтралі трансформатора, корпусів електрообладнання, металевих конструкцій і захисних провідників РЕ.

6.4. Висновки до розділу 6

У шостому розділі розроблено заходи з охорони праці при виконанні робіт в електроустановках будівельного майданчика. Визначено основні небезпечні фактори:

наявність напруги 10 кВ і 0,4 кВ, можливість пошкодження кабельних ліній, вплив вологи та пилу, робота поблизу будівельних механізмів і небезпека дотику до металевих корпусів обладнання.

Запропоновано технічні заходи захисту: застосування захисного заземлення, автоматичного вимкнення живлення, РЕ-провідників, пристроїв захисного вимкнення для розеткових груп, механічного захисту кабельних ліній, огороження небезпечних зон та використання засобів індивідуального захисту. Для КТП розраховано заземлювальний пристрій з 8 вертикальними електродами та горизонтальною сталевією смугою. Розрахунковий опір заземлення становить 2,53 Ом, що не перевищує допустимі 4 Ом.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено технічні рішення з електропостачання механізмів будівельного майданчика зі встановленням комплектної трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ. Об'єктом проектування прийнято будівельний майданчик ТОВ «Будмонтаж-Сервіс» зі зведення 9-поверхового житлово-адміністративного будинку у Київській області. Живлення майданчика передбачено від існуючої мережі 10 кВ через КТП 10/0,4 кВ з радіальною схемою розподілу електроенергії.

У першому розділі виконано аналіз ситуаційного плану будівельного майданчика, визначено основні групи електроприймачів і сформовано вихідні дані для подальших розрахунків. До складу навантаження включено баштовий кран, будівельні підйомники, бетонозмішувачі, розчинонасос, компресор, зварювальні пости, вібратори бетону, верстати, дренажні насоси, побутові вагончики та тимчасове освітлення.

У другому розділі розраховано електричне навантаження споживачів. Сумарна встановлена потужність становить 312,5 кВт, розрахункова активна потужність - 158,53 кВт, реактивна потужність - 122,39 квар, повна потужність - 200,28 кВА. За цими даними визначено розрахунковий струм на стороні 0,4 кВ, вибрано кабелі відхідних ліній АВВГ 4×35, 4×25, 4×16 та 4×10, а також автоматичні вимикачі QF2-QF10.

У третьому розділі виконано розрахунок комплектної трансформаторної підстанції. Необхідна потужність трансформатора з урахуванням коефіцієнта запасу 1,15 становить 230,32 кВА, тому прийнято трансформатор ТМГ-250/10/0,4-У1 потужністю 250 кВА. Коефіцієнт завантаження трансформатора становить 80,1 %, а резерв повної потужності - 49,72 кВА. Вибрано обладнання сторони 10 кВ: роз'єднувач РВЗ-10/630, вимикач навантаження ВНА-10/630-20, запобіжники ПКТ-101-10-25-31,5, обмежувачі перенапруг ОПНп-10/12 та трансформатори струму ТОЛУ-10.

У четвертому розділі розраховано зовнішню електричну мережу напругою 10 кВ. Для живлення КТП прийнято кабельну лінію довжиною 0,42 км кабелем

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

АПвЭгаПу-10 3×70 мм² або аналогом. Робочий струм лінії становить 14,43 А, втрата напруги - 0,043 %, активні втрати потужності - 0,116 кВт. Розрахунковий струм короткого замикання на вводі КТП становить 5,47 кА, що підтверджує достатність прийнятих апаратів захисту.

У п'ятому розділі складено специфікацію вибраного обладнання. До неї включено кабельні лінії 0,4 кВ і 10 кВ, автоматичні вимикачі, обладнання сторони 10 кВ, силовий трансформатор, комплектну трансформаторну підстанцію та елементи заземлювального пристрою. Специфікація узгоджена з розрахунковими струмами, потужністю трансформатора та прийнятою однолінійною схемою електропостачання.

У шостому розділі розроблено заходи з охорони праці та електробезпеки. Для КТП розраховано контур заземлення з восьми вертикальних електродів довжиною 3 м і горизонтальної сталевий смуги 40×4 мм. Розрахунковий опір заземлення становить 2,53 Ом, що менше допустимого значення 4 Ом. Запропоновані заходи забезпечують захист персоналу від ураження електричним струмом і безпечну експлуатацію тимчасової системи електропостачання.

Отже, поставлену мету роботи досягнуто: забезпечено електроенергією механізмів будівельного майданчика шляхом розробки системи електропостачання з встановленням КТП 10/0,4 кВ. Прийняті рішення забезпечують живлення основних будівельних механізмів, побутових споживачів і освітлення, мають запас за потужністю, відповідають умовам нормального та аварійного режимів і можуть бути використані як основа для практичного проектування тимчасового електропостачання будівельного об'єкта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyla-ulashtuvannya-elektroustanovok> (дата звернення: 03.06.2026).
2. Про затвердження Кодексу систем розподілу: Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 р. № 310. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0310874-18> (дата звернення: 03.06.2026).
3. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії: Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 р. № 311. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0311874-18> (дата звернення: 03.06.2026).
4. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів: Наказ Мінпаливенерго України від 25.07.2006 р. № 258. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06> (дата звернення: 03.06.2026).
5. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів: Наказ Мінпраці України від 09.01.1998 р. № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98> (дата звернення: 03.06.2026).
6. ДБН В.2.5-23:2025. *Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд.* URL: https://econstruction.gov.ua/laws_detail/3728029580368283042?doc_type=2 (дата звернення: 03.06.2026).
7. ДБН В.2.5-28:2018. *Природне і штучне освітлення.* URL: https://econstruction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2 (дата звернення: 03.06.2026).
8. ДБН А.3.2-2-2009. *Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення.* URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074220455066862610 (дата звернення: 03.06.2026).

9. ДСТУ EN 61936-1:2017. *Електроустановки напругою понад 1 кВ змінного струму. Загальні правила.* [Чинний від 2017-12-28]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 86 с. (Інформація та документація).

10. ДСТУ EN 50522:2017. *Заземлення електроустановок напругою понад 1 кВ змінного струму.* [Чинний від 2017-12-28]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 52 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ HD 60364-4-41:2022. *Низьковольтні електричні установки. Захист для безпеки. Захист від ураження електричним струмом.* [Чинний від 2022-12-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 74 с. (Інформація та документація)

12. ДСТУ HD 60364-5-52:2022. *Низьковольтні електричні установки. Вибір та монтаж електрообладнання. Системи електропроводки.* [Чинний від 2022-12-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 130 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ EN 60947-2:2017. *Апаратура комутаційна та апаратура керування низьковольтна. Автоматичні вимикачі.* [Чинний від 2017-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 194 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ EN IEC 62271-102:2021. *Високовольтна комутаційна апаратура та апаратура керування. Роз'єднувачі та заземлювачі змінного струму.* [Чинний від 2021-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 120 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ EN IEC 62271-105:2021. *Високовольтна комутаційна апаратура та апаратура керування. Вимикачі навантаження – запобіжники.* [Чинний від 2021-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2021. 98 с. (Інформація та документація).

16. IEC 60287-1-1:2023. *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations and calculation of losses.* Geneva:

IEC, 2023. 92 p.

17. IEC 60909-0:2016. *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents.* Geneva: IEC, 2016. 74 p.

68

18. ДСТУ 8302:2015. *Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.* [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

19. *Electrical Installation Guide.* Schneider Electric, 2024. URL:

<https://www.se.com/ww/en/work/support/resources-and-tools/electrical-installation-guide/> (дата звернення: 03.06.2026).

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 002 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

20. ABB. *Technical Application Papers No. 1. Low voltage circuit-breakers: working with trip characteristic curves*. ABB, 2022. 76 p.

21. *Каталог силових трансформаторів ТМГ 25–2500 кВА 6–10/0,4 кВ*. Технічні характеристики трансформаторного обладнання.

22. *Каталог силових кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену на напругу 6–35 кВ*. Технічні дані та умови прокладання.

23. *Каталог автоматичних вимикачів Schneider Electric EasyPact / Compact NSX*. Технічні характеристики апаратів захисту.

24. *Каталог високовольтних запобіжників ПКТ 6–10 кВ*. Технічні характеристики та умови застосування.

25. *Каталог обмежувачів перенапруг ОПНн 6–10 кВ*. Технічні характеристики захисту ізоляції.