

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ С. М. Лебедка

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» на тему: «Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Чупрун Анастасія Олександрівна

Керівник _____
доцент кафедри ЕЕ, к.т.н. І. М. Дяговченко

Суми – 2024

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Чупрун Анастасії Олександрівни

1. Тема роботи: «Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією» затверджена наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 08.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: графіки активної та реактивної потужності навантаження споживачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

- Аналіз проблем, пов'язаних із роботою трансформаторів;
- Розрахунок електричних навантажень;
- Створення моделей розподільчих мереж для моделювання;
- Моделювання електричних мереж у середовищі GridLAB-D;
- Охорона праці;
- Економічне порівняння запропонованих рішень.

5. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
Економічне порівняння запропонованих рішень	Маценко О.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз проблем, що пов'язані з роботою трансформаторів	До 10.11.2024	
2	Розрахунок електричних навантажень	До 13.11.2024	
3	Створення моделей розподільчих мереж	До 19.11.2024	
4	Моделювання електричних мереж у середовищі GridLAB-D	До 28.11.2024	
5	Охорона праці	До 01.12.2024	
6	Економічне порівняння запропонованих рішень	До 04.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	До 07.12.2024	
8	Здача роботи на перевірку	До 08.12.2024	

Студент



(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

с. 83, рис. 26, табл. 19

Бібліографічний опис: Чупрун А.О. Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Чупрун А.О.; керівник Дяговченко І.М. – Суми: СумДУ, 2024. – 83 с.

Ключові слова: втрати потужності, електрична мережа, електричні навантаження, паралельна робота, трансформатор.

power losses, electrical network, electrical loads, parallel work, transformer.

Короткий огляд (реферат): Магістерська робота присвячена дослідженню паралельної роботи двох трансформаторів у трансформаторній підстанції (ТП) 10/0,4 кВ як альтернативи стандартному використанню одного трансформатора. Метою є оцінка технічної та економічної доцільності впровадження такої схеми для зменшення втрат потужності. Для аналізу було створено модель мережі, яка включає чотири лінії споживачів, кожна з яких обслуговує 21 будинок. Визначено електричні навантаження (ЕН), а моделювання роботи мережі в умовах із одним та двома трансформаторами виконано в програмному середовищі GridLAB-D. Результати моделювання дозволили провести техніко-економічний аналіз. Розраховано витрати на встановлення одного і двох трансформаторів та оцінено економічний ефект від зниження втрат енергії. На основі цього визначено, чи є доцільним встановлення другого трансформатора за умов заданого навантаження.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

PNNL – Pacific Northwest National Laboratory

ВР – відомість робіт

ДБН – Державні будівельні норми

ЕЕ – електроенергія

ЕН – електричні навантаження

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

КЗ – коротке замикання

ЛЕП – лінія електропередачі

НН – низька напруга

ОП – охорона праці

ПК – програмний комплекс

ПЛІ – повітряна лінія ізольована

ПС – підстанція

СПП – самонесучий ізольований провід

ТП – трансформаторна підстанція

ХХ – холостий хід

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз проблем, що пов'язані з роботою трансформаторів	9
1.1 Економічно доцільний режим роботи трансформаторів	9
1.2 Вирівнювання навантажень фаз в електричних мережах 380 В	12
1.3 Технічні заходи щодо зниження втрат у розподільчих мережах.....	14
2 Створення моделей розподільчих мереж у середовищі GridLAB-D	16
2.1 Розрахунок електричних навантажень.....	16
2.2 Програмне середовище GridLAB-D	21
2.3 Розробка моделей для оцінки рівня втрат електроенергії	22
2.4 Результати досліджень.....	39
2.5 Висновки до розділу	42
3 Охорона праці	44
3.1 Загальні положення охорони праці	44
3.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів	45
3.3 Розробка заходів щодо забезпечення безпеки персоналу.....	51
3.4 Оцінка умов праці та організація навчання персоналу	54
3.5 Пожежна безпека при експлуатації трансформаторів.....	55
3.6 Електробезпека в роботі з трансформаторами.....	56
3.8 Висновки до розділу	58
4 Економічне порівняння запропонованих рішень.....	59
4.1 ПК АВК-5.....	59
4.2 Відомість робіт та специфікація обладнання і матеріалів для обох варіантів мережі	60
4.3 Локальні кошториси на монтажні, пусконаладжувальні роботи, устаткування	62

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Чупрун А.О.			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Дяговченко І.М.				6	83
<i>Реценз.</i>					СумДУ, гр. ЕТ.м-31		
<i>Н. Контр.</i>		Дяговченко І.М.					
<i>Затверд.</i>		Лебедка С.М.					

Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією

4.4 Об'єктні кошториси	66
4.5 Зведені кошторисні розрахунки	68
4.6 Висновки до розділу	71
Висновки	72
Список використаних джерел	74
Додатки.....	77

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

Вступ

Останніми роками питання оптимізації роботи електричних мереж привертає все більше уваги як у науковій спільноті, так і серед практиків. У сучасних умовах зростання споживання електроенергії та підвищення вимог до енергоефективності, зменшення втрат у розподільних мережах стає одним із ключових завдань електроенергетики. Одним із можливих напрямків вирішення цього завдання є оптимізація роботи ТП.

На традиційних трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ зазвичай використовується один трансформатор для перетворення напруги. Однак така схема може бути не оптимальною, особливо за умов значного навантаження, коли втрати енергії у трансформаторі зростають. Альтернативним підходом є встановлення двох трансформаторів, які працюють паралельно, що дозволяє рівномірніше розподілити навантаження і зменшити втрати енергії.

У багатьох країнах світу, зокрема у розвинених, активно проводяться дослідження та впроваджуються технології, спрямовані на підвищення енергоефективності електричних мереж. В Україні також усе частіше постає питання модернізації енергетичної інфраструктури з метою зменшення втрат електроенергії та підвищення надійності енергопостачання.

Метою дослідження, проведеного в рамках цієї магістерської роботи, є оцінка ефективності паралельної роботи двох трансформаторів на трансформаторній підстанції 10/0,4 кВ. Завданням є розробка моделі розподільної мережі, моделювання її роботи за умов використання одного та двох трансформаторів, а також техніко-економічне порівняння цих варіантів із визначенням доцільності впровадження другого трансформатора.

Для реалізації ідеї було створено спрощену модель розподільної мережі, яка включає чотири лінії з 21 споживачем на кожній. Розраховані електричні навантаження (ЕН) та змодельовано роботу мережі у програмному середовищі GridLAB-D. Отримані результати дозволяють оцінити рівень втрат енергії та економічну доцільність встановлення додаткового трансформатора.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Аналіз проблем, що пов'язані з роботою трансформаторів

Трансформатори на підстанціях 10/0,4 кВ відіграють ключову роль у забезпеченні якісного електропостачання. Однією з актуальних задач є вибір оптимального режиму їх роботи, зокрема порівняння ефективності одного трансформатора із паралельною роботою двох.

Паралельна робота трансформаторів може мати як переваги, так і виклики, пов'язані з технічними умовами, рівнем втрат, навантаженням та стабільністю системи. Аналіз цих аспектів є важливим для ухвалення обґрунтованих рішень щодо проектування та експлуатації підстанцій.

У цьому розділі розглядаються основні проблеми, пов'язані з роботою трансформаторів, та передумови для оцінки доцільності їхнього паралельного використання.

1.1 Економічно доцільний режим роботи трансформаторів

Економічно доцільний режим роботи трансформаторів на підстанціях є одним із ефективних заходів зі зменшення втрат електроенергії. Це особливо важливо для підстанцій, які живлять споживачів I та II категорій надійності, а також для районних підстанцій енергосистеми, де зазвичай встановлюють два або більше трансформаторів. На таких підстанціях можливі як роздільний, так і паралельний режими роботи трансформаторів, кожен із яких має свої переваги та недоліки.

Особливості роздільної роботи трансформаторів

У режимі роздільної роботи кожен трансформатор підключається до окремої секції шин. Це дозволяє знизити струми короткого замикання за трансформаторами, що полегшує роботу обладнання й комутаційної апаратури [1].

					МР 3.8.141.546 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чупрун А.О.			Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Дяговченко І.М.					9	83
<i>Реценз.</i>						СумДУ, гр. ЕТ.м-31		
<i>Н. Контр.</i>		Дяговченко І.М.						
<i>Затверд.</i>		Лебедка С.М.						

Проте, цей режим є менш економічним порівняно з паралельною роботою, оскільки зазвичай супроводжується більшими втратами електроенергії через нерациональне розподілення навантаження.

Переваги паралельної роботи трансформаторів

Паралельна робота трансформаторів дозволяє оптимально розподілити навантаження між ними, забезпечуючи мінімальні втрати електроенергії. Найекономічніший режим досягається, коли навантаження трансформаторів пропорційне їхній номінальній потужності. Однак для цього необхідна відповідність параметрів трансформаторів: однакові групи з'єднань обмоток, відхилення напруг короткого замикання не більше 10 %, співвідношення потужностей не більше 1:3, а різниця напруг відгалужень не перевищує 0,5 %.

Особливості експлуатації трансформаторів

У реальних умовах повна відповідність параметрів трансформаторів є рідкістю. У таких випадках допускається паралельна робота трансформаторів різних типів, але вона супроводжується появою врівноважувальних струмів [2], які впливають на рівномірність розподілення навантаження. У періоди мінімального навантаження (наприклад, вночі або в міжсезоння) доцільно відключати частину трансформаторів, щоб зменшити постійні втрати (в сталі трансформатора), які не залежать від навантаження.

Для забезпечення надійності енергопостачання споживачів I категорії під час відключення одного з трансформаторів обов'язково передбачається автоматичне введення резерву [3].

Розглянемо підстанцію з k паралельно працюючими трансформаторами (однотипними). Втрати потужності в k трансформаторах:

$$\Delta P_T = k * \Delta P_X + \frac{1}{k} * \frac{\Delta P_K * S^2}{S_H^2}, \quad (1.1)$$

де ΔP_X – втрати холостого ходу (XX) трансформатора, ΔP_K – втрати короткого замикання трансформатора.

Змінюючи S , побудуємо залежності $\Delta P_T = f(S)$ для різного числа працюючих трансформаторів.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

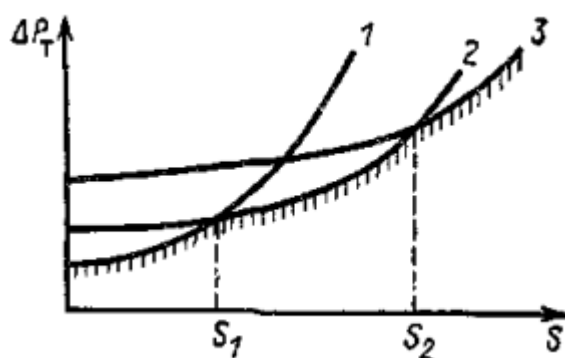


Рисунок 1.1 – Залежність втрат потужності від навантаження і числа трансформаторів

З рис. 1.1 видно, При зміні навантаження від нуля до S_1 доцільною є робота одного трансформатора. У цьому діапазоні навантаження втрати потужності залишаються мінімальними, а використання другого трансформатора економічно невиправдане.

Коли навантаження зростає в межах від S_1 до S_2 , стає вигідним підключення другого трансформатора. Це дозволяє рівномірно розподілити навантаження між ними, зменшуючи загальні втрати потужності та забезпечуючи більш стабільну роботу системи.

У разі подальшого збільшення навантаження понад S_2 необхідно підключити третій трансформатор, щоб забезпечити надійну передачу потужності без перевантаження обладнання.

Навантаження S , при якому доцільно відключати один із трансформаторів, визначається умовою рівності втрат потужності при роботі k та $k-1$ трансформаторів. Для розрахунку таких втрат у випадку $k-1$ трансформаторів використовуються відповідні рівняння та враховуються постійні й змінні складові втрат.

Цей підхід дозволяє оптимізувати режими роботи трансформаторів залежно від поточного навантаження та мінімізувати витрати на електроенергію.

Втрати для $k-1$ трансформаторів:

$$\Delta P_T = (k - 1) * \Delta P_X + \frac{1}{(k - 1)} * \frac{\Delta P_K * S^2}{S_H^2}. \quad (1.2)$$

						Арк.
					MP 3.8.141.546 ПЗ	11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Границя інтервалів знаходиться як точка перетину кривих для k і $k-1$ трансформаторів. Знаходимо граничну потужність:

$$S_k = S_H * \sqrt{\frac{\Delta P_X * k * (k - 1)}{\Delta P_K}}. \quad (1.3)$$

Умова включення $k+1$ трансформаторів запишеться аналогічно:

$$S_{k+1} = S_H * \sqrt{\frac{\Delta P_X * k * (k + 1)}{\Delta P_K}}. \quad (1.4)$$

Підставляючи в рівняння (1.3) та (1.4) значення k , послідовно зменшуючи їх на одиницю, можна отримати ряд значень S , при яких доцільно відключати черговий трансформатор. Оскільки підстанції зазвичай є двотрансформаторними, визначається лише одне значення S , за якого виправдане відключення одного з двох трансформаторів.

Якщо на підстанції працює k трансформаторів різних типів, для визначення програми їх відключення при зниженні навантаження виконуються розрахунки втрат потужності. Ці розрахунки проводяться для кожного заданого рівня навантаження з урахуванням двох сценаріїв: роботи всіх трансформаторів та поетапного відключення кожного з них [4].

Такий підхід забезпечує раціональне використання обладнання та дозволяє мінімізувати втрати енергії за різних рівнів навантаження.

1.2 Вирівнювання навантажень фаз в електричних мережах 380 В

До трифазних мереж 380 В підключається велика кількість однофазних електроприймачів, що з'єднуються з однією фазою та нульовим проводом. Їх підключення здійснюється, наскільки це можливо, рівномірно між фазами. Однак струми в фазах виявляються тією чи іншою мірою нерівномірними.

Нерівномірне навантаження фаз не тільки збільшує втрати електроенергії через нерівність:

$$I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 \geq I_{cp}^2, \quad (1.5)$$

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

але й створює додаткові втрати внаслідок проходження струму по нульовому проводу.

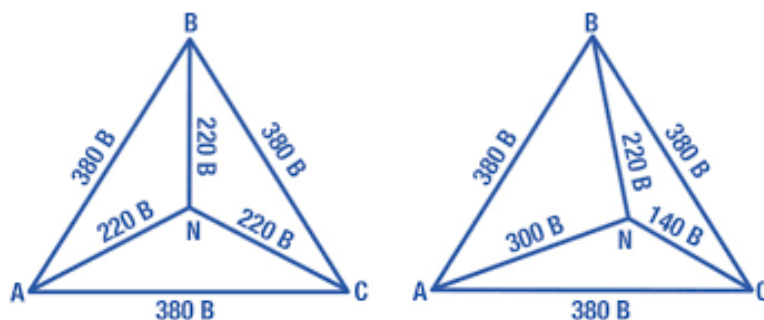


Рисунок 1.2 – Приклад нерівномірного розподілу навантаження між фазами

Види несиметрії та способи усунення

Ймовірнісна несиметрія має переміжний характер, коли навантаження більше то на одній, то на іншій фазі. Її усунення можливе за допомогою спеціальних пристроїв із тиристорним керуванням, які автоматично перемикають навантаження між фазами.

Систематична несиметрія характеризується стійкою нерівномірністю фазних навантажень. Вона може бути знижена шляхом періодичного (1–2 рази на рік) перерозподілу електроприладів між фазами [5].

Для покращення балансу фазних навантажень використовуються стабілізатори фаз [6]. Вони забезпечують:

- усунення перекосів фаз і підвищення якості електропостачання;
- захист обладнання від пошкоджень через напругові дисбаланси;
- зменшення споживання енергії, зниження втрат і підвищення енергоефективності мережі;

Переваги рівномірного навантаження

1. Зменшення втрат електроенергії в провідниках і нагрівання нульового проводу.
2. Подовження терміну експлуатації обладнання завдяки зменшенню ризику його перегріву.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

3. Забезпечення стабільної роботи потужних електроприладів, які залежать від симетрії фазних напруг.

Трифазні системи дозволяють підключати потужних споживачів струму і економлять ресурси за рахунок зменшення розміру провідників при однаковій потужності. Однак неправильний розподіл навантаження може призвести до "перекосу фаз" [7], що негативно впливає на стабільність мережі та роботу споживачів.

Завдяки впровадженню автоматизованих систем балансування та систематичного перерозподілу навантажень фаз можна підвищити надійність і ефективність трифазних електромереж.

1.3 Технічні заходи щодо зниження втрат у розподільчих мережах

Інші заходи, що стосуються модернізації та оптимізації електричних мереж для зменшення втрат:

1. Заміна трансформаторів та впровадження нових технологій.

Розглядається заміна перевантажених або недовантажених трансформаторів, впровадження трансформаторів із системами регулювання напруги під навантаженням, автоматичне регулювання коефіцієнтів трансформації, а також встановлення батарей конденсаторів з автоматичним регулюванням їх потужності.

2. Заміна проводів у перевантажених лініях.

Ця міра найбільш поширена в розподільчих мережах напругою 380 В та 6 – 10 кВ. Основна мета – збільшення пропускної здатності перевантажених ліній, заміна фізично зношених проводів під час капітального ремонту, а також перехід зі сталевих проводів на алюмінієві або сталеалюмінієві. Зниження втрат енергії в таких випадках зазвичай є побічним ефектом.

3. Перехід на більш високу номінальну напругу.

Застосовується, коли навантаження мереж досягає граничних значень для поточного рівня напруги. Цей захід часто замінює реконструктивні технічні роботи, які забезпечують лише незначне збільшення пропускної здатності. Перехід

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

на вищу напругу сприяє зменшенню втрат електроенергії, хоча це також є супутнім ефектом [8].

4. Глибокі вводи та відгалуження від магістральних ліній.

На сучасних підприємствах широко використовуються "глибокі вводи" – це лінії напругою 110 і 220 кВ, які проходять через територію підприємства [9]. Від них робляться відгалуження до найбільш важливих пунктів споживання. Завдяки такій схемі на першій стадії розподілу енергія передається з мінімальними втратами та зі зменшенням витрат провідникового металу.

Ця прогресивна система живлення стала стандартом у сучасній електроенергетиці, дозволяючи ефективно розподіляти ресурси навіть для великих промислових об'єктів.

1.4 Висновки до розділу

1. Рациональна організація режимів роботи трансформаторів на підстанціях може знизити втрати електроенергії та підвищити надійність енергопостачання.
2. Роздільна робота зменшує струми короткого замикання, але менш економічна. Паралельна робота мінімізує втрати за умови відповідності параметрів трансформаторів.
3. Для зменшення втрат у періоди низького навантаження доцільно відключати частину трансформаторів, використовуючи розрахунки залежностей втрат від навантаження.
4. Гнучке управління режимами дозволяє адаптувати роботу трансформаторів до змінного навантаження та технічних умов, забезпечуючи економію та надійність системи.

У наступному розділі при розробці моделі мережі також будуть враховані і інші згадані методи зменшення втрат електроенергії. Це включатиме раціональний вибір перерізу провідників, а також рівномірне розподілення споживачів між фазами.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 Створення моделей розподільчих мереж у середовищі GridLAB-D

Втілення ідеї паралельної роботи двох трансформаторів на ТП 10/0,4 кВ можливе завдяки середовищу GridLAB-D [10]. Для цього була розроблена модель приватного сектору із чотирма фідерами, що йдуть від ТП. Для порівняння роботи одного та двох трансформаторів при однаковому рівні навантаження побутових споживачів було розраховано ЕН як кожної окремої лінії, так і усієї ТП; а також промодельовано два сценарії мережі (одно- та двотрансформаторну ТП) за допомогою програми GridLAB-D. На основі отриманих даних про втрати в лініях та трансформаторах було проаналізовано ефективність застосування другого трансформатора для подовження терміну їхнього життя та більш економічної роботи.

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Для моделювання роботи мережі 10/0,4 кВ необхідно прийняти початкові параметри та розрахувати ЕН на лініях та на підстанції загалом.

Розрахунок електричних навантажень проводитиметься згідно з Державними будівельними нормами України (ДБН) В.2.5-23:2010 [11], [12].

Приймемо, що в мережі від шини (шин) НН буде відходити 4 фідери з однофазними споживачами. На кожному фідері розташовуватиметься 21 приватний будинок, що дасть змогу рівномірно розподілити по 7 будинків на кожен фазу.

На кожній з ліній усі будинки будуть однакового виду та рівня електрифікації.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чупрун А.О.			<i>Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Дяговченко І.М.					16	83
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, гр. ЕТ.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Дяговченко І.М.						
<i>Затверд.</i>		Лебедка С.М.						

За ДБН В.2.5-23:2010 розрахункове навантаження групових мереж освітлення загальнобудинкових приміщень житлових будинків (сходові клітки, вестибюлі, технічні поверхи, підвали, горища, колясочні), а також житлових приміщень гуртожитків визначається на основі світлотехнічного розрахунку. При цьому коефіцієнт попиту K_{non} приймається рівним 1.

Житлові приміщення (квартири) за рівнем оснащення побутовими електроприладами та розрахунковими навантаженнями поділяються на три категорії:

1. Квартири у будинках масового будівництва з загальною площею від 35 м² до 95 м² включно та потужністю електроприймачів до 30 кВт.
2. Квартири підвищеного рівня комфортності у багатоквартирних будинках з площею від 50 м² до 300 м² включно, з потужністю електроприймачів від 30 кВт до 60 кВт.
3. Котеджі чи приватні будинки, розраховані на одну родину, з площею від 150 м² до 600 м² включно, з потужністю електроприймачів від 60 кВт до 140 кВт.

У даній магістерській роботі приватні будинки будуть або першої, або другої категорії, оскільки будинки третьої категорії відносяться до трифазних споживачів, що мають велику питому потужність на одне житло.

Для житлових приміщень 1-ї категорії (квартири в багатоквартирних та малоквартирних будинках, будинки на одну родину, будиночки в садівничих товариствах) встановлено п'ять рівнів електрифікації з відповідними розрахунковими питомими навантаженнями:

- I рівень: квартири з плитами на природному газі.
- II рівень: квартири з плитами на скрапленому газі або твердому паливі.
- III рівень: квартири з електроплитами потужністю до 8,5 кВт.
- IV рівень: квартири з електроплитами потужністю до 10,5 кВт.
- V рівень: будиночки в садівничих товариствах.

Для житлових приміщень 2-ї категорії встановлено два рівні електрифікації з відповідними розрахунковими питомими навантаженнями:

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- I рівень: квартири з плитами на природному газі.
- II рівень: квартири з електроплитами потужністю до 10,5 кВт.

Занесемо до табл. 2.1 дані щодо конфігурації мережі.

Таблиця 2.1 – Конфігурація мережі

Лінія, №	1	2	3	4
Категорія будинків на лінії	2	1	2	1
Рівень електрифікації будинків	I	III	I	III
Кількість будинків на лінії N, шт	21	21	21	21
Кількість будинків на кожній фазі	7	7	7	7

Отже, на лінії № 1 та № 3 електричні навантаження будуть однаковими, аналогічно лініям № 2 та № 4.

Електричні навантаження для ліній № 1 та № 3

Визначаються розрахункові ЕН вводу лінії, до якої приєднані житла.

За таблицею 2.2 і лінійною інтерполяцією даних питоме розрахункове електричне навантаження $P_{п.р.ж} = 2,73$ кВт/житло.

Таблиця 2.2 – Питомі розрахункові електричні навантаження жител 1-го та 2-го видів

Споживачі електроенергії	Значення показника, кВт/житло, за кількості жител														
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
Житла 1-го виду															
1.1 I рівня електрифікації – в будинках з плитами на природному газі	5,00	3,85	3,23	2,72	2,36	2,10	1,91	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,74	0,66	0,60
1.2 II рівня електрифікації – в будинках з плитами на скрапленому газі та на твердому паливі	6,50	5,01	4,20	3,53	3,07	2,73	2,48	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86	0,78
1.3 III рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт вкл.	10,00	8,19	5,56	4,44	3,76	3,33	3,05	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19	1,10
1.4 IV рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 10,5 кВт вкл.	12,00	9,83	6,67	5,33	4,51	3,99	3,66	3,26	2,82	2,52	2,08	1,65	1,58	1,43	1,32
1.5 V рівня електрифікації – в будинках на ділянках садівничих товариств	3,50	2,84	1,91	1,47	1,22	1,07	0,96	0,83	0,66	0,58	0,52	0,48	0,47	0,46	0,41
Житла 2-го виду															
2.1 I рівня електрифікації – в будинках з плитами на природному газі	9,00	6,33	5,29	4,36	3,72	3,26	2,94	2,51	2,00	1,78	1,62	1,47	1,24	1,08	0,99
2.2 II рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 10,5 кВт вкл.	16,00	13,05	8,34	6,41	5,39	4,77	4,36	3,83	3,18	2,83	2,51	2,16	1,88	1,77	1,76

Розрахункове активне навантаження вводу, до якого приєднані житла:

$$P_{р.ж} = P_{п.р.ж} * N = 2,73 * 21 = 57,33 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

																			Арк.
																			18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата															

MP 3.8.141.546 ПЗ

За таблицею 2.3 для житла з плитами на природному газі з побутовими кондиціонерами повітря коефіцієнт реактивного навантаження приймається $tg\varphi = 0,43$.

Таблиця 2.3 – Дані щодо визначення розрахункових коефіцієнтів активного і реактивного навантаження житлових будинків

Лінія живлення	Розрахунковий коефіцієнт	
	потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $tg\varphi$
Квартири з електричними плитами та без побутових кондиціонерів повітря	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами і побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, твердому паливі та з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Загальнобудинкове освітлення:		
– з лампами розжарювання;	1,00	0,00
– з люмінесцентними лампами	0,92	0,43
Господарські насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,80	0,75
Ліфти	0,65	1,17

Розрахункове реактивне навантаження вводу, до якого приєднані житла:

$$Q_{p.ж} = P_{p.ж} * tg\varphi = 57,33 * 0,43 = 24,65 \text{ кВАр.} \quad (2.2)$$

Розрахункове повне навантаження вводу:

$$S_{p.ж} = \sqrt{(P_{p.ж}^2 + Q_{p.ж}^2)} = \sqrt{(57,33^2 + 24,65^2)} = 62,41 \text{ кВА.} \quad (2.2)$$

Розрахунковий струм вводу:

$$I_{p.ж} = \frac{S_{p.ж}}{(\sqrt{3} * U_{л})} = \frac{62,41}{(\sqrt{3} * 0,38)} = 94,82 \text{ А.} \quad (2.3)$$

Електричні навантаження для ліній № 2 та № 4

Визначаються розрахункові навантаження вводу лінії, до якої приєднані житла.

За таблицею 2.2 і лінійною інтерполяцією даних питоме розрахункове електричне навантаження $P_{п.р.ж} = 2,89 \text{ кВт/житло}$.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове активне навантаження вводу, до якого приєднані житла:

$$P_{p.ж} = P_{p.п.ж} * N = 2,89 * 21 = 60,69 \text{ кВт.} \quad (2.4)$$

За таблицею 2.3 для житла з електроплитами з побутовими кондиціонерами повітря коефіцієнт реактивного навантаження приймається $tg\varphi = 0,4$.

Розрахункове реактивне навантаження вводу, до якого приєднані житла:

$$Q_{p.ж} = P_{p.ж} * tg\varphi = 60,69 * 0,4 = 24,28 \text{ кВАр.} \quad (2.5)$$

Розрахункове повне навантаження вводу:

$$S_{p.ж} = \sqrt{(P_{p.ж}^2 + Q_{p.ж}^2)} = \sqrt{(60,69^2 + 24,28^2)} = 64,85 \text{ кВА.} \quad (2.6)$$

Розрахунковий струм вводу:

$$I_{p.ж} = \frac{S_{p.ж}}{(\sqrt{3} * U_{л})} = \frac{64,85}{(\sqrt{3} * 0,38)} = 98,53 \text{ А.} \quad (2.7)$$

Електричне навантаження ТП

Електричне навантаження підстанції розрахуємо з урахуванням коефіцієнтів участі в максимумі навантаження.

Так як найбільші навантаження на лініях № 2 та № 4, то за таблицею 2.4 визначимо коефіцієнти участі у максимумі навантаження для інших ліній.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти участі у максимумі навантаження

Назва будівлі (приміщення) з найбільшим розрахунковим навантаженням	Житлові будинки з електроплитами	Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	Заклади громадського харчування – їдальні	Заклади громадського харчування – ресторани, кафе	Середні навчальні заклади	Загальноосвітні школи, ПТУ	Установи адміністративного управління, фінансові, проектно-конструкторські організації	Торгові підприємства одноступінні	Торгові підприємства півтората двозмінні	Готелі	Перукарні	Дошкільні навчальні заклади	Поліклініки	Підприємства побутового обслуговування, ательє та інші	Підприємства комунального обслуговування	Культурні, культурно-видовищні та дозвілєві заклади
Житлові будинки з електроплитами	-	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	0,9	-	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Школи, середні навчальні заклади, ПТУ, бібліотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Торгові підприємства одно-, півтората двозмінні	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Установи управління, фінансові, адміністративні будинки підприємств та проектно-конструкторські організації	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Готелі	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поліклініки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ательє та інші підприємства побутового обслуговування	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

MP 3.8.141.546 ПЗ

Арк.

20

Отже, для ліній № 1 та № 3 $K_{max} = 0,9$.

Загальне активне навантаження ТП:

$$\begin{aligned} P_{\text{ТП}} &= P_{\text{р.ж.л1}} * K_{\text{маx1}} + P_{\text{р.ж.л2}} * K_{\text{маx2}} + P_{\text{р.ж.л3}} * K_{\text{маx3}} + P_{\text{р.ж.л4}} * K_{\text{маx4}} = \\ &= 57,33 * 0,9 + 60,69 * 1 + 57,33 * 0,9 + 60,69 * 1 = 224,57 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Загальне реактивне навантаження ТП:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ТП}} &= Q_{\text{р.ж.л1}} * K_{\text{маx1}} + Q_{\text{р.ж.л2}} * K_{\text{маx2}} + Q_{\text{р.ж.л3}} * K_{\text{маx3}} + Q_{\text{р.ж.л4}} * K_{\text{маx4}} = \\ &= 24,65 * 0,9 + 24,28 * 1 + 24,65 * 0,9 + 24,28 * 1 = 92,93 \text{ кАр.} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Повна потужність навантаження ТП:

$$S_{\text{р.ж}} = \sqrt{(P_{\text{ТП}}^2 + Q_{\text{ТП}}^2)} = \sqrt{(224,57^2 + 92,93^2)} = 243,04 \text{ кВА.} \quad (2.10)$$

Отже, для забезпечення роботи ТП обираємо трансформатор номінальною потужністю у 250 кВА.

2.2 Програмне середовище GridLAB-D

GridLAB-D – це потужний інструмент для моделювання та аналізу енергетичних систем, розроблений Міністерством енергетики США в лабораторії Pacific Northwest National Laboratory (PNNL). Він призначений для детального вивчення розподільчих систем електроенергії, включаючи інтеграцію відновлювальних джерел енергії, розподілених енергетичних ресурсів та розумних мереж [13].

Основні функції GridLAB-D:

1. Моделювання розподільчих систем: дозволяє створювати детальні моделі розподільчих мереж, враховуючи різноманітні компоненти, такі як трансформатори, лінії електропередач, навантаження та генератори [14].
2. Аналіз енергетичних ринків: можливість моделювання ринкових механізмів, включаючи ціноутворення та взаємодію між споживачами та постачальниками енергії.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Інтеграція відновлювальних джерел енергії: підтримка моделювання сонячних панелей, вітрових турбін та інших відновлювальних джерел енергії, що дозволяє оцінювати їх вплив на стабільність та ефективність мережі.
4. Розподілені енергетичні ресурси: можливість моделювання та аналізу впливу ресурсів, таких як батареї та електромобілі, на розподільчі системи.
5. Розумні мережі: підтримка технологій розумних мереж, включаючи автоматизацію, моніторинг та управління в реальному часі.

Розробка GridLAB-D розпочалася у 2004 році під керівництвом Міністерства енергетики США в лабораторії PNNL. З того часу програма постійно оновлюється та розширюється, включаючи нові функції та модулі для підтримки сучасних технологій енергетичних систем.

GridLAB-D використовує агентно-орієнтований підхід до моделювання, де кожен об'єкт (наприклад, будинок, трансформатор або лінія електропередач) є агентом з власними властивостями та поведінкою. Ці агенти взаємодіють між собою, що дозволяє детально відтворювати динаміку енергетичних систем. Програма підтримує дискретний часовий крок, що дозволяє моделювати процеси на різних часових масштабах, від мілісекунд до років [15].

GridLAB-D є відкритим програмним забезпеченням, що дозволяє користувачам вивчати, модифікувати та розповсюджувати програму. Офіційний вебсайт програми містить документацію, приклади моделей та інші ресурси для користувачів.

2.3 Розробка моделей для оцінки рівня втрат електроенергії

Розробивши початкову модель та розрахувавши електричні навантаження ліній можна її удосконалювати, додаючи конфігурацію окремих елементів [16].

Для початку оберемо проводи ліній електропередачі (ЛЕП), якими виконуватимуться підключення споживачів.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Від трансформатора по опорах повітряної лінії (ПЛ) електропостачання здійсимо трифазним самонесучим ізольованим проводом (СП) марки AsXSn-4x50. Самоутримний ізольований провід для повітряних ліній ізольованих (ПЛ) 0,38 кВ марки AsXSn має скручені в джгут чотири або дві ізольовані жили.

Механічне навантаження натягу лінії в такому проводі сприймається всіма провідниками джгута рівномірно. Всі струмопровідні жили СП (фазні і нейтральна) мають рівний поперечний переріз і однакову конструкцію, виготовляються з алюмінію, багатодотові, кручені, з маркуванням фаз. Ізоляція жил виконана зі світлостабілізованого зшитого поліетилену [17].

ДСТУ 4743: 2007 «Проводи самоутримні ізольовані і захищені для повітряних ліній електропередавання» [18] встановлює основні вимоги до конструкції і технічних характеристик проводів СП, їх експлуатаційних властивостей і методів випробувань.

- Тривало допустима робоча температура проводів 90 °С.
- Допустима температура при короткому замиканні (1 с.) 250 °С.
- Допустима температура навколишнього середовища для виконання монтажу від -20 °С.

Паспортні дані проводу наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Паспортні дані проводу AsXSn-4x50

Кількість проводів і номінальний переріз, мм ²	Допустимий струм навантаження, А	Електричний опір жили, Ом/км (активний)	Електричний опір жили, Ом/км (реактивний)	Номінальний діаметр жили, мм
4x50	195	0,641	0,07	11,6

Відстань від трансформатора до першого будинку будь-якої лінії становить 15 м, кожен наступний проліт між будинками становитиме по 20 м, що є середньою відстанню в умовах приватного сектору.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Так як усі будинки в мережі – це однофазні споживачі – то їхнє підключення виконаємо СІП марки AsXSn-2x25. Довжина відгалуження проводу від опор до будинків становитиме по 12 м, що також є усередненим показником.

Паспортні дані проводу наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Паспортні дані проводу AsXSn-2x25

Кількість проводів і номінальний переріз, мм ²	Допустимий струм навантаження, А	Електричний опір жили, Ом/км (активний)	Електричний опір жили, Ом/км (реактивний)	Номінальний діаметр жили, мм
2x25	130	1,2	0,08	8,7

Прийmemo параметри трансформатора. Із розрахунку електричних навантажень по ТП візьmemo найбільший ближчий номінал – 250 кВА. Оберemo силовий масляний герметичний трансформатор 10/0,4 кВ серії ТМГ потужністю 250 кВА з гофрованими баками зі стандартними втратами холостого ходу та короткого замикання. Схема та група з'єднання обмоток – Δ/Y₁₁. Паспортні дані наведемо в таблиці 2.7 [19], [20].

Таблиця 2.7 – Паспортні дані трансформатора ТМГ-250/10/0,4

Марка трансформатора	Втрати ХХ, кВт	Втрати КЗ, кВт	Напруга КЗ, %	Повна маса, кг
ТМГ-250/10/0,4	0,65	4,2	4,5	1230

Для моделювання знадобиться значення імпедансу трансформатора (опору, приведенного до обмотки НН). Розрахуємо його за формулами:

$$X_T = \frac{u_k * U_H^2}{100 * S_H} = \frac{4,5 * 400^2}{100 * 250000} = 0,029 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k * U_H^2}{S_H^2} = \frac{4200 * 400^2}{250000^2} = 0,011 \text{ Ом.} \quad (2.12)$$

Задамо графіки навантаження споживачів. Так як лінії № 1 і № 3 та № 2 і № 4 однакові, то створимо 14 унікальних профілів навантаження. Перші 7 профілів відноситимуться до ліній № 1 і № 3, інші 7 – до ліній № 2 і № 4. Так як на кожній лінії по 21 будинку, то профілі дублюватимуться кожної фази.

Період моделювання становитиме 1 рік з кроком в 1 годину (8760 год.) Графіки № 1 – 7 матимуть максимальні значення активної та реактивної спожитої за годину потужності рівні номінальній питомій потужності будинку (2,73 кВт активної та 1,18 кВАр реактивної). Графіки № 8 – 14 – 2,89 кВт активної та 1,16 кВАр реактивної відповідно.

Графіки побудовані таким чином, щоб у холодний період року споживання електроенергії (ЕЕ) було вищим, аніж у теплий. Так само, щоб вранці і ввечері споживання було максимальним, вдень – посереднім, вночі – мінімальним.

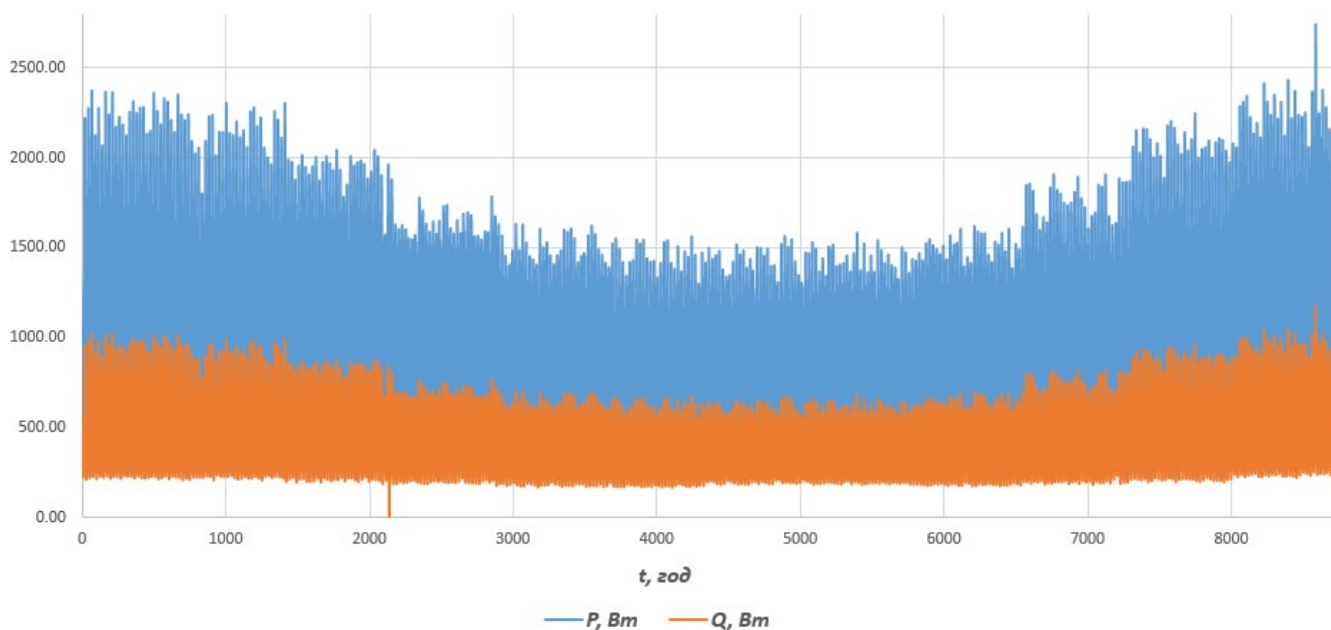


Рисунок 2.1 – Графік навантаження № 1

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

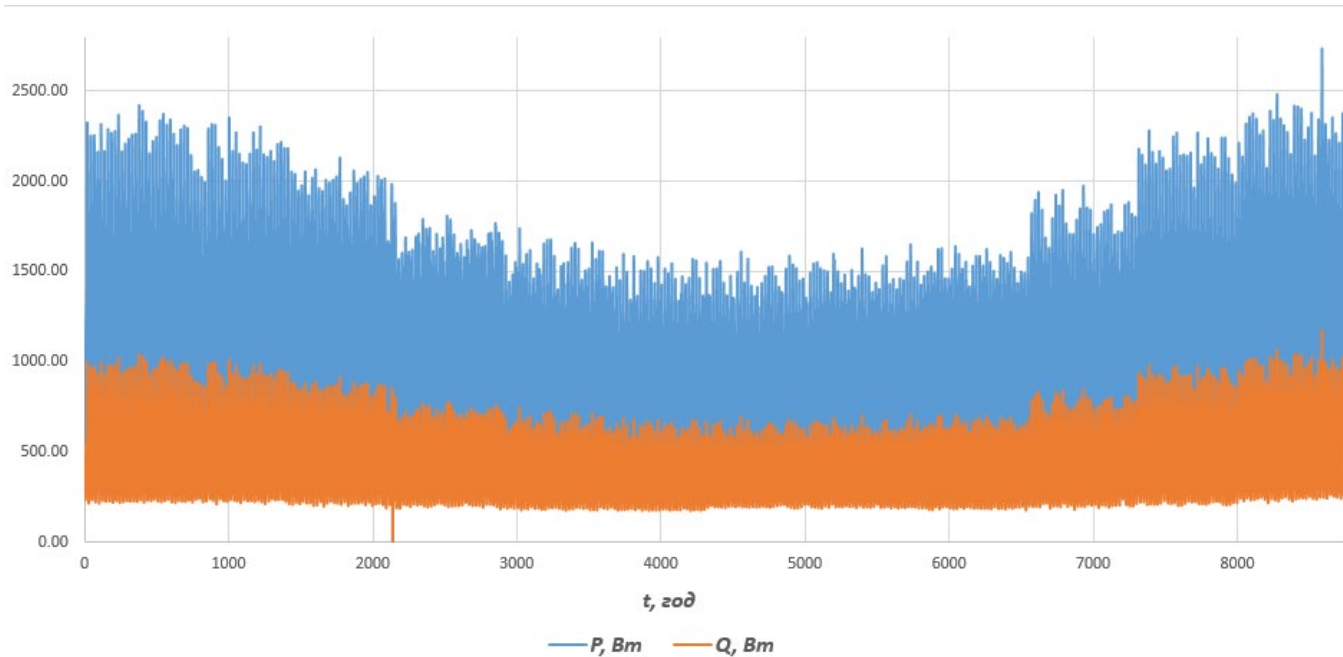


Рисунок 2.2 – Графік навантаження № 2

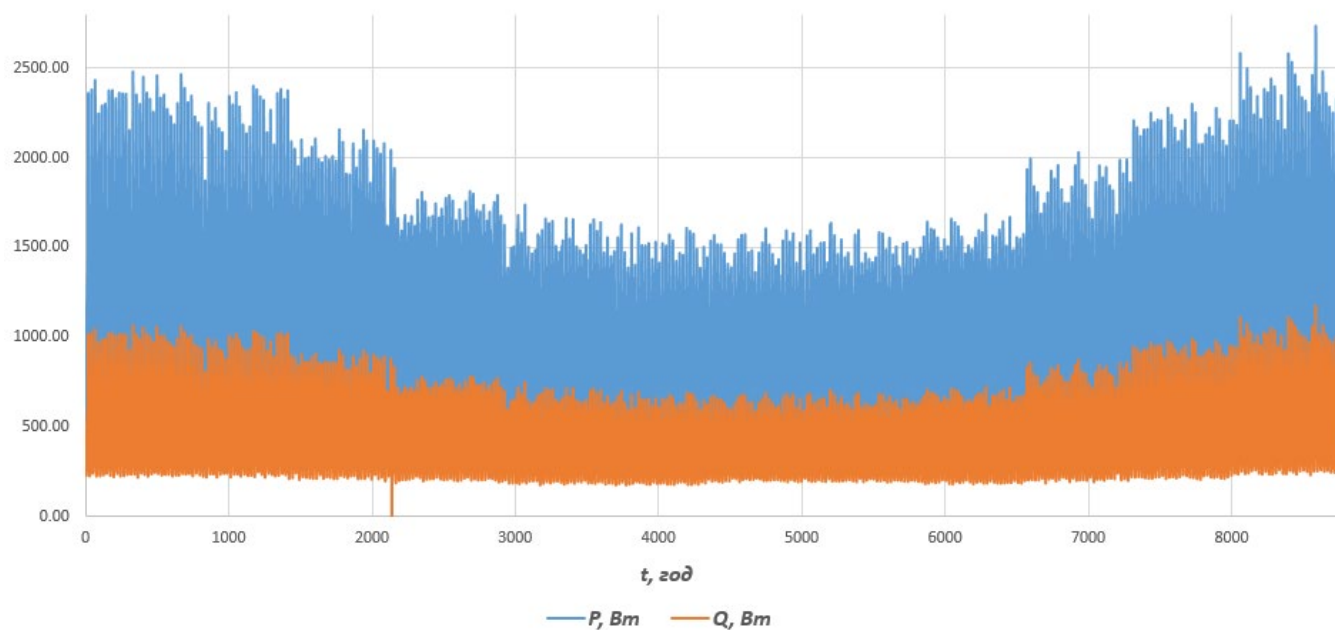


Рисунок 2.3 – Графік навантаження № 3

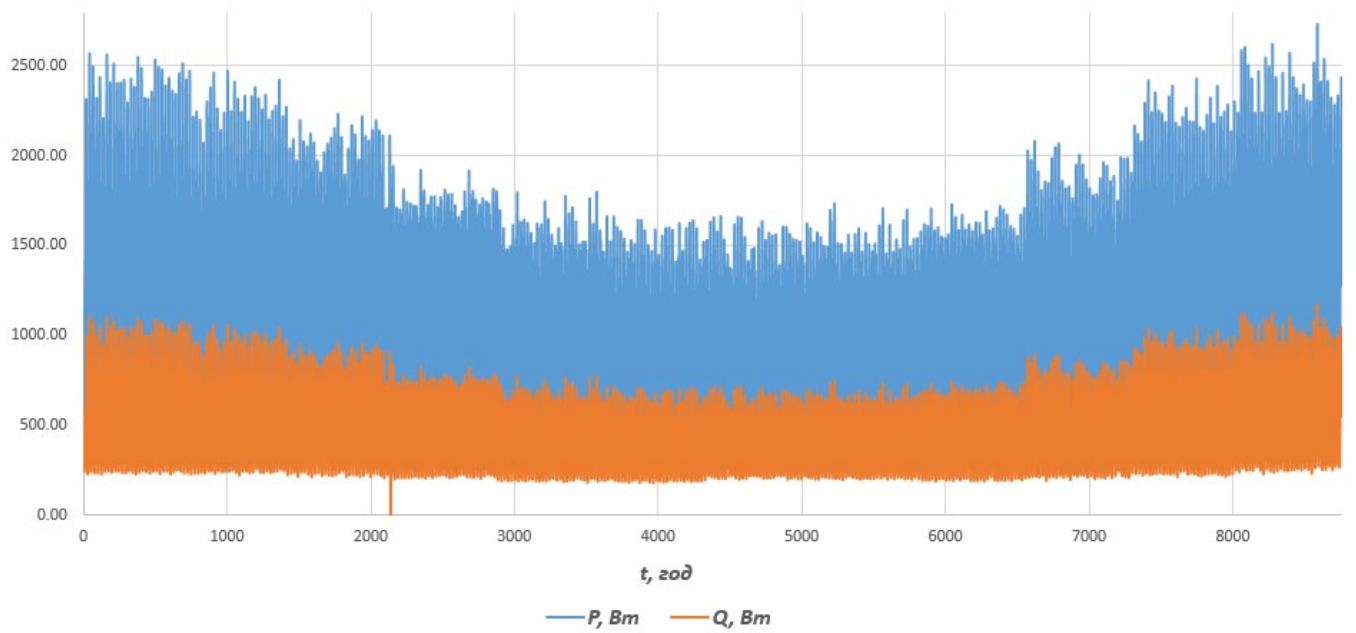


Рисунок 2.4 – Графік навантаження № 4

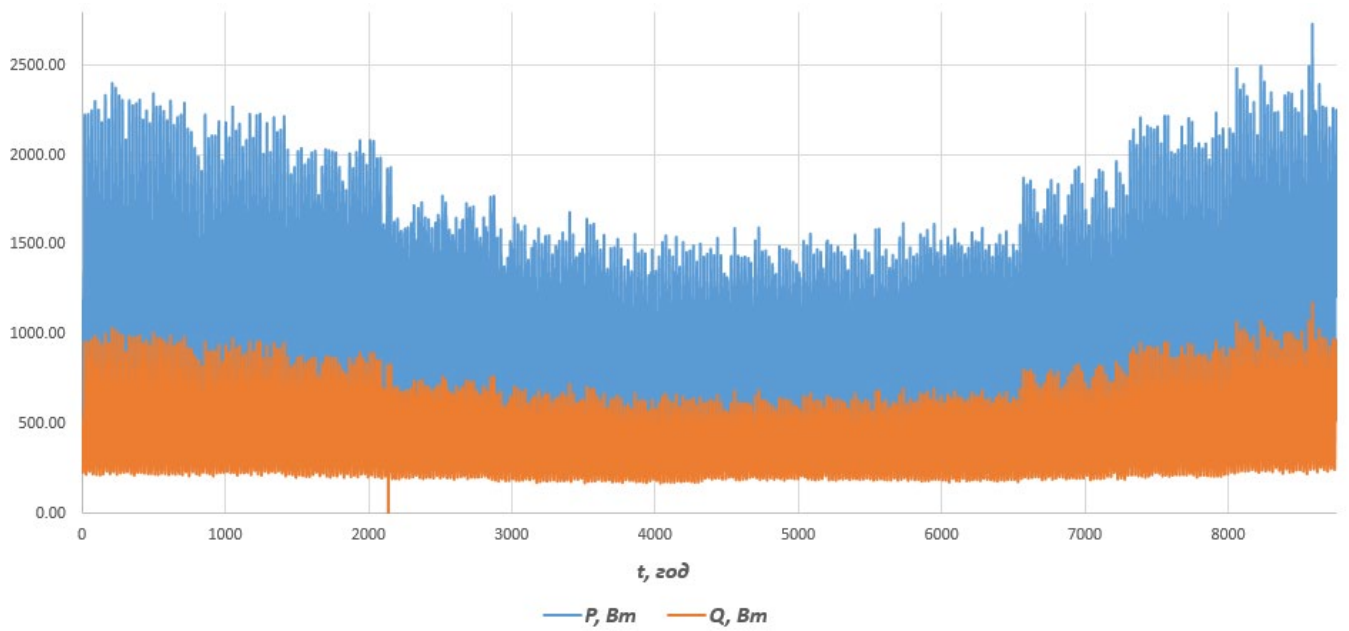


Рисунок 2.5 – Графік навантаження № 5

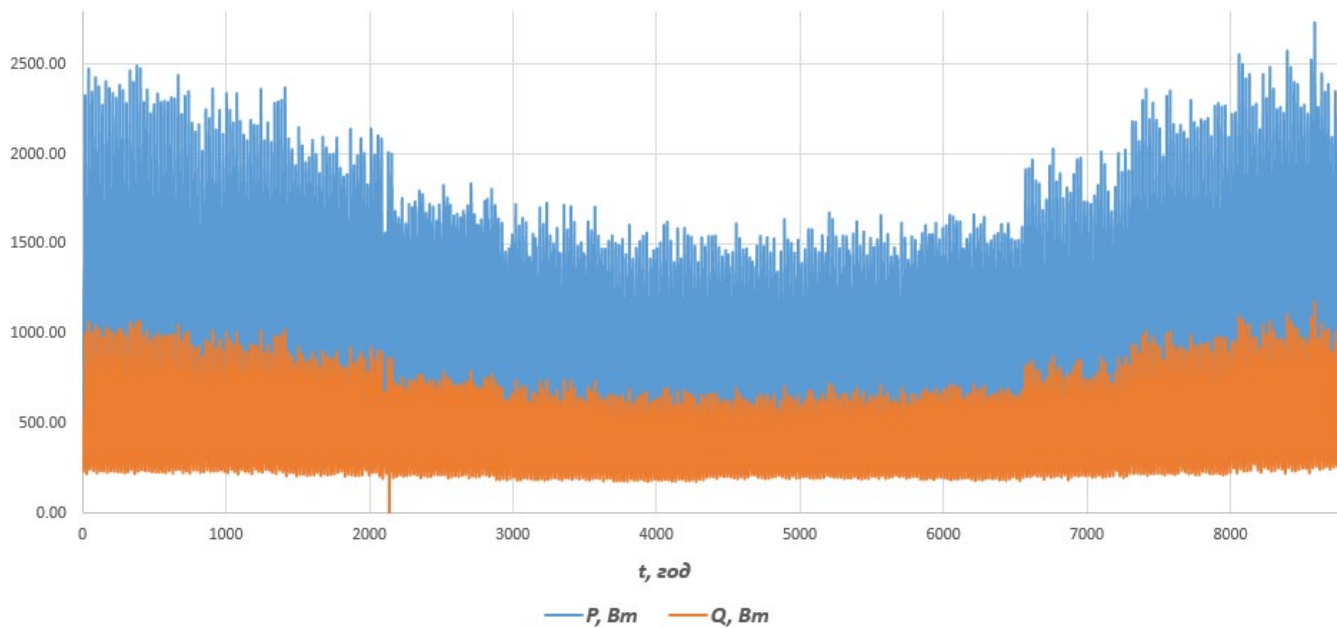


Рисунок 2.6 – Графік навантаження № 6

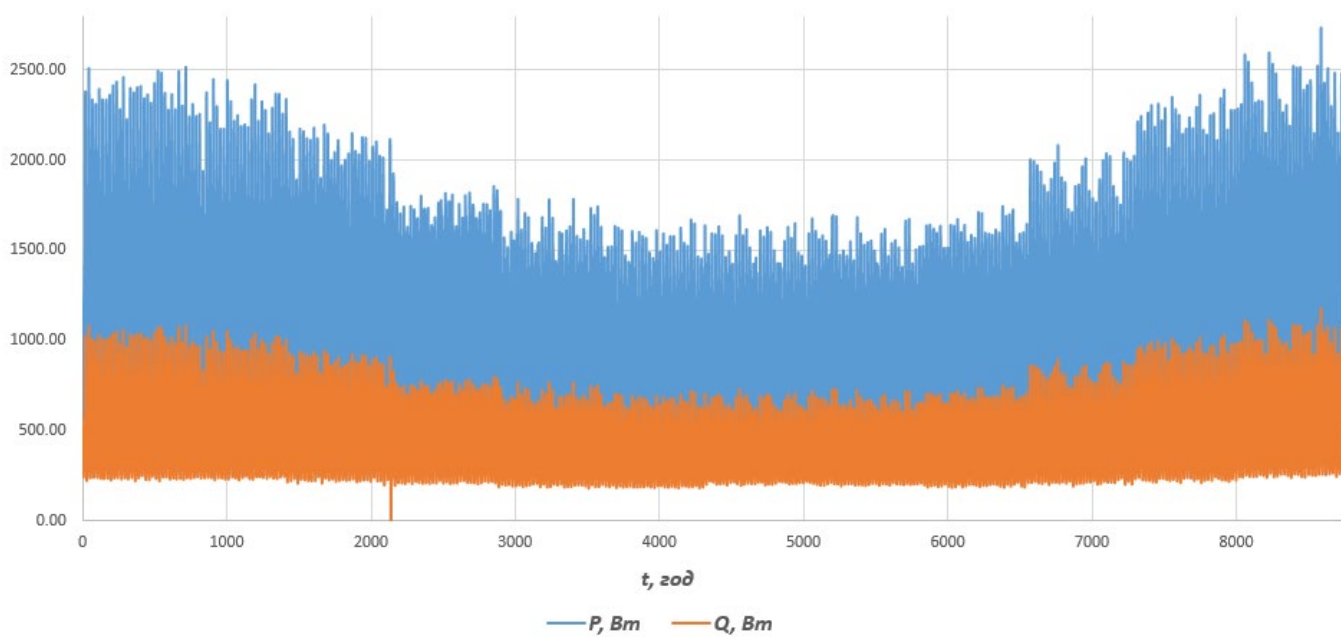


Рисунок 2.7 – Графік навантаження № 7

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						28
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

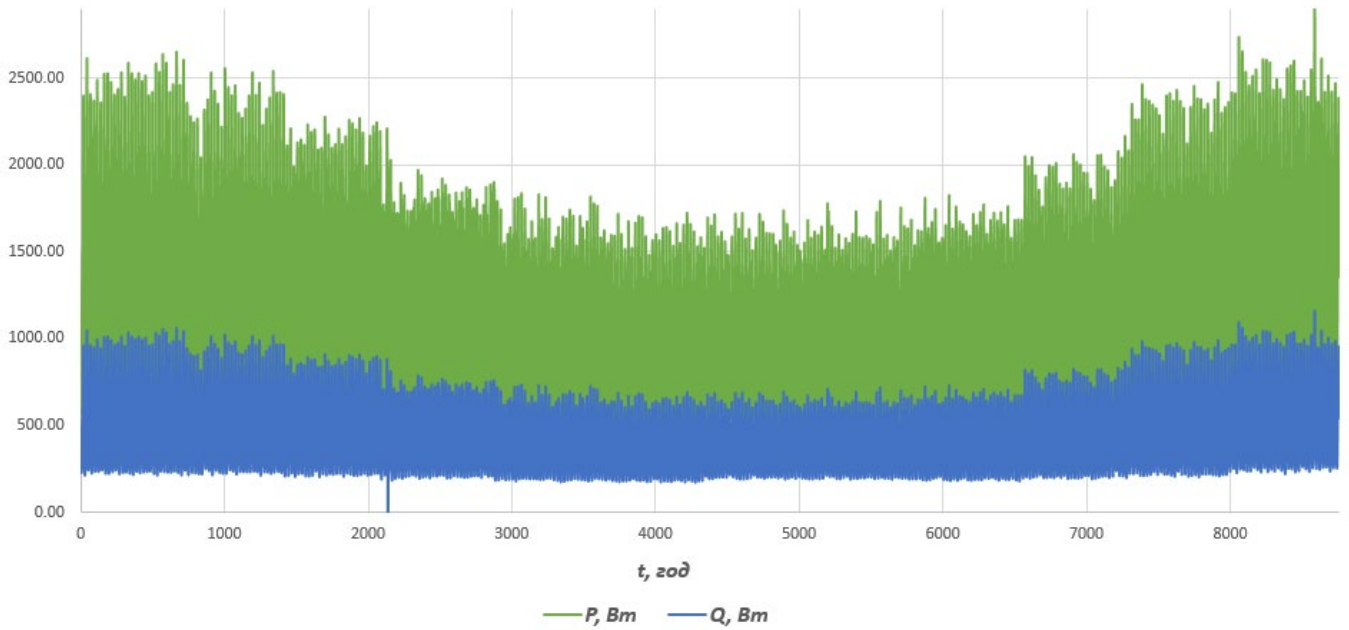


Рисунок 2.8 – Графік навантаження № 8

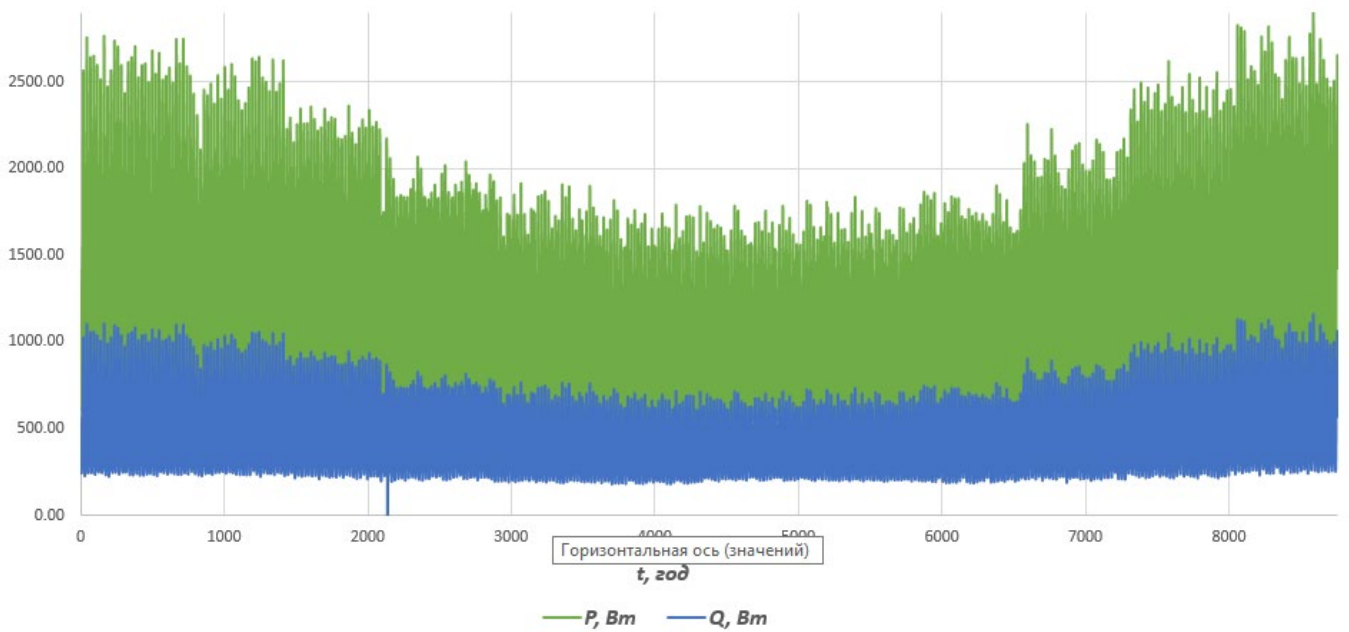


Рисунок 2.9 – Графік навантаження № 9

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

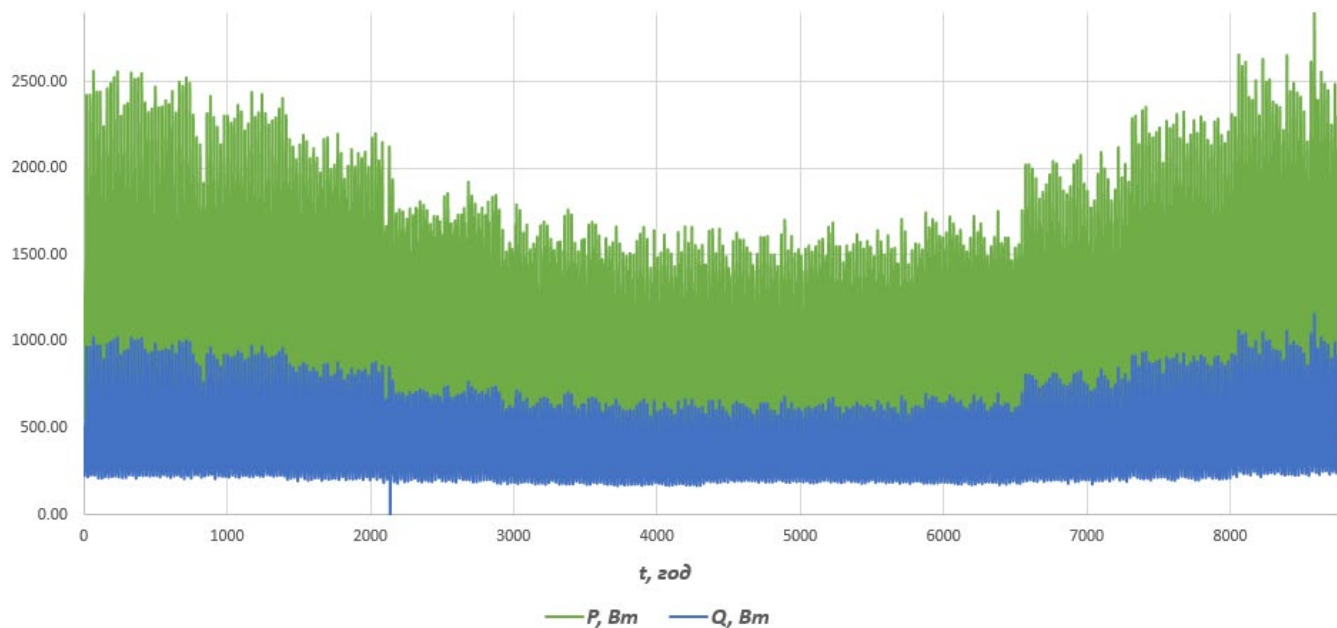


Рисунок 2.9 – Графік навантаження № 9

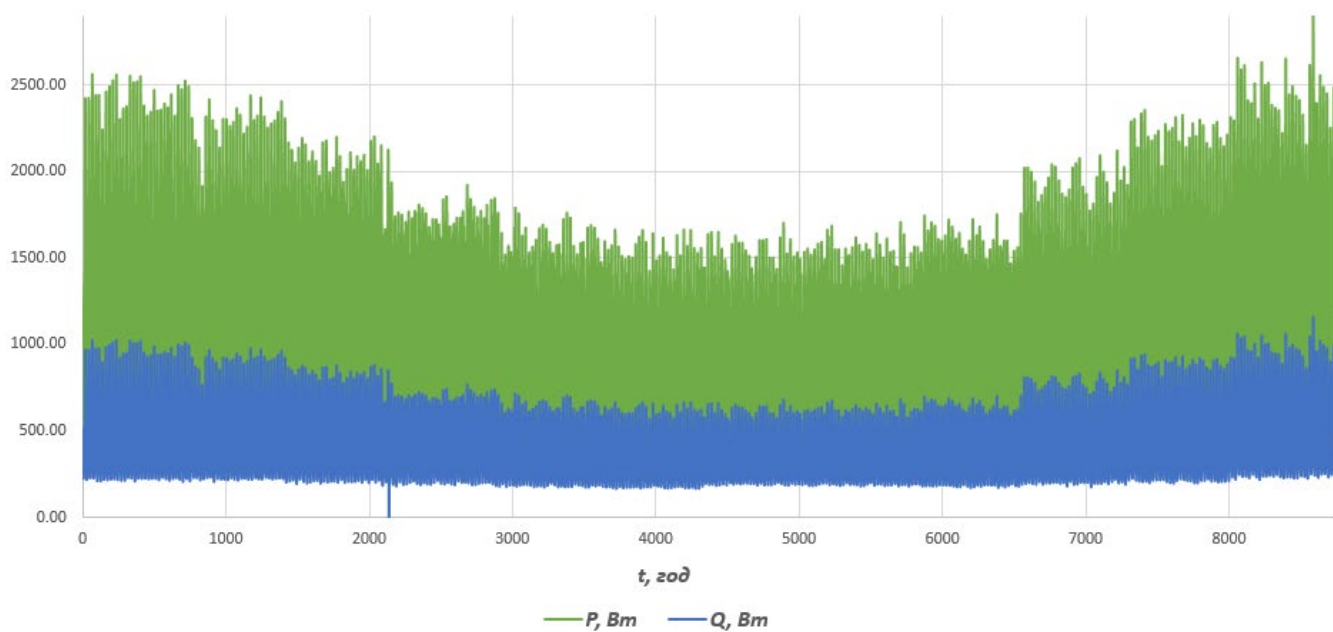


Рисунок 2.10 – Графік навантаження № 10

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

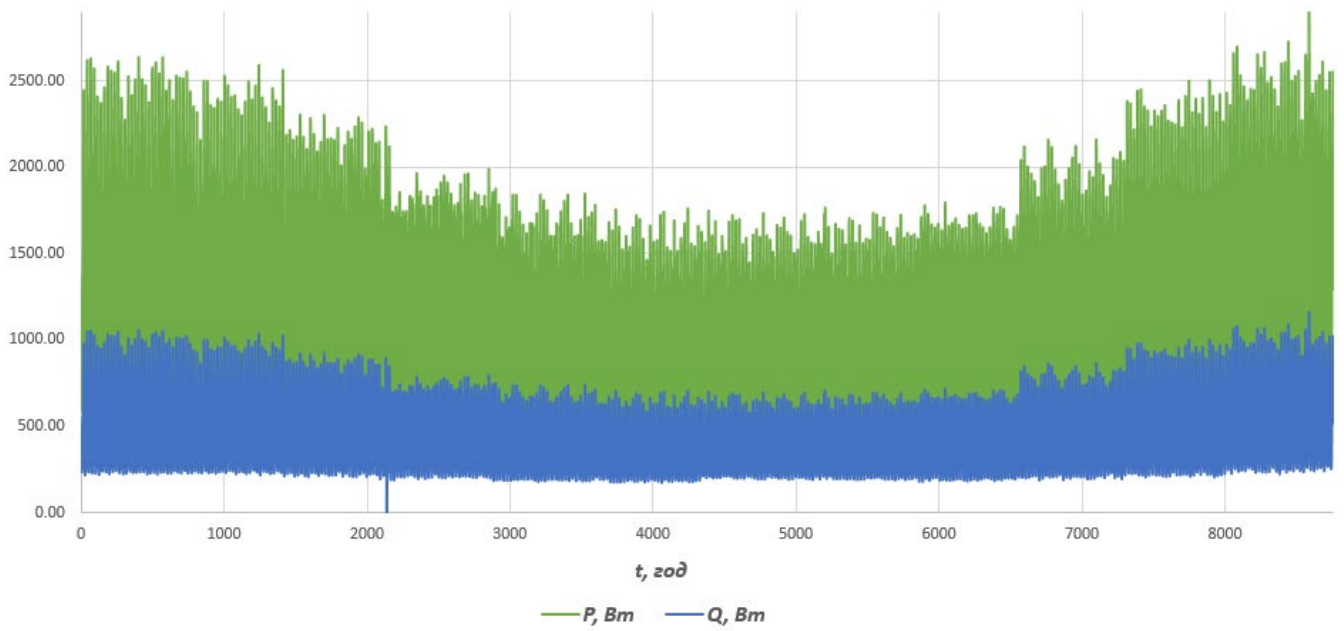


Рисунок 2.11 – Графік навантаження № 11

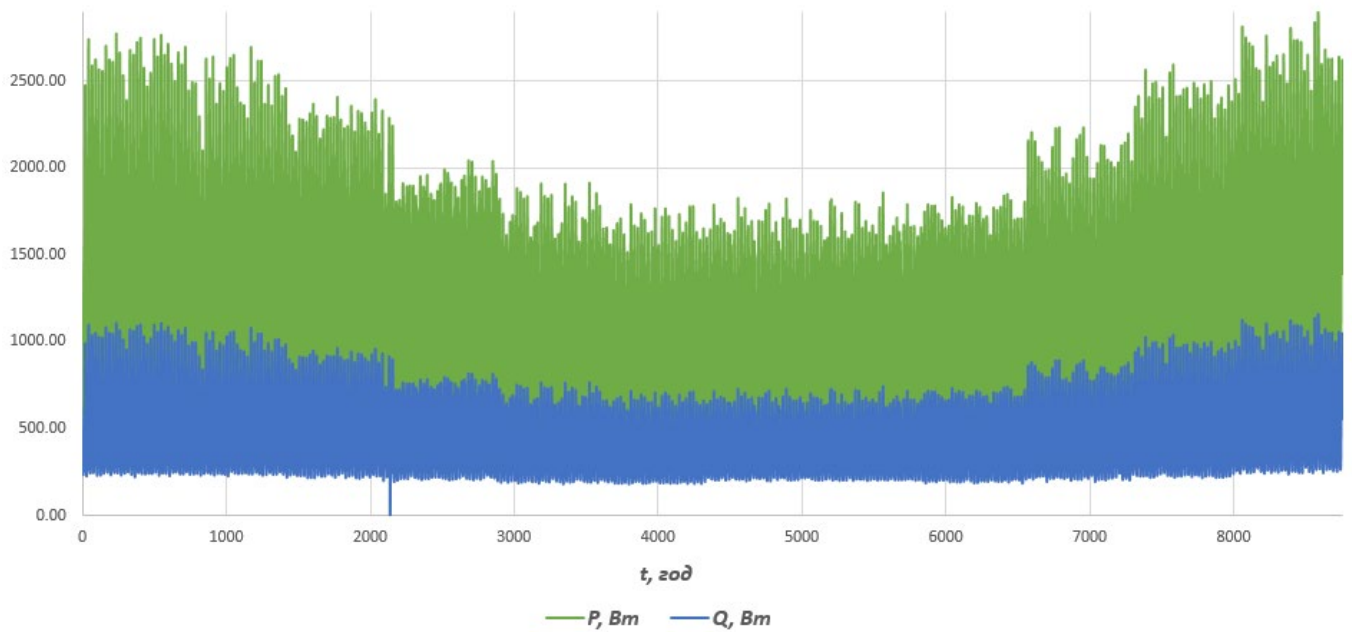


Рисунок 2.12 – Графік навантаження № 12

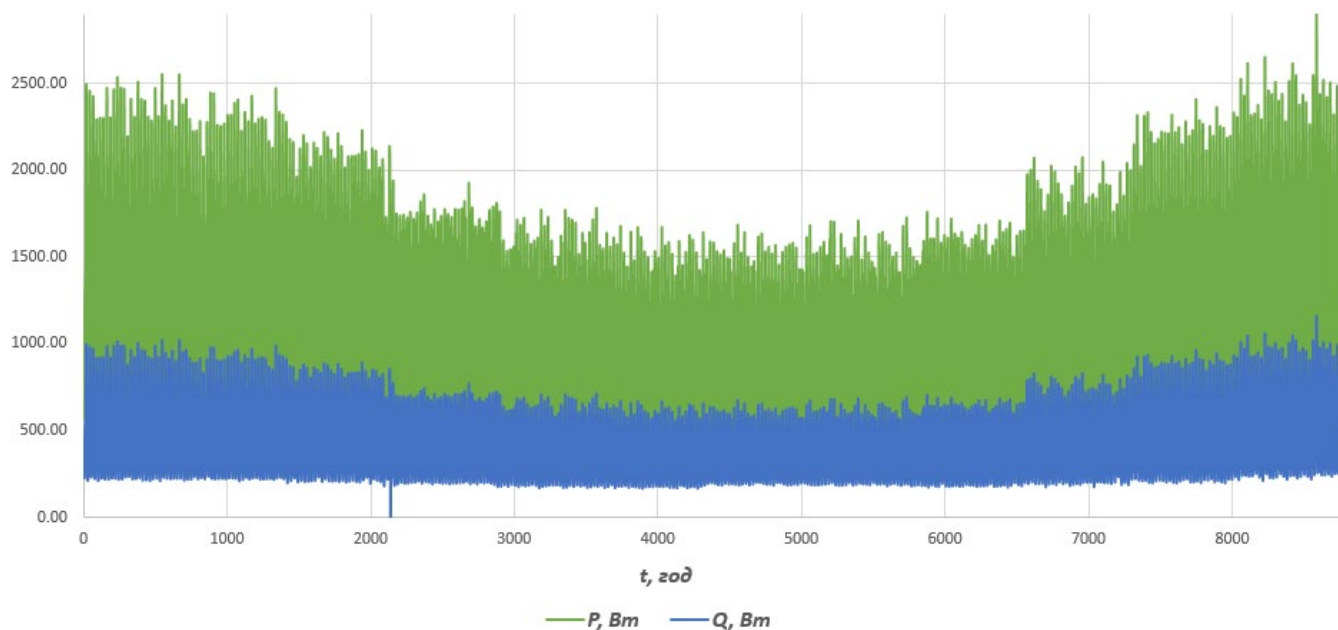


Рисунок 2.13 – Графік навантаження № 13

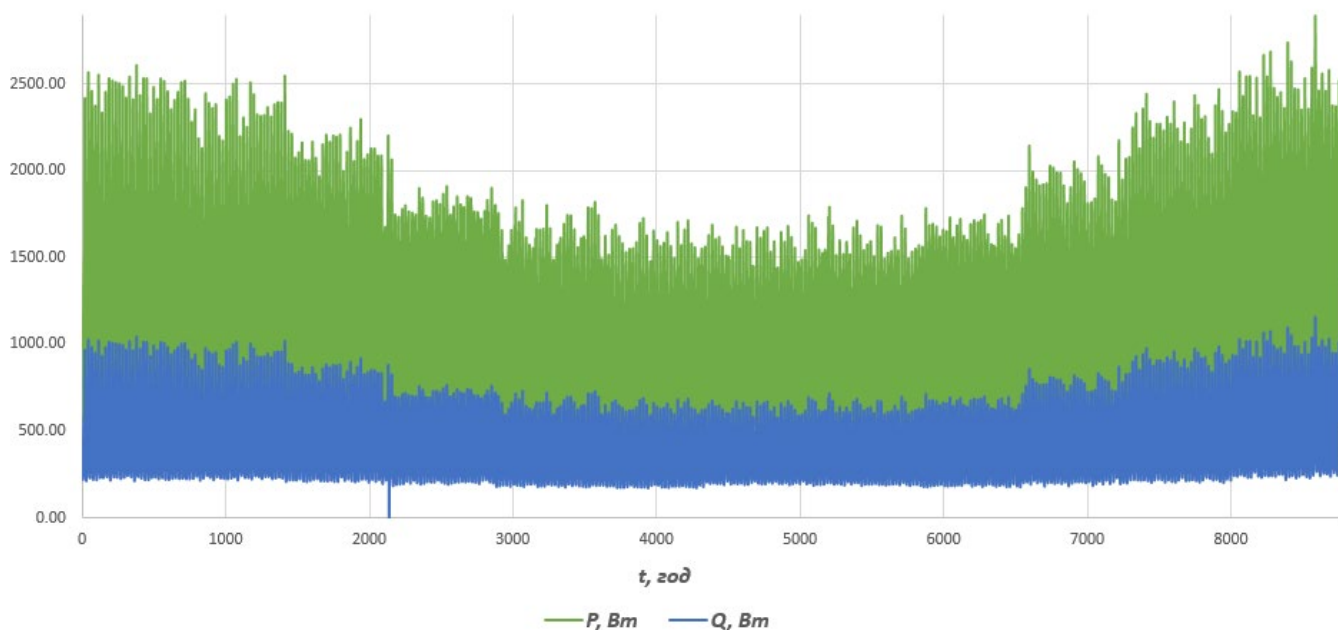


Рисунок 2.14 – Графік навантаження № 14

Для початку моделювання у середовищі GridLAB-D створимо спрощені схеми з елементами системи для одно- та двотрансформаторної підстанції (ПС). Наведемо їх на рис. 2.15 та 2.16 відповідно.

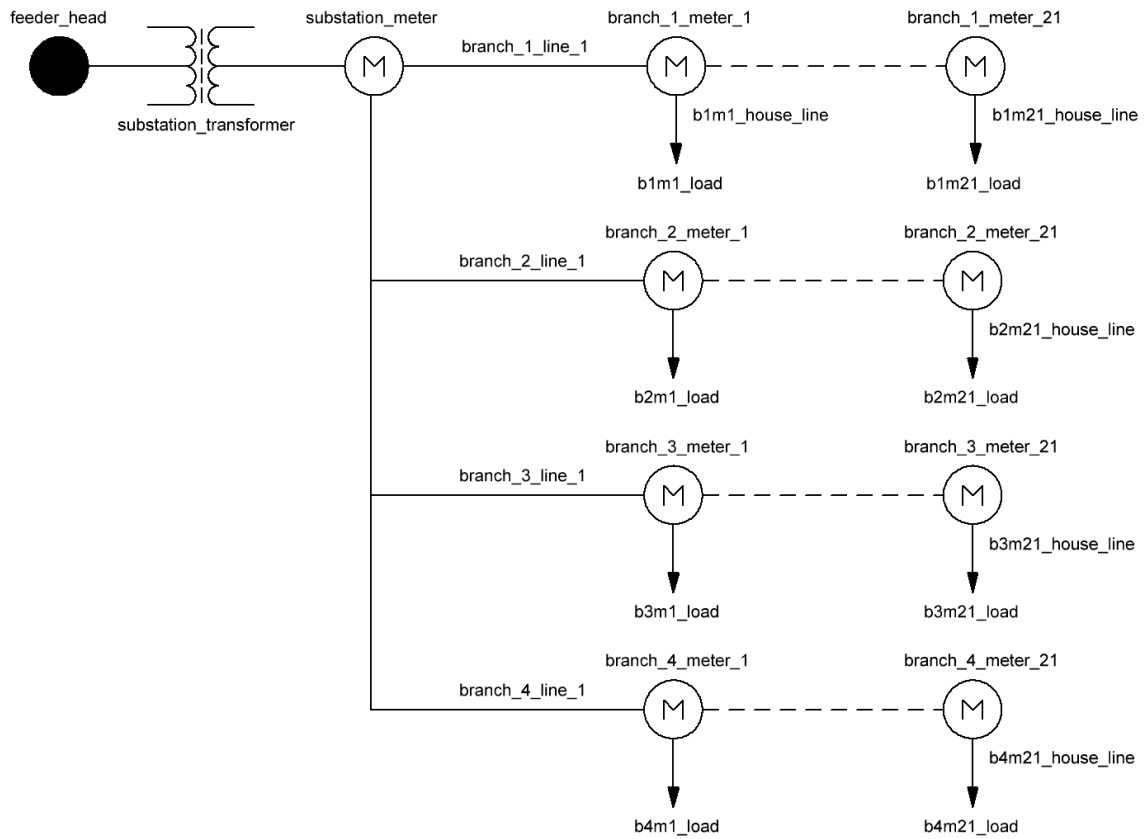


Рисунок 2.15 – Схема для моделювання одотрансформаторної ПС

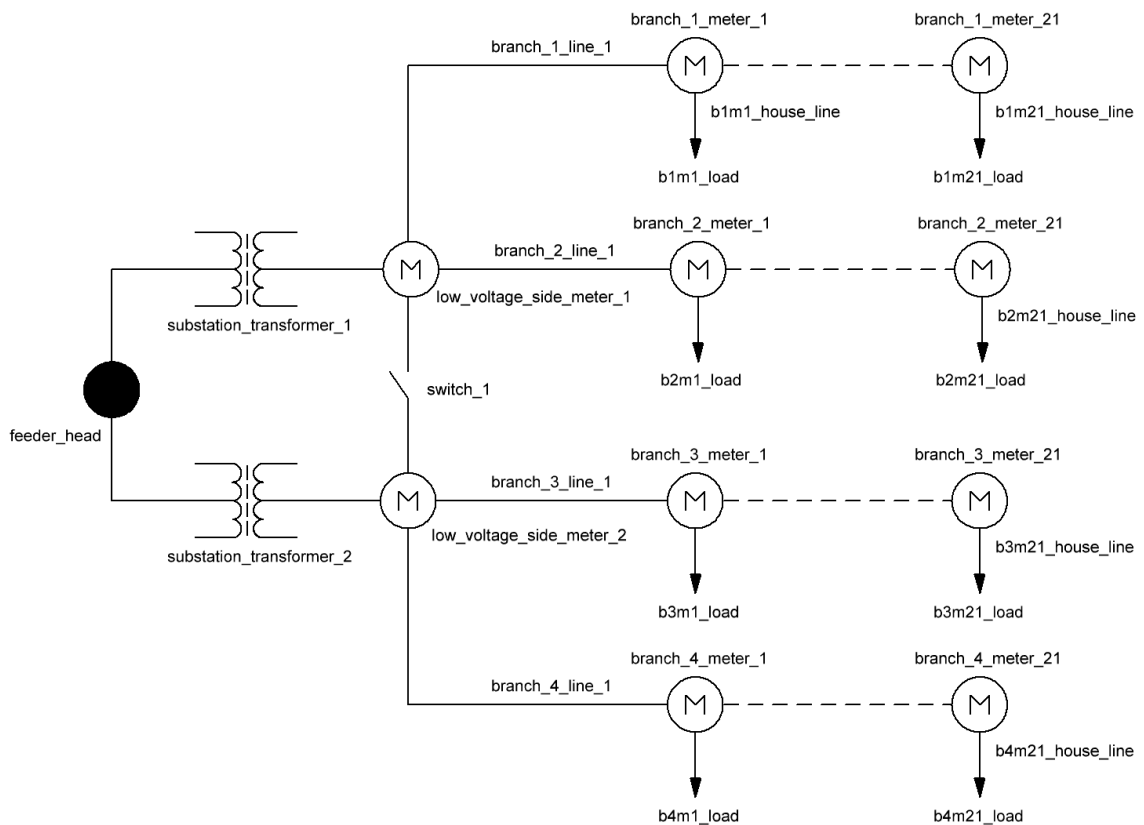


Рисунок 2.16 – Схема для моделювання двотрансформаторної ПС

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 3.8.141.546 ПЗ

Арк.

33

Опис моделі однострансформаторної ПС

Креслення однострансформаторної ТП наведено у додатку А.

Почнемо з шини 10 кВ. Задамо її параметри:

```
//=====
// Swing bus (feeder head)
//=====
object node {
    name feeder_head;
    bustype SWING;
    phases ABCN;
    nominal_voltage 10000;
}
```

Далі задамо окремо конфігурацію трансформатора, а також його параметри:

```
//=====
// Configurations and spacing
//=====
object transformer_configuration {
    name substation_transformer_config;
    connect_type DELTA_GWYE;
    install_type PADMOUNT;
    primary_voltage 10000;
    secondary_voltage 220;
    power_rating 250 kVA;
    impedance 0.0108+0.0288j Ohm;
    rated_winding_hot_spot_rise 78;
    rated_top_oil_rise 55;
    rated_winding_time_constant 0.0833;
    installed_insulation_life 262800;
    coolant_type MINERAL_OIL;
    core_coil_weight 940 kg;
    tank_fittings_weight 1230 kg;
    oil_volume 67.424 gal;
    // oil_volume 255.2 l;
    cooling_type OA;
}

//=====
// Transformer
//=====
object transformer {
    groupid Distribution_Trans;
    name substation_transformer;
    from feeder_head;
    to substation_meter;
    phases ABCN;
    use_thermal_model FALSE;
```

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    climate Dublin_Climate;
    aging_granularity 300;
    percent_loss_of_life 20;
    configuration substation_transformer_config;
}

```

Запишемо параметри для лічильника на підстанції. Він вимірюватиме напруги, струми а потужності на кожній з фаз:

```

//=====
// Meeters
//=====
object meter {
    name substation_meter;
    phases ABCN;
    nominal_voltage 219.3931;
}

```

Далі необхідно зробити запис для трифазних ліній, що йдуть від трансформатора до кінцевого споживача. Наведемо запис конфігурації та параметрів для першої лінії першої гілки, що йде від трансформатора до будинку № 1 (15 м), а також від будинку № 1 до будинку № 2 першої лінії (20 м). Аналогічно запишемо для інших ліній на усіх гілках.

```

// SIP AsXSn 4x50
object line_configuration {
    name line_configuration_2;
    z11 0.32691+0.0357j;
    z12 0.13461+0.0147j;
    z13 0.13461+0.0147j;
    z21 0.13461+0.0147j;
    z22 0.32691+0.0357j;
    z23 0.13461+0.0147j;
    z31 0.13461+0.0147j;
    z32 0.13461+0.0147j;
    z33 0.32691+0.0357j;
}

//=====
// Lines' parameters
//=====
// SIP AsXSn 4x50
object overhead_line_conductor {
    name overhead_line_conductor_2;
    rating.summer.continuous 195.0;
    geometric_mean_radius 3.95 mm;
    resistance 0.641 Ohm/km;
}

```

										Арк.
										35
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

```
//=====
// Lines
//=====
object overhead_line {
    name branch_1_line_1;
    phases ABCN;
    from substation_meter;
    to branch_1_meter_1;
    length 15 m;
    configuration line_configuration_2;
}

object overhead_line {
    name branch_1_line_2;
    phases ABCN;
    from branch_1_meter_1;
    to branch_1_meter_2;
    length 20 m;
    configuration line_configuration_2;
}
```

Перейдемо до споживачів. Для кожного з 84 будинків необхідно записати блок, що складається з лічильника, однофазної лінії, що підходить від опори до будинку (12 м) та навантаження, що задається графіком споживання ЕЕ.

Отже, представимо запис для першого будинку першого лінії (інші за аналогією). Наведемо запис лічильника, параметри і конфігурацію СІП 2х25 та блок навантаження.

```
object meter {
    name branch_1_meter_1;
    groupid branch_1_meter;
    phases ABCN;
    nominal_voltage 219.3931;
}

// SIP AsXSn 2x25
object overhead_line_conductor {
    name overhead_line_conductor_1;
    rating.summer.continuous 130.0;
    geometric_mean_radius 2.85 mm;
    resistance 1.2 Ohm/km;
}
```

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

```

// SIP AsXSn 2x25
object line_configuration {
    name line_configuration_1;
    z11 1.2+0.08j;
    z12 0.84+0.056j;
    z13 0.84+0.056j;
    z21 0.84+0.056j;
    z22 1.2+0.08j;
    z23 0.84+0.056j;
    z31 0.84+0.056j;
    z32 0.84+0.056j;
    z33 1.2+0.08j;
}

//=====
// Residential load connections
//=====

//-----
object meter {
    name blm1_house_meter;
    phases AN;
    nominal_voltage 219.3931;
}

object overhead_line {
    name blm1_house_line;
    phases AN;
    from branch_1_meter_1;
    to blm1_house_meter;
    length 12 m;
    configuration line_configuration_1;
}

object load {
    parent blm1_house_meter;
    name blm1_load_A;
    nominal_voltage 219.3931;
    phases AN;
    object player {
        property constant_power_A;
        file load_1_profile.player;
    };
}

```

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Опис моделі двотрансформаторної ПС

Креслення двотрансформаторної ТП наведено у Додатку Б. Для моделювання двотрансформаторної ПС додамо параметри другого трансформатора (конфігурація залишається незмінною):

```
object transformer {
    groupid Distribution_Trans;
    name substation_transformer_2;
    from feeder_head;
    to low_voltage_side_meter_2;
    phases ABCN;
    use_thermal_model FALSE;
    climate Dublin_Climate;
    aging_granularity 300;
    percent_loss_of_life 20;
    configuration substation_transformer_config;
}
```

Також для розподілу навантаження необхідно додати до системи дві шини НН. До шини № 1 підключимо споживачів ліній № 1 та № 2, до шини № 2 – ліній № 3 та № 4.

```
//=====
// Low voltage buses
//=====
object meter {
    name low_voltage_side_meter_1;
    groupid LV_side_trans;
    bustype PQ;
    phases ABCN;
    nominal_voltage 219.3931;
}

object meter {
    name low_voltage_side_meter_2;
    groupid LV_side_trans;
    bustype PQ;
    phases ABCN;
    nominal_voltage 219.3931;
}
```

Між шинами НН розташуємо секційний вимикач:

					МР 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

```

//=====
// Switch
//=====
object switch {
  name switch_1;
  phases ABCN;
  from low_voltage_side_meter_1;
  to low_voltage_side_meter_2;
  status OPEN;
}

```

2.4 Результати досліджень

Провівши моделювання схеми одотрансформаторної ПС та двотрансформаторної ПС (секційний вимикач відкритий) порівнюємо результати.

Наведемо графік завантаженості трансформаторів на підстанціях.

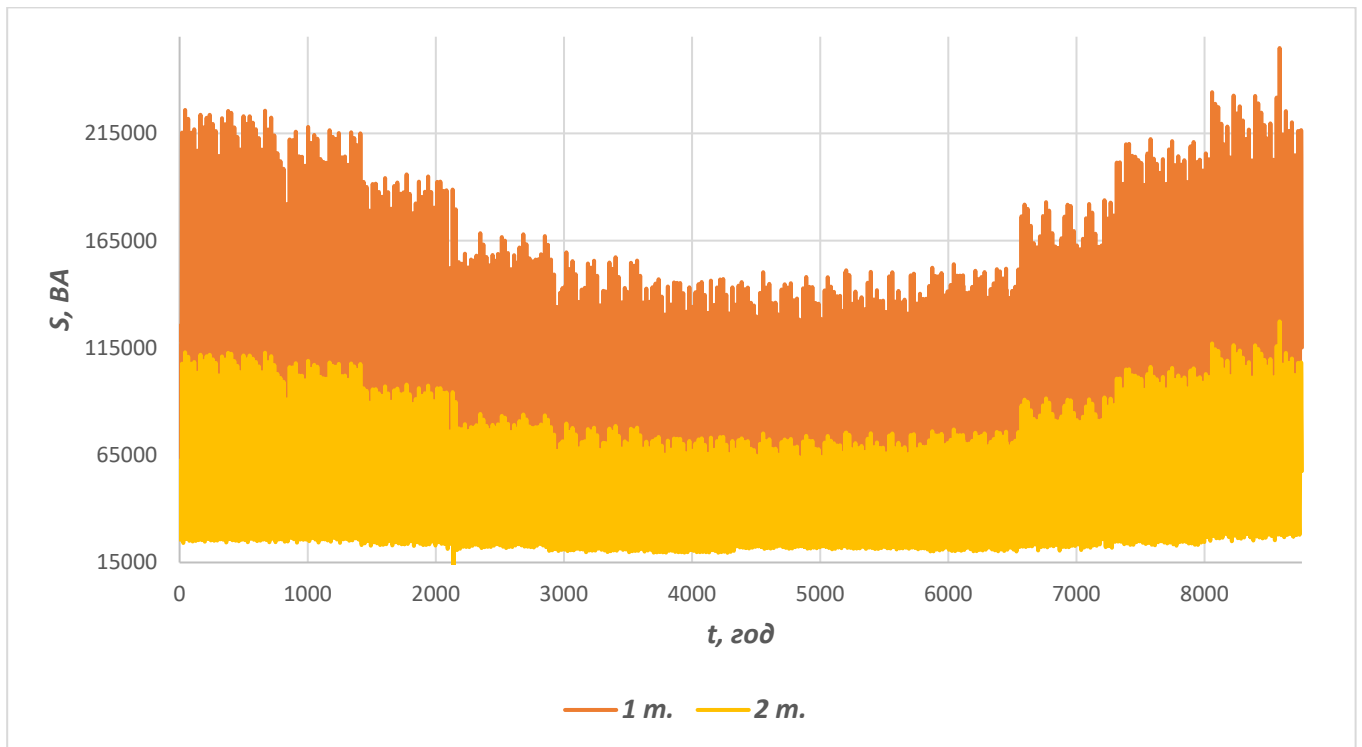


Рисунок 2.17 – Порівняння завантаженості трансформаторів

Як бачимо з рис. 2.17, завантаженість одного з трансформаторів на двотрансформаторній ПС вдвічі менша за завантаженість трансформатора на однострансформаторній ПС, адже у першому випадку загальне навантаження від споживачів ділиться навпіл.

Пікова потужність навантаження на однострансформаторній ПС складає 254,7 кВА, що означає, що трансформатор завантажений на 101,9 %. Дане значення не є критичним, а отже, один трансформатор потужністю 250 кВА цілком витримує такий рівень навантаження від побутових споживачів.

Знаючи завантаженість ТП від 4 ліній візуалізуємо концепцію, згадану у п. 1.1. З урахуванням номінальних втрат ХХ та КЗ.

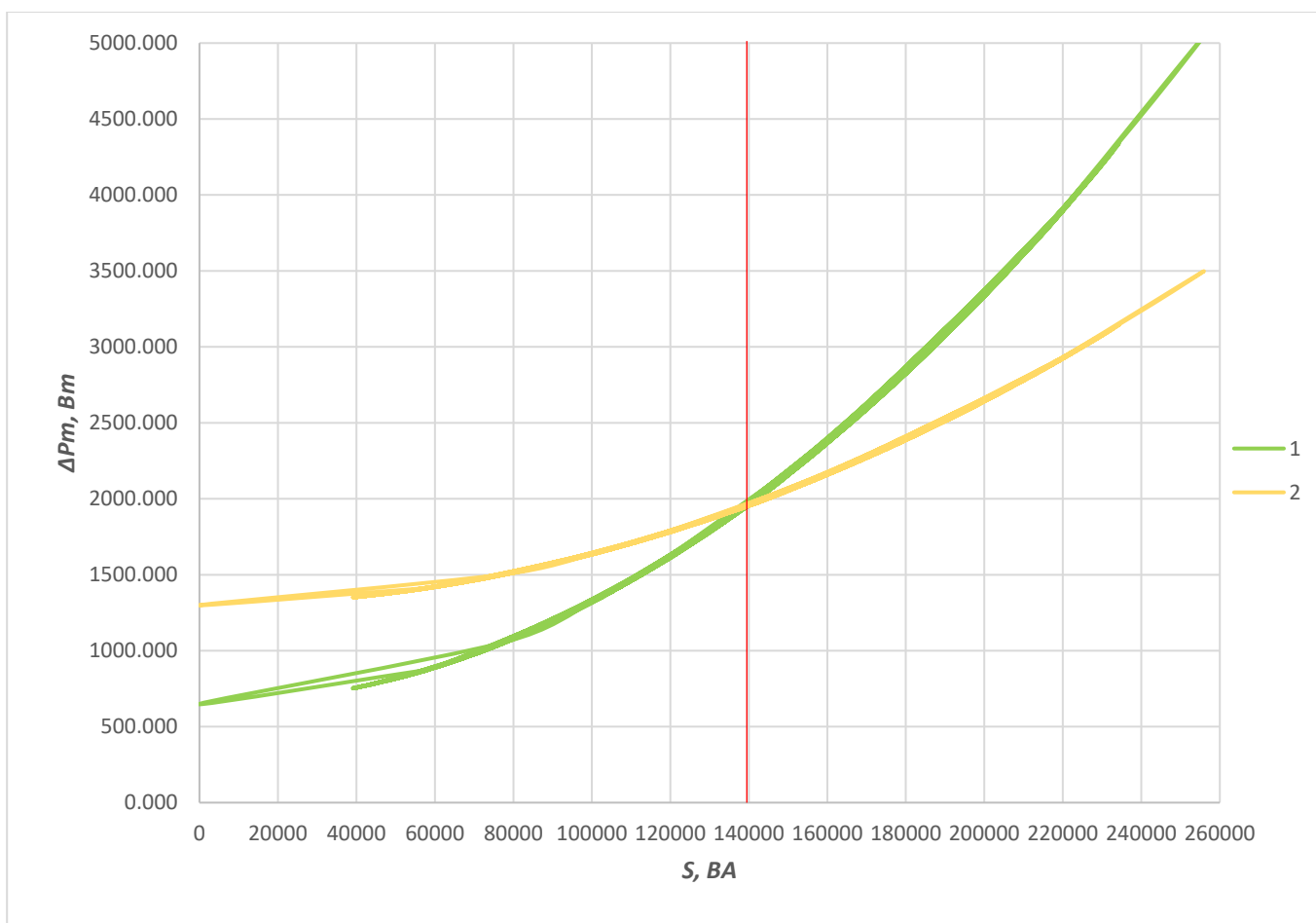


Рисунок 2.18 – Залежність втрат потужності від навантаження і числа трансформаторів

Із рис. 2.18 видно, що гранична потужність включення другого трансформатора складає:

$$S_k = S_H * \sqrt{\frac{\Delta P_X * k * (k - 1)}{\Delta P_K}} = 250000 * \sqrt{\frac{650 * 2 * (2 - 1)}{4200}} = 139087 \text{ Вт.} \quad (2.13)$$

Тобто, для мінімізації втрат електроенергії, теоретично, варто включати в роботу другий трансформатор, якщо потужність споживання перевищуватиме 140 кВА. Проте також слід відмітити, що втрати за наявності лише одного трансформатора не надто високі, а в межах норми.

Тепер порівняємо фактичні втрати в трансформаторах. Наведемо графік з порівнянням на рис. 2.19.

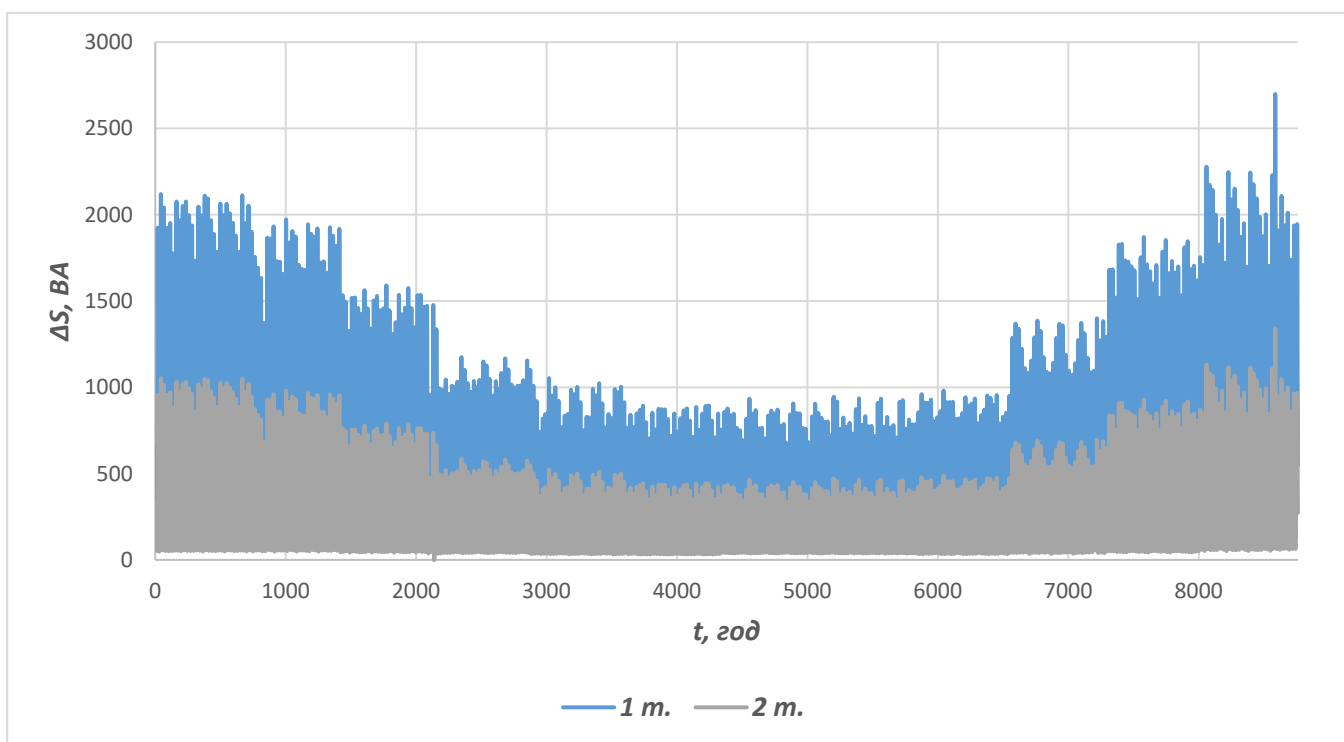


Рисунок 2.19 – Порівняння втрат в трансформаторах

Аналогічно з рис. 2.17 бачимо, що втрати трансформатора на одотрансформаторній ПС вдвічі більші за витрати одного на двотрансформаторній ПС. Пікове значення для одного трансформатора становить 2700 ВА, що також знаходиться у межах нормальної експлуатації трансформатора.

Наостанок розглянемо втрати потужності в ЛЕП для однострансформаторної ПС.

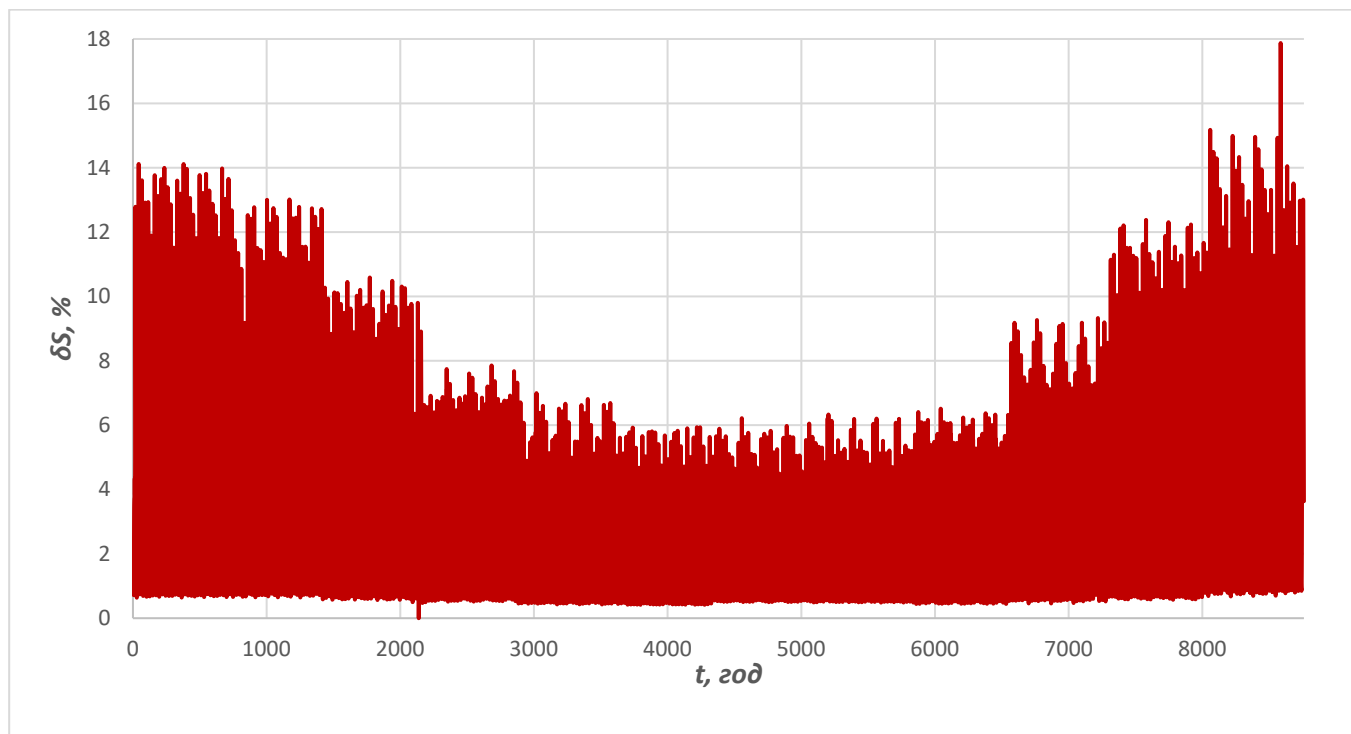


Рисунок 2.20 – Рівень втрат потужності в ЛЕП

З рис. 2.20 бачимо, що при навантаженні споживачів на його піковому значенні (254,7 кВА) втрати потужності в ЛЕП складають 17,8 %. Якщо розділити навантаження порівну між трансформаторами, то втрати в лініях на одній з секцій шин впадуть до 8,9 %.

2.5 Висновки до розділу

У ході даного розділу було проведено аналіз рівня втрат електроенергії в трансформаторах та лініях електропередачі за різних конфігурацій мережі.

Було помічено, що за даного рівня навантаження споживачів постійна паралельна робота обох трансформаторів не має істотних переваг: втрати в трансформаторах хоч і зменшуються вдвічі, порівняно з роботою лише одного, проте у

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

другому випадку рівень втрат ніколи не виходить за межі норми. Лише за перевищення рівня споживання у 140 кВА варто підключити в роботу другий трансформатор для мінімізації втрат.

Варто відзначити, що за паралельної роботи двох трансформаторів можна зменшити втрати в лініях мережі, проте на цей параметр також впливає велика кількість сторонніх чинників.

Найбільш вигідним режимом роботи для мережі може стати комбінований режим, за якого на постійній основі працює один трансформатор на ПС, а у періоди пікового навантаження підключається інший. Це в свою чергу дозволить зменшити зношуваність обладнання.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
						43
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 Охорона праці

Трансформатори в електричних мережах мають специфічні особливості експлуатації, які супроводжуються низкою потенційних ризиків.

У цьому розділі розглянуто питання охорони праці під час роботи з трансформаторами, включаючи аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, вимоги до електробезпеки, пожежної безпеки, а також заходи захисту персоналу від ураження електричним струмом.

Особлива увага приділяється забезпеченню безпечних умов праці при монтажі, технічному обслуговуванні та ремонті трансформаторного обладнання.

Оскільки експлуатація трансформаторів та інших електричних машин здійснюється висококваліфікованим електротехнічним персоналом, то основні положення розділу базуються на таких нормативних документах, як "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів" [21], "Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок" [22], а також відповідних розділах Закону України "Про охорону праці" [23].

3.1 Загальні положення охорони праці

Охорона праці є комплексною системою заходів, спрямованих на забезпечення безпечних та здорових умов праці, запобігання виробничим травмам і професійним захворюванням. Її нормативно-правова база в Україні регламентується законами, правилами, стандартами та іншими актами, які визначають основні принципи організації охорони праці на підприємствах.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чупрун А. О.			<i>Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Дяговченко І.М.					44	83
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, гр. ЕТ.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Дяговченко І.М.						
<i>Затверд.</i>		Лебедка С.М.						

Одним із ключових нормативних документів є Закон України "Про охорону праці", який встановлює основні засади державної політики в цій сфері. Він визначає обов'язки роботодавців щодо створення безпечних умов праці, проведення інструктажів, навчання персоналу та забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

Важливим елементом системи охорони праці є організація управління, яка включає:

1. Планування заходів з охорони праці – роботодавець зобов'язаний включати заходи до колективного договору чи угоди.
2. Розподіл обов'язків – закріплення відповідальності за виконання вимог охорони праці серед посадових осіб.
3. Контроль за дотриманням вимог – проведення внутрішнього аудиту, перевірок і оцінки ризиків.

Особливу увагу в електроенергетиці приділяють управлінню професійними ризиками, пов'язаними з роботою на електроустановках. Зокрема, згідно з вимогами нормативних документів, роботодавець повинен забезпечити працівників:

1. Інструкціями з безпечного виконання робіт.
2. Регулярними навчаннями та перевіркою знань з охорони праці.
3. Сертифікованими засобами індивідуального захисту (каска, рукавички, діелектричні боти, інструменти з ізоляцією тощо).

Отже, дотримання загальних положень охорони праці є обов'язковою умовою забезпечення безпеки працівників і надійності функціонування енергетичних об'єктів.

3.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів

Робота з трансформаторами та іншими елементами електричних мереж, особливо в умовах розподіленої генерації, пов'язана з впливом ряду потенційно небезпечних і шкідливих факторів. Їх своєчасна ідентифікація дозволяє розробити

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ефективні заходи з охорони праці, спрямовані на забезпечення безпечних умов роботи.

До основних небезпечних факторів, що виникають при роботі з трансформаторним обладнанням, належать:

1. Ураження електричним струмом:

- робота з високовольтним обладнанням (напруга понад 1000 В) створює загрозу ураження струмом, особливо при порушенні ізоляції чи недостатньому заземленні;
- потенційні ризики виникають при помилках у схемах підключення або порушенні правил експлуатації.

2. Електромагнітне випромінювання: робота трансформаторів супроводжується створенням електромагнітного поля, яке при тривалому впливі може негативно впливати на здоров'я працівників, зокрема викликати головний біль, порушення роботи серцево-судинної та нервової систем.

3. Пожежна безпека:

- трансформаторне масло, яке використовується для охолодження, може стати джерелом пожежі в разі його розливу та контакту з нагрітими елементами або відкритим полум'ям;
- несправність або перевантаження трансформаторів здатні викликати перегрів обладнання і навіть його займання.

4. Тепловий вплив: нагріті елементи трансформаторів, особливо в умовах інтенсивної роботи, створюють ризик опіків для персоналу.

5. Механічні ризики: під час монтажу або обслуговування важкого обладнання можливі падіння деталей, травмування персоналу інструментами чи механізмами.

6. Шкідливі хімічні фактори: при ремонті обладнання можливий контакт із трансформаторним маслом або іншими речовинами, які можуть бути токсичними чи подразнювати шкіру.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок струмів короткого замикання для однострансформаторної ПС

Розрахунок струмів короткого замикання необхідний для оцінки ризиків, щоб забезпечити вибір і налаштування захисного обладнання, яке мінімізує наслідки аварій та гарантує безпеку персоналу [24].

Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання приведена на рис. 3.1.

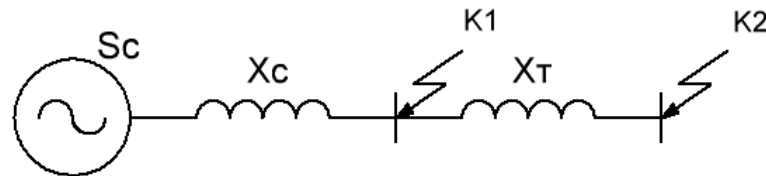


Рисунок 3.1 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання (КЗ)

Розрахунок струмів КЗ буде вестися в іменованих одиницях вимірювання.

Прийmemo, що потужність КЗ системи (районної мережі) становитиме $S_c = 60$ МВА.

Опір системи:

$$X_c = \frac{U_B^2}{S_c} = \frac{10000^2}{60 * 10^6} = 1,67 \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

Періодична складова струму КЗ в точці K_1 :

$$I_{K1} = \frac{U_B}{\sqrt{3} * X_c} = \frac{10}{\sqrt{3} * 1,67} = 3,46 \text{ кА.} \quad (3.2)$$

Розрахуємо опір трансформатора. Для малопотужних трансформаторів (до 630 кВА) варто враховувати не лише індуктивний, а й активний опір.

Реактивний опір трансформатора (приведено до сторони ВН):

$$X_T = \frac{u_k * U_B^2}{100 * S_H} = \frac{4,5 * 10000^2}{100 * 250000} = 18 \text{ Ом.} \quad (3.3)$$

Активний опір трансформатора (приведено до сторони ВН):

$$R_T = \frac{\Delta P_k * U_B^2}{S_H^2} = \frac{4200 * 10000^2}{250000^2} = 6,72 \text{ Ом.} \quad (3.4)$$

Опір трансформатора:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{6,72^2 + 18^2} = 19,21 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Періодична складова струму КЗ в точці K_2 :

$$I_{K2} = \frac{U_B}{\sqrt{3} * (X_C + Z_T)} * \frac{U_B}{U_H} = \frac{10}{\sqrt{3} * (1,67 + 19,21)} * \frac{10}{0,4} = 6,91 \text{ кА.} \quad (3.6)$$

Тепер можемо визначити ударні струми. Для цього з довідкових даних (с. 150) [] візьмемо значення ударного коефіцієнта ($k_{уд} = 1,608$) для системи, зв'язаної зі збірними шинами напругою до 35 кВ.

– В точці K_1 :

$$I_{уд1} = \sqrt{2} * k_{уд} * I_{K1} = \sqrt{2} * 1,608 * 3,46 = 7,87 \text{ кА;} \quad (3.7)$$

– в точці K_2 :

$$I_{уд2} = \sqrt{2} * k_{уд} * I_{K2} = \sqrt{2} * 1,608 * 6,781 = 15,71 \text{ кА.} \quad (3.8)$$

Вважаємо, що амплітуда електрорушійної сили (ЕРС) та періодична складова струмів КЗ (в точках K_1 та K_2) незмінні в часі, тому через час, рівний часу відключення:

– в точці K_1 :

$$I_{нт1} = I_{K1} = 3,46 \text{ кА;} \quad (3.9)$$

– в точці K_2 :

$$I_{нт2} = I_{K2} = 6,91 \text{ кА.} \quad (3.10)$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача знаходиться за формулою:

$$i_a = \sqrt{2} * I_{нт} * e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (3.11)$$

де T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

$$T_{a1} = 0,02 \text{ с, } T_{a2} = 0,05 \text{ с, } t_1 = 0,06 \text{ с, } t_2 = 0,1 \text{ с.}$$

– В точці K_1 :

$$i_{a1} = \sqrt{2} * I_{нт1} * e^{-\frac{t_1}{T_{a1}}} = \sqrt{2} * 3,46 * e^{-\frac{0,06}{0,02}} = 0,24 \text{ кА;} \quad (3.12)$$

– в точці K_2 :

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$i_{a2} = \sqrt{2} * I_{нт2} * e^{-\frac{t_2}{T_{a2}}} = \sqrt{2} * 6,91 * e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 1,32 \text{ кА.} \quad (3.13)$$

Наостанок визначимо інтеграл Джоуля (термічну стійкість):

– в точці K_1 :

$$B_{R1} = I_{K1}^2 * (t_1 + T_{a1}) = 3,46^2 * (0,06 + 0,02) = 0,96 \text{ кА}^2 * \text{с}; \quad (3.14)$$

– в точці K_2 :

$$B_{R2} = I_{K2}^2 * (t_2 + T_{a2}) = 6,91^2 * (0,1 + 0,05) = 7,16 \text{ кА}^2 * \text{с}. \quad (3.15)$$

Усі результати розрахунків занесемо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків струмів КЗ однострансформаторної пі-дстанції

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, $\text{кА}^2 * \text{с}$
Шини 10 кВ (K_1)	3,46	7,87	3,46	0,24	0,96
Шини 0,4 кВ (K_2)	6,91	15,71	6,91	1,32	7,16

Розрахунок струмів короткого замикання для двотрансформаторної ПС

Зробимо аналогічний розрахунок для двотрансформаторної ПС, враховуючи паралельне розташування трансформаторів.

Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання приведена на рис. 3.2.

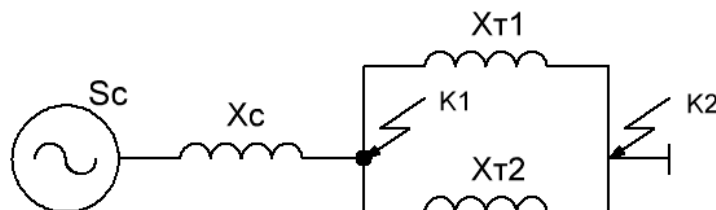


Рисунок 3.2 – Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Опір системи та періодична складова струму КЗ в точці K_1 залишиться незмінними.

Розрахуємо опір паралельно розташованих трансформаторів:

$$Z_T = \frac{Z_{T12}}{2} = \frac{19,21}{2} = 9,61 \text{ Ом.} \quad (3.16)$$

Періодична складова струму КЗ в точці K_2 :

$$I_{K2} = \frac{U_B}{\sqrt{3} * (X_C + Z_T)} * \frac{U_B}{U_H} = \frac{10}{\sqrt{3} * (1,67 + 9,61)} * \frac{10}{0,4} = 12,8 \text{ кА.} \quad (3.17)$$

Ударні струми:

– в точці K_1 :

$$I_{уд1} = \sqrt{2} * k_{уд} * I_{K1} = \sqrt{2} * 1,608 * 3,46 = 7,87 \text{ кА;} \quad (3.18)$$

– в точці K_2 :

$$I_{уд2} = \sqrt{2} * k_{уд} * I_{K2} = \sqrt{2} * 1,608 * 12,8 = 29,11 \text{ кА.} \quad (3.19)$$

Вважаємо, що амплітуда електрорушійної сили (ЕРС) та періодична складова струмів КЗ (в точках K_1 та K_2) незмінні в часі, тому через час, рівний часу відключення:

– в точці K_1 :

$$I_{нт1} = I_{K1} = 3,46 \text{ кА;} \quad (3.20)$$

– в точці K_2 :

$$I_{нт2} = I_{K2} = 12,8 \text{ кА.} \quad (3.21)$$

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів вимикача:

– в точці K_1 :

$$i_{a1} = \sqrt{2} * I_{нт1} * e^{-\frac{t_1}{T_{a1}}} = \sqrt{2} * 3,46 * e^{-\frac{0,06}{0,02}} = 0,24 \text{ кА;} \quad (3.22)$$

– в точці K_2 :

$$i_{a2} = \sqrt{2} * I_{нт2} * e^{-\frac{t_2}{T_{a2}}} = \sqrt{2} * 12,8 * e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 2,5 \text{ кА.} \quad (3.23)$$

Наостанок визначимо інтеграл Джоуля (термічну стійкість):

– в точці K_1 :

$$B_{R1} = I_{K1}^2 * (t_1 + T_{a1}) = 3,46^2 * (0,06 + 0,02) = 0,96 \text{ кА}^2 * \text{с;} \quad (3.24)$$

									Арк.
									50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

– в точці K_2 :

$$B_{R2} = I_{K2}^2 * (t_2 + T_{a2}) = 12,8^2 * (0,1 + 0,05) = 24,58 \text{ кА}^2 * \text{с.} \quad (3.25)$$

Усі результати розрахунків занесемо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків струмів КЗ двотрансформаторної підстанції

Точка КЗ	Період. склад. струму КЗ в поч. момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Період. склад. струму КЗ в момент спрац. вимикача, кА	Аперіод. склад. струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, $\text{кА}^2 * \text{с}$
Шини 10 кВ (K_1)	3,46	7,87	3,46	0,24	0,96
Шини 0,4 кВ (K_2)	12,8	29,11	12,8	2,5	24,58

Важливе значення має регулярний моніторинг електромагнітного випромінювання та проведення заходів для його зменшення, зокрема встановлення захисних екранів. Для зниження пожежної небезпеки обладнання повинно бути оснащене автоматичними системами пожежогасіння, а персонал – забезпечений відповідними засобами гасіння вогню.

Таким чином, ідентифікація і контроль за впливом небезпечних і шкідливих факторів є критично важливими для забезпечення безпеки працівників, які обслуговують трансформаторні підстанції та інше електрообладнання.

3.3 Розробка заходів щодо забезпечення безпеки персоналу

Безпека персоналу, що працює з трансформаторами в електричних мережах, залежить від комплексу організаційних, технічних та навчальних заходів. Ефективна система заходів дозволяє мінімізувати ризики травмування працівників та виникнення аварійних ситуацій.

1. Організаційні заходи:

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1. Інструктаж і навчання:

- всі працівники повинні пройти вступний, первинний та повторний інструктажі з охорони праці відповідно до вимог "Правил охорони праці під час експлуатації електроустановок";
- регулярне навчання з безпечних методів роботи та перевірка знань персоналу за допомогою спеціальних тестувань і атестацій.

1.2. Розподіл обов'язків:

- чітке визначення ролей та відповідальності кожного працівника у процесі монтажу, обслуговування або ремонту трансформаторів;
- призначення відповідальних осіб за безпечне виконання робіт.

2. Технічні заходи:

2.1. Забезпечення ЗІЗ:

- працівникам повинні бути надані діелектричні рукавички, боти, килимки, шоломи, спеціальний одяг і захисні окуляри;
- усі ЗІЗ мають відповідати стандартам безпеки та регулярно перевірятися на справність.

2.2. Системи заземлення:

- забезпечення надійного заземлення трансформаторного обладнання для захисту персоналу від ураження струмом;
- контроль стану заземлення через регулярні перевірки.

2.3. Захисні пристрої:

- використання автоматичних вимикачів, блокувань і сигналізацій для попередження небезпечних ситуацій;
- встановлення огорож та попереджувальних знаків біля обладнання, що знаходиться під напругою.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Пожежна безпека:

- забезпечення трансформаторних підстанцій вогнегасниками, системами пожежогасіння та аварійним освітленням;
- використання негорючих ізоляційних матеріалів і дотримання норм зберігання трансформаторного масла.

3. Профілактичні заходи:

3.1. Регулярне технічне обслуговування:

- проведення планових оглядів і перевірок стану трансформаторного обладнання;
- вчасне усунення дефектів, таких як зношені ізоляції або несправності в охолоджувальних системах.

3.2. Моніторинг умов праці:

- вимірювання рівнів електромагнітного випромінювання, шуму, температури на робочих місцях;
- оцінка умов праці відповідно до чинних нормативів.

4. Навчально-методичні заходи:

4.1. Розробка інструкцій:

- створення чітких і зрозумілих інструкцій щодо виконання робіт із трансформаторами, які враховують специфіку роботи в умовах розподіленої генерації;
- актуалізація інструкцій відповідно до змін у нормативній базі.

4.2. Симуляційні тренування: проведення навчань із реагування на аварійні ситуації, включаючи гасіння пожеж і евакуацію персоналу.

Отож, комплексний підхід до розробки заходів безпеки дозволяє забезпечити захист персоналу від впливу небезпечних факторів і сприяє надійній роботі електрообладнання.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Оцінка умов праці та організація навчання персоналу

Оцінка умов праці є важливим етапом у забезпеченні безпеки працівників, що займаються обслуговуванням трансформаторів в електричних мережах, особливо в умовах розподіленої генерації. Вона дозволяє визначити рівень ризику для здоров'я та безпеки персоналу, а також виявити можливі шкідливі фактори, які можуть негативно впливати на працівників.

Основними факторами, що підлягають оцінці, є рівні електромагнітного випромінювання, шуму, температури та стан обладнання. Зокрема, вимірювання електромагнітного випромінювання є критично важливим, оскільки високі рівні можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Крім того, рівень шуму на робочих місцях також може стати чинником професійних захворювань, зокрема порушень слуху. Оцінка температурних режимів трансформаторних установок необхідна для забезпечення безпечних умов праці, адже перегрів обладнання може створювати додаткові небезпеки. Всі ці фактори повинні відповідати вимогам чинних нормативів для забезпечення безпеки працівників.

Що стосується організації навчання персоналу, то воно є обов'язковим елементом для запобігання нещасним випадкам і забезпечення високого рівня безпеки. Кожен працівник, який має доступ до роботи з трансформаторами, повинен пройти спеціалізовані курси з охорони праці. Це включає в себе:

1. Інструктажі з основ безпеки під час виконання робіт з електричним обладнанням.
2. Навчання правильному використанню засобів індивідуального захисту.
3. Тренінги з надання першої допомоги та дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

Згідно з вимогами "Правил охорони праці під час експлуатації електроустановок", для всіх працівників повинні проводитись вступні, первинні та повторні інструктажі. Крім того, обов'язково перевіряються знання персоналу щодо безпеки при роботі з високовольтним обладнанням і захисту від ураження електри-

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

чним струмом. Регулярне навчання, а також атестація персоналу дозволяють мінімізувати ризики виникнення небезпечних ситуацій на виробництві та забезпечити ефективне реагування на непередбачувані обставини.

Загалом, система навчання та оцінка умов праці дозволяють забезпечити належний рівень безпеки для всіх працівників і значно знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

3.5 Пожежна безпека при експлуатації трансформаторів

Пожежна безпека є важливим аспектом при експлуатації трансформаторів, оскільки це обладнання працює під високою напругою, використовує трансформаторне масло як охолоджувальну рідину, що є горючим матеріалом, і може перегріватися під час інтенсивного навантаження. Всі ці фактори підвищують ризик виникнення пожеж, що може становити серйозну загрозу як для персоналу, так і для обладнання, а також спричинити значні матеріальні збитки.

Основними причинами пожеж у трансформаторах є перегрів обладнання через перевантаження або несправності в системі охолодження. Зокрема, коли трансформатор не може ефективно відводити тепло, його обмотки і корпус перегріваються, що може призвести до займання. Також небезпеку становить пошкодження ізоляції, що викликає коротке замикання та іскріння, а також витік трансформаторного масла, що при контакті з високими температурами або відкритим вогнем може спричинити пожежу. Крім того, недотримання правил технічного обслуговування або виявлення несправностей на пізніх етапах також збільшує ймовірність виникнення аварійної ситуації.

Для запобігання пожежам необхідно вживати низку заходів. Насамперед, трансформаторні підстанції повинні бути оснащені автоматичними системами пожежогасіння, які здатні оперативно реагувати на виникнення вогню. Приміщення, де розташоване обладнання, повинні бути побудовані із застосуванням негорючих матеріалів, що знижує ризик поширення вогню в разі

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

його виникнення. Важливим є також регулярне технічне обслуговування трансформаторів, включаючи перевірку стану обмоток, ізоляції та систем охолодження, а також очищення обладнання від пилу та сторонніх предметів, які можуть стати джерелом займання. Пожежна безпека також вимагає оснащення трансформаторних підстанцій вогнегасниками, вогнегасними системами та датчиками диму і температури для своєчасного виявлення пожежі.

Усі заходи, що сприяють забезпеченню пожежної безпеки, повинні бути виконані відповідно до встановлених стандартів, зокрема, щодо правильного монтажу, регулярних перевірок та своєчасного усунення будь-яких виявлених проблем. Забезпечення пожежної безпеки на всіх етапах експлуатації трансформаторів дозволяє значно знизити ризики виникнення пожеж і забезпечити безпечні умови для роботи персоналу.

3.6 Електробезпека в роботі з трансформаторами

Електробезпека є ключовим аспектом при експлуатації трансформаторів в електричних мережах. Трансформатори працюють під високою напругою, що робить працівників вразливими до небезпеки ураження електричним струмом. Тому дотримання правил електробезпеки є необхідним для забезпечення безпечних умов праці та попередження аварійних ситуацій.

Основними загрозами для працівників є ураження електричним струмом, короткі замикання, перевантаження електричних ліній, а також несправність або поганий стан ізоляції. Всі ці фактори можуть призвести до серйозних травм або навіть загибелі, тому необхідно впроваджувати комплекс заходів для запобігання таким ризикам.

Основними заходами для забезпечення електробезпеки є:

1. *Заземлення та заземлювальні пристрої.* Всі трансформатори повинні бути правильно заземлені для мінімізації ризику ураження струмом.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Неправильне заземлення або його відсутність може призвести до підвищеного ризику ураження електричним струмом у разі аварійної ситуації.

2. *Ізоляція та перевірка обладнання.* Всі електричні з'єднання повинні бути ізольовані, а трансформатори — регулярно перевірятися на наявність пошкоджень ізоляції. Перевірка технічного стану обладнання є важливим етапом у запобіганні коротким замиканням і забезпеченні безпеки.
3. *Використання засобів індивідуального захисту.* Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту — діелектричними рукавицями, килимами, черевиками та іншими засобами, які допомагають зменшити ризик ураження струмом.
4. *Технічне обслуговування та навчання персоналу.* Необхідно регулярно проводити перевірки і обслуговування трансформаторів, а також навчати персонал правилам роботи з електричним обладнанням, включаючи порядок дій у випадку аварій. Навчання повинно бути систематичним і включати інструктажі щодо основних правил безпеки, використання вимірювальних приладів і контролю за рівнем напруги.
5. *Автоматичні системи захисту.* Для підвищення рівня електробезпеки трансформатори мають бути оснащені автоматичними системами захисту від перевантажень і коротких замикань. Такі системи дозволяють оперативно вимкнути обладнання в разі виникнення небезпечних умов.

Усі роботи з трансформаторами повинні виконуватись тільки кваліфікованим персоналом, після проведення відповідних інструктажів і з використанням засобів індивідуального захисту. У разі роботи з електричними установками повинні дотримуватись також правил "Інструкції з охорони праці для електромонтерів" [25] (затверджена наказом Мінпраці України), які вимагають використання спеціальних засобів для запобігання ураженню електричним струмом.

Дотримання усіх вимог електробезпеки дозволяє забезпечити безпечні умови праці при роботі з трансформаторами, мінімізувати ймовірність аварій та

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

нещасних випадків, а також гарантувати збереження технічного стану обладнання.

3.8 Висновки до розділу

У даному розділі були розглянуті основні аспекти забезпечення безпеки при експлуатації трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією. Питання охорони праці включають оцінку потенційних небезпек, заходи щодо забезпечення безпеки персоналу, пожежну безпеку та електробезпеку, а також організацію навчання для працівників. Для мінімізації ризиків необхідно дотримуватись вимог чинних нормативних документів, таких як "Правила техніки безпеки при експлуатації електричних установок" та "Інструкція з охорони праці для електромонтерів". Основними заходами є регулярне технічне обслуговування, використання засобів індивідуального захисту, правильне заземлення та регулярне навчання персоналу. Всі ці заходи сприяють забезпеченню безпечних умов праці та зменшенню ймовірності аварійних ситуацій, що гарантує стабільну і безпечну експлуатацію електричних установок.

У підсумку, охорона праці є важливим елементом в комплексному підході до управління безпекою на підприємствах, де використовуються трансформатори.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

4 Економічне порівняння запропонованих рішень

У даній магістерській роботі передбачається висвітлення економічної частини дослідження через складання кошторисної документації на встановлення як одного (для одотрансформаторної підстанції), так і двох (для двотрансформаторної підстанції) трансформаторів. Кошториси на будівництво розроблені у програмному комплексі (ПК) АКВ-5.

4.1 ПК АКВ-5

Програмний комплекс АКВ-5 (Автоматизований випуск кошторисів) – це програма для автоматизації бухгалтерського обліку та фінансового управління, яка активно використовується в Україні. Вона розроблена компанією "АКВ-Союздатель" і забезпечує ефективну підтримку ведення бухгалтерії для підприємств різних форм власності та масштабів діяльності [26].

Основні функції та можливості програми АКВ-5:

- ведення обліку за різними планами рахунків (згідно з національними стандартами бухгалтерії та Кошторисними нормами України [27]);
- підтримка кількох організацій у межах однієї бази даних;
- автоматичне формування бухгалтерських проведення за різними операціями, що зменшує ризик помилок.
- підготовка та друк первинних документів (накладні, акти, рахунки-фактури, тощо).

ПК АКВ-5 ідеально підходить для розрахунку вартості усіх супутніх до встановлення трансформаторів робіт.

					<i>МР 3.8.141.546 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чупрун А.О.			<i>Оптимізація режимів роботи трансформаторів в електричних мережах з розподіленою генерацією</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Маценко О.М.					59	83
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, гр. ЕТ.м-31</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Дяговченко І.М.						
<i>Затверд.</i>		Лебедка С.М.						

4.2 Відомість робіт та специфікація обладнання і матеріалів для обох варіантів мережі

Для того, аби почати економічний розрахунок запропонованих рішень, необхідно скласти відомість робіт (ВР), що виконуватимуться, а також специфікацію обладнання, виробів та матеріалів. [28], [29].

Відомість робіт – це документ, який містить перелік усіх робіт, які повинні бути виконані в рамках проєкту на електропостачання. Вона включає в себе опис технологічних процесів, конкретні роботи, які необхідно виконати, і визначає їх обсяги.

Специфікація – це документ, який містить детальний перелік усіх необхідних для проєкту матеріалів, обладнання та виробів, а також додаткову інформацію про їхню кількість, вагу, виробника, марку та технічну характеристику.

ВР на встановлення одного трансформатора (для однострансформаторної ПС) ТМГ-250/10/0,4 наведена у Додатку В, специфікація – у Додатку Г. Відомість робіт на встановлення двох трансформаторів (для двотрансформаторної ПС) ТМГ-250/10/0,4 наведена у Додатку Д, специфікація – у Додатку Е.

Наведемо детальний опис необхідних робіт та матеріалів.

Варіант мережі № 1

Для встановлення на ПС одного силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4 необхідно виконати як монтажні, так і пусконаладжувальні роботи.

До монтажних робіт входять:

1. Перевезення санітарно-технічного, електротехнічного та іншого устаткування (тобто, трансформатора) транспортом загального призначення на відстань 30 км (середня прийнята відстань по міській місцевості). Маса трансформатора становить 0,985 т.
2. Розвантаження вантажів краном на автомобільному ході. Маса трансформатора становить 0,985 т.
3. Монтаж трансформатора силового ТМГ-250/10/0,4. Маса 1 шт. становить 0,985 т.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Монтаж заземлюючого провідника (полоса 4x40 мм). Витрати сталевієї полоси 4x40 становлять 6 м.

До пусконаладжувальних робіт відносимо:

1. Трансформатор трифазний масляний двообмоточний, напруга до 10 кВ потужність до 0,25 МВА – 1 шт. (так як трансформатор один).
2. Випробування підвищеною напругою обмотки трансформатора силового, реактора, дугогасильної котушки – 1 випроб. (так як трансформатор один).
3. Випробування масла на пробій – 1 випроб. (так як трансформатор один).
4. Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга понад 1 кВ – 1 фазування (так як на стороні 10 кВ 1 лінія).
5. Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга до 1 кВ – 4 фазування (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
6. Вимірювання опору ізоляції мегаомметром – 4 вимір. (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
7. Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга понад 1 кВ – 1 випроб. (так як на стороні 10 кВ 1 лінія).
8. Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга до 1 кВ – 4 випроб. (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
9. Пристрої, що заземлюють. Замір повного опору кола «фаза – нуль» – 4 струм-ч. Дана робота виконується для налаштування автоматики на відхідних лініях (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
10. Вимірювання перехідних опорів постійному струму контактів шин розподільних пристроїв напругою до 1 кВ – 4 вимір. (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
11. Пристрої, що заземлюють. Вимірювання опору розтіканню струму заземлювача – 4 вимір. (4 відхідних ліній зі споживачами НН).
12. Пристрої, що заземлюють. Перевірка наявності ланцюга між заземлювачами і заземленими елементами – 4 точ. (4 відхідних ліній зі споживачами НН).

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

До розділу «Устаткування» віднесемо трансформатор ТМГ-250/10/0,4 (1 шт.)

Варіант мережі № 2

Для встановлення двох трансформаторів ТМГ-250/10/0,4 використаємо ті самі роботи, що і для встановлення одного трансформатора, проте дещо підкорегуємо обсяги.

Усі обсяги робіт у розділі «Монтажні роботи» можемо збільшити двічі, а у пусконаладжувальних роботах залишити незмінними ті, що стосувалися сторони НН (так як відхідних ліній НН залишається 4), а сторони ВН – обсяги збільшити вдвічі (так як буде два трансформатори).

У розділі «Устаткування» аналогічно вкажемо, що трансформаторів буде два.

4.3 Локальні кошториси на монтажні, пусконаладжувальні роботи, устаткування

Для варіанту мережі № 1

Таблиця 5.1 – Локальний кошторис на монтажні роботи

Локальний кошторис на будівельні роботи №04-01-01 на Монтажні роботи Електропостачання

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість
Кошторисна трудомісткість
Кошторисна заробітна плата
Середній розряд робіт

30,06531 тис. грн.
0,09881 тис.люд.год.
12,61844 тис. грн.
4,0 розряд

Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	Всього	заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	не зайнятих обслуговуванням машин тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	С331-44 варіант 1	Перевезення санітарно-технічного, електротехнічного та іншого устаткування транспортом загального призначення на відстань 30 км	т	0,985	425,51	425,51	419,13	-	419,13	-	-
2	ПУ14-1435	Розвантаження вантажів краном на автомобільному ході вантажопідйомністю до 6,3 т, маса вантажу до 1,0 т	10 т	0,0985	2088,09 331,87	1756,22 515,87	205,68	32,69	172,99 50,81	2,8152 3,8709	0,28 0,38
3	КМ8-62-2	Монтаж трансформатора силового ТМГ-250/10/0,4	шт	1	23174,40 6924,99	12219,52 3750,99	23174,40	6924,99	12219,52 3750,99	59,6160 27,2993	59,62 27,3
4	КМ8-472-7	Монтаж заземлюючого провідника (полоса 4x40 мм)	100 м	0,06	9800,54 4509,75	809,32 201,44	588,03	270,59	48,56 12,09	39,7440 1,5322	2,38 0,09
5	С1551-26-	Полоса сталева 4x40 мм	м	6	78,04	-	468,24	-	-	-	-

Арк.

MP 3.8.141.546 ПЗ

62

Змін. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 5.1

	СП варіант 1											
		Разом прями витрати по кошторису						24855,48	7228,27	12860,20		62,28
		Разом будівельні роботи, грн. в том числі:						24855,48		3813,89		27,77
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн.					4767,01 11042,16 5209,83 8,76 1576,28 30065,31					
		----- Всього по кошторису					30065,31					
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.					98,81 12618,44					

Отже, як бачимо, усього по кошторису 30065,31 грн., з них на заробітну плату працівникам – 12618,44 грн. Кошторисна трудомісткість склала 0,09881 тис.люд.год., цей показник знадобиться згодом для розрахунку відряджень працівників.

Таблиця 5.2 – Локальний кошторис на устаткування

Локальний кошторис на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 04-01-02
Устаткування
Електропостачання

Основа: креслення (специфікації) № відомості тощо
Кошторисна вартість 219,99267 тис. грн.
Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	1503-5191 варіант 1	Силовий масляний трьохфазний двообмотковий герметичний трансформатор, Сном.=250 кВА, Уном.=10/0,4 кВ, з гофрованими баками ТМГ-250/10/0,4-У1; (маса=1,8) Разом	шт	1	211680,00	211680,00
		Транспортні та заготівельно-складські витрати				8312,67
		Всього по кошторису				219992,67

Відпускна ціна на 1 трансформатор ТМГ-250/10/0,4 без ПДВ складає 211680 грн. До розрахунку вартості також входять транспортні витрати, які складають 3 % від відпускної ціни, а також заготівельно-складські витрати, що складають 0,9 % від загальної вартості відпускної ціни та транспортних витрат.

Отже, усього вартість на придбання одного трансформатора становить 219999,67 грн.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 5.3 – Локальний кошторис на пусконалагоджувальні роботи

Локальний кошторис на пусконалагоджувальні роботи № 04-01-03
на Пусконалагоджувальні роботи
Електропостачання

Кошторисна вартість 20,37641 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,10378 тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата 16,00059 тис. грн.

Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунту- вання (шифр норм)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.	Витрати труда пусконалагоджувального персоналу, люд.год.	
							на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	КП1-10-2	Трансформатор трифазний масляний двообмоточний, напруга до 11 кВ потужність до 0,32 МВА	шт	1	2259,75	2259,75	14,8394	14,84
2	КП1-66-1	Випробування підвищеною напругою обмотки трансформатора силового, реактора, дугогасильної котушки	випроб.	1	645,64	645,64	4,2398	4,24
3	КП1-62-18	Випробування масла на пробій	випроб.	1	322,82	322,82	2,1199	2,12
4	КП1-62-9	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга понад 1 кВ	фазув-ня	1	322,82	322,82	2,1199	2,12
5	КП1-62-8	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга до 1 кВ	фазув-ня	4	161,41	645,64	1,0600	4,24
6	КП1-62-16	Вимірювання опору ізоляції мегаомметром	вимір.	4	16,14	64,56	0,1060	0,42
7	КП1-67-1	Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга понад 1 кВ	випроб.	1	1452,70	1452,70	9,5396	9,54
8	КП1-67-1	Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга до 1 кВ	випроб.	4	1452,70	5810,80	9,5396	38,16
9	КП1-61-8	Пристрої, що заземлюють. Замір повного опору кола «фаза - нуль»	струм-ч	4	322,82	1291,28	2,1199	8,48
10	КП1-62-2	Вимірювання перехідних опорів постійному струму контактів шин розподільних пристроїв напругою до 1 кВ	вимірюв.	4	161,41	645,64	1,0600	4,24
11	КП1-61-1	Пристрої, що заземлюють. Вимірювання опору розтіканню струму заземлювача	вимір.	4	242,12	968,48	1,5899	6,36
12	КП1-61-6	Пристрої, що заземлюють. Перевірка наявності ланцюга між заземлювачами і заземленими елементами	100 точ.	0,04	2743,98	109,76	18,0193	0,72
						Разом прями витрати по кошторису	14539,89	
						всього заробітна плата, грн.	14539,89	95,48
						Разом будівельні роботи, грн.	14539,89	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		в тому числі:						
		Загальновиробничі витрати, грн.				5836,52		
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.				8,3		
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.				1460,70		
		Всього будівельні роботи, грн.				20376,41		

		Всього по кошторису, грн.				20376,41		
		Кошторисна трудомісткість, люд.год.				103,78		
		Кошторисна заробітна плата, грн.				16000,59		

Усього по кошторису 20376,41 грн., з них на заробітну плату працівникам – 16000,59 грн. Кошторисна трудомісткість склала 0,10378 тис.люд.год.

Для варіанту мережі № 2

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						64
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.4 – Локальний кошторис на монтажні роботи

Локальний кошторис на будівельні роботи №04-01-01
на Монтажні роботи
Електропостачання

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість
Кошторисна трудомісткість
Кошторисна заробітна плата
Середній розряд робіт

59,84619 тис. грн.
0,19676 тис.люд.год.
25,12400 тис. грн.
4,0 розряд

Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.		
					Всього заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	Всього заробітної плати	експлуатації машин в тому числі заробітної плати	не зайнятих обслуговуванням машин тих, що обслуговують машини			
									на одиницю	всього		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	С331-44 варіант 1	Перевезення санітарно-технічного, електротехнічного та іншого устаткування транспортом загального призначення на відстань 30 км	т	1,97	425,51	425,51	838,25	-	838,25	-	-	
2	ПУ14-1437	Розвантаження вантажів краном на автомобільному ході вантажопідйомністю до 6,3 т, маса вантажу до 2,5 т	10 т	0,197	899,12 141,53	757,59 222,53	177,13	27,88	149,25 43,84	1,2006 1,6698	0,24 0,33	
3	КМ8-62-2	Монтаж трансформатора силового ТМГ-250/10/0,4	шт	2	23174,40 6924,99	12219,52 3750,99	46348,80	13849,98	24439,04 7501,98	59,6160 27,2993	119,23 54,6	
4	КМ8-472-7	Монтаж заземлюючого провідника (полоса 4x40 мм)	100 м	0,12	9800,54 4509,75	809,32 201,44	1176,06	541,17	97,12 24,17	39,7440 1,5322	4,77 0,78	
5	С1551-26-СП варіант 1	Полоса сталевая 4x40 мм	м	12	78,04	-	936,48	-	-	-	-	
Разом прями витрати по кошторису							49476,72	14419,03	25523,66	-	124,24	
Разом будівельні роботи, грн. в тому числі:							49476,72	-	7569,99	-	55,11	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн.							9534,03					
всього заробітна плата, грн.							21989,02					
Загально виробничі витрати, грн.							10369,47					
трудомісткість в загально виробничих витратах, люд.год.							17,41					
заробітна плата в загально виробничих витратах, грн.							3134,98					
Всього будівельні роботи, грн.							59846,19					

Всього по кошторису							59846,19					
Кошторисна трудомісткість, люд.год.							196,76					
Кошторисна заробітна плата, грн.							25124,00					

Усього по кошторису 59846,19 грн., з них на заробітну плату працівникам – 25124,00 грн. Кошторисна трудомісткість склала 0,19676 тис.люд.год.

Таблиця 5.5 – Локальний кошторис на устаткування

Локальний кошторис на придбання устаткування, меблів та інвентарю № 04-01-02
Устаткування
Електропостачання

Основа: креслення (специфікації) № відомості тощо
Кошторисна вартість 439,98534 тис. грн.
Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Документ, що обґрунтовує ціну	Найменування і характеристика устаткування, меблів та інвентарю, маса одиниці устаткування	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1	1503-5191 варіант 1	Силовий масляний трьохфазний двообмотковий герметичний трансформатор, Сном.=250 кВА, Уном.=10/0,4 кВ, з гофрованими баками ТМГ-250/10/0,4-У1; (маса=1,8)	шт	2	211680,00	423360,00
Разом						423360,00
Транспортні та заготівельно-складські витрати						16625,34
Всього по кошторису						439985,34

Усього вартість на придбання двох трансформаторів становить 439985,34 грн.

Таблиця 5.6 – Локальний кошторис на пусконаладжувальні роботи

Локальний кошторис на пусконаладжувальні роботи № 04-01-03
на Пусконаладжувальні роботи
Електропостачання

Кошторисна вартість 27,38869 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,13951 тис.люд.год.
Кошторисна заробітна плата 21,50699 тис. грн.

Складений за поточними цінами станом на "11 листопада" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норм)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.	Витрати труда пусконаладжувального персоналу, люд.год.	
							на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	КП1-10-2	Трансформатор трифазний масляний двообмоточний, напруга до 11 кВ потужність до 0,32 МВА	шт	2	2259,75	4519,50	14,8394	29,68
2	КП1-66-1	Випробування підвищеною напругою обмотки трансформатора силового, реактора, дугогасильної котушки	випроб.	2	645,64	1291,28	4,2398	8,48
3	КП1-62-18	Випробування масла на пробій	випроб.	2	322,82	645,64	2,1199	4,24
4	КП1-62-9	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга понад 1 кВ	фазування	2	322,82	645,64	2,1199	4,24
5	КП1-62-8	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга до 1 кВ	фазування	4	161,41	645,64	1,0600	4,24
6	КП1-62-16	Вимірювання опору ізоляції мегаомметром	вимір.	4	16,14	64,56	0,1060	0,42
7	КП1-67-1	Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга понад 1 кВ	випроб.	2	1452,70	2905,40	9,5396	19,08
8	КП1-67-1	Випробування підвищеною напругою збірних і з'єднувальних шин, напруга до 1 кВ	випроб.	4	1452,70	5810,80	9,5396	38,16
9	КП1-61-8	Пристрої, що заземлюють. Замір повного опору кола «фаза - нуль»	струм-ч	4	322,82	1291,28	2,1199	8,48
10	КП1-62-2	Вимірювання перехідних опорів постійному струму контактів шин розподільних пристроїв напругою до 1 кВ	вимірюв.	4	161,41	645,64	1,0600	4,24
11	КП1-61-1	Пристрої, що заземлюють. Вимірювання опору розтіканню струму заземлювача	вимір.	4	242,12	968,48	1,5899	6,36
12	КП1-61-6	Пристрої, що заземлюють. Перевірка наявності ланцюга між заземлювачами і заземленими елементами	100 точ.	0,04	2743,98	109,76	18,0193	0,72
						Разом прями витрати по кошторису	19543,62	128,34
						всього заробітна плата, грн.	19543,62	
						Разом будівельні роботи, грн.	19543,62	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		в тому числі:				7845,07		
		Загальновиробничі витрати, грн.				11,17		
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.				1963,37		
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.				27388,69		
		Всього будівельні роботи, грн.						
						Всього по кошторису, грн.	27388,69	
						Кошторисна трудомісткість, люд.год.	139,51	
						Кошторисна заробітна плата, грн.	21506,99	

Усього по кошторису 27388,69 грн., з них на заробітну плату працівникам – 21506,99 грн. Кошторисна трудомісткість склала 0,13951 тис.люд.год.

Обсяги усіх машин і механізмів та додаткових ресурсів (в т.ч. енергетичних), які необхідні для виконання даних робіт, входять до Підсумкової відомості ресурсів. Їхня вартість включена в ціну робіт.

4.4 Об'єктні кошториси

									Арк.
									66
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

MP 3.8.141.546 ПЗ

Об'єктний кошторис – це такий кошторис, який є підсумком усіх локальних кошторисів для одного конкретного об'єкта. При великому будівництві таких об'єктів в одному кошторисі може бути декілька.

Наведемо об'єктні кошториси для різних варіантів мережі.

Таблиця 5.7 – Об'єктний кошторис для мережі № 1

ОБ'ЄКТНИЙ КОШТОРИС № 04-01

на будівництво : Електропостачання

Кошторисна вартість об'єкта 270,43439 тис.грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,20259 тис.люд.год.
 Кошторисна заробітна плата 28,61903 тис.грн.
 Вимірник одиничної вартості
 Будівельні обсяги

Складений за поточними цінами станом на 11 листопада 2024 р.

№ Ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, тис. люд.год.	Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	04-01-01	на Монтажні роботи	30,06531	-	30,06531	0,09881	12,61844	-
2	04-01-02	на придбання устаткування	-	219,99267	219,99267	-	-	-
3	04-01-03	на Пусконаладжувальні роботи	20,37641	-	20,37641	0,10378	16,00059	-
Всього:			50,44172	219,99267	270,43439	0,20259	28,61903	-

Отже, як бачимо, усього за підсумком маємо 270434,39 грн., з них на заробітну плату – 28619,03 грн. Кошторисна трудомісткість складає 0,20259 тис.люд.год.

Таблиця 5.8 – Об'єктний кошторис для мережі № 2

ОБ'ЄКТНИЙ КОШТОРИС № 04-01

на будівництво : Електропостачання

Кошторисна вартість об'єкта 527,22022 тис.грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,33627 тис.люд.год.
 Кошторисна заробітна плата 46,63099 тис.грн.
 Вимірник одиничної вартості
 Будівельні обсяги

Складений за поточними цінами станом на 11 листопада 2024 р.

№ Ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, тис. люд.год.	Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	04-01-01	на Монтажні роботи	59,84619	-	59,84619	0,19676	25,124	-
2	04-01-02	на придбання устаткування	-	439,98534	439,98534	-	-	-
3	04-01-03	на Пусконаладжувальні роботи	27,38869	-	27,38869	0,13951	21,50699	-
Всього:			87,23488	439,98534	527,22022	0,33627	46,63099	-

Усього вартість становить 527220,02 грн., з них на заробітну плату – 46630,99 грн. Кошторисна трудомісткість складає 0,33627 тис.люд.год.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Зведені кошторисні розрахунки

Зведений кошторисний розрахунок – це пісумковий кошторис, у якому зазначається загальна вартість усього будівництва, включаючи усі основні роботи, додаткові витрати (кошти на відрядження, інфляцію, кошторисний прибуток тощо) та податок на додану вартість.

До складу зведених кошторисних розрахунків на будівництво мережі № 1 та мережі № 2 входять:

1. Об'єктні кошториси.
2. Кошти на відрядження працівників будівельних організацій на об'єкт будівництва.
3. Кошторисний прибуток.
4. Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій.
5. Податок на додану вартість.

У даній магістерській роботі до складу зведених кошторисних розрахунків інфляційні процеси включатися не будуть.

Кошторисний прибуток та кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій ПК АВК-5 розраховує автоматично, а кількість календарних та робочих днів для розрахунку коштів на відрядження працівників будівельних організацій на об'єкт будівництва необхідно вирахувати самостійно.

Для цього у ПК АВК-5 можна зробити витяг на пояснювальну записку, де зазначена нормативна трудомісткість робіт, яка передбачається у прямих витратах.

Для варіанту мережі № 1 вона наведена на рис. 5.1.

Розрахуємо кількість робочих днів будівництва для мережі № 1:

$$n_{д.р.} = \frac{T_p}{n_{год} * n_{люд}} = \frac{186}{8 * 8} = 2,9 \approx 3 \text{ дн.}, \quad (5.1)$$

де $n_{д.р.}$ – кількість робочих днів будівництва (дн.), T_p – нормативна трудомісткість робіт (люд.год.), $n_{год.}$ – кількість робочих годин на день (год.), $n_{люд.}$ – кількість людей у бригаді (люд., зазвичай приймається 8).

									Арк.
									68
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Якщо кількість робочих днів не перевищує 5, то кількість календарних днів будівництва дорівнює кількості робочих днів.

Рорахунок тривалості будівництва у місяцях:

$$n_{м.} = \frac{n_{д.к.}}{30} = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ міс.}, \quad (5.2)$$

де $n_{м.}$ – кількість місяців будівництва (міс.), $n_{д.к.}$ – кількість календарних днів будівництва (дн.).

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Встановлення силового трансформатора 10/0,4 кВ

Будівництво розташоване на території області.

Кошторисна документація складена із застосуванням:

- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування, технологічних трубопроводів, контроль якості зварних з'єднань. КНУ РЕКНму;
- Ремонт устаткування (КНІРру-97);
- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на пусконаладжувальні роботи. КНУ РЕКНпн;
- Будівельні матеріали, вироби і конструкції;
- Перевезення будівельних вантажів;
- Устаткування і матеріали;

Вартість матеріальних ресурсів і машино-годин прийнято за регіональними поточними цінами станом на дату складання документації та за усередненими даними Мінрегіонбуду України.

Загальновиробничі витрати розраховані відповідно до показників Додатка 18 Настанови з визначення вартості будівництва

При складанні розрахунків інших витрат прийняті такі нарахування:

- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|
| 1. Показник для визначення розміру кошторисного прибутку (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П130), Настанова [4.38] | 5,08 | грн./люд.год |
| 2. Показник для визначення розміру адміністративних витрат (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П147), Настанова [4.39] | 3,80 | грн./люд.год |

Загальна кошторисна трудомісткість

0,20259 тис.люд.год

Нормативна трудомісткість робіт, яка передбачається у прямих витратах

0,186 тис.люд.год

Загальна кошторисна заробітна плата

28,61903 тис.грн.

Середньомісячна заробітна плата на 1 робітника в режимі повної зайнятості:

Тарифна сітка для будівельних, монтажних і ремонтних робіт при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8

19820,00 грн.

Тарифна сітка для ремонтно-будівельних і ремонтно-монтажних робіт Мінпромполітики України при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8

19820,00 грн.

Тарифна сітка для пусконаладжувального персоналу при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 4

19820,00 грн.

Рисунок 5.1 – Пояснювальна записка для варіанту мережі № 1

Аналогічно зробимо розрахунок для мережі № 2.

Пояснювальна записка наведена на рис. 5.2.

Розрахуємо кількість робочих днів будівництва:

$$n_{д.р.} = \frac{T_p}{n_{год} * n_{люд}} = \frac{308}{8 * 8} = 4,8 \approx 5 \text{ дн.}, \quad (5.3)$$

Кількість календарних днів також становитиме $n_{д.к.} = 5$ дн.

Рорахунок тривалості будівництва у місяцях:

$$n_{м.} = \frac{n_{д.к.}}{30} = \frac{5}{30} = 0,167 \text{ міс.}, \quad (5.4)$$

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Встановлення силових трансформаторів 10/0,4 кВ

Будівництво розташоване на території області.

Кошторисна документація складена із застосуванням:

- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на монтаж устаткування, технологічних трубопроводів, контроль якості зварних з'єднань. КНУ РЕКНму;
- Ремонт устаткування (КНІРру-97);
- Збірники ресурсних елементних кошторисних норм на пусконаладжувальні роботи. КНУ РЕКНпн;
- Будівельні матеріали, вироби і конструкції;
- Перевезення будівельних вантажів;
- Устаткування і матеріали;

Вартість матеріальних ресурсів і машино-годин прийнято за регіональними поточними цінами станом на дату складання документації та за усередненими даними Мінрегіонбуду України.

Загальновиробничі витрати розраховані відповідно до показників Додатка 18 Настанови з визначення вартості будівництва

При складанні розрахунків інших витрат прийняті такі нарахування:

- | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|
| 1. Показник для визначення розміру кошторисного прибутку (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П130), Настанова [4.38] | 5,70 | грн./люд.год |
| 2. Показник для визначення розміру адміністративних витрат (див.графу 8 Кошторисного розрахунку №П147), Настанова [4.39] | 3,91 | грн./люд.год |

Загальна кошторисна трудомісткість

0,33627 тис.люд.год

Нормативна трудомісткість робіт, яка передбачається у прямих витратах

0,308 тис.люд.год

Загальна кошторисна заробітна плата

46,63099 тис.грн.

Середньомісячна заробітна плата на 1 робітника в режимі повної зайнятості:

Тарифна сітка для будівельних, монтажних і ремонтних робіт при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8

19820,00 грн.

Тарифна сітка для ремонтно-будівельних і ремонтно-монтажних робіт Мінпромполітики України при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 3,8

19820,00 грн.

Тарифна сітка для пусконаладжувального персоналу при середньомісячній нормі тривалості робочого часу 174,67 люд.год та розряді робіт 4

19820,00 грн.

Рисунок 5.2 – Пояснювальна записка для варіанту мережі № 2

Таблиця 5.9 – Зведений кошторисний розрахунок для мережі № 1

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 334,73606 тис. грн.

В тому числі зворотних сум 0 тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" " _____ 20__ р.

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №

Встановлення силового трансформатора 10/0,4 кВ

Складений за поточними цінами станом на 11 листопада 2024 р.

№ Ч.ч	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
1	04-01	Глава 4. Об'єкти енергетичного господарства Електропостачання	50,44172	219,99267	-	270,43439
		Разом по главі 4:	50,44172	219,99267	-	270,43439
		Разом по главах 1-7:	50,44172	219,99267	-	270,43439
		Разом по главах 1-8:	50,44172	219,99267	-	270,43439
2	Розрахунок N П-929	Глава 9. Кошти на інші роботи та витрати Кошти на відрядження працівників будівельних організацій на об'єкт будівництва	-	-	6,71260	6,71260
1	2	3	4	5	6	7
		Разом по главі 9:	-	-	6,71260	6,71260
		Разом по главах 1-9:	50,44172	219,99267	6,71260	277,14699
		Разом по главах 1-12:	50,44172	219,99267	6,71260	277,14699
	Настанова [4.38]	Кошторисний прибуток (П)	1,02961	-	-	1,02961
	Настанова [4.39]	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ)	-	-	0,77012	0,77012
	Настанова [4.43]	Разом	51,47133	219,99267	7,48272	278,94672
		Податок на додану вартість	-	-	55,78934	55,78934
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	51,47133	219,99267	63,27206	334,73606

Арк.

MP 3.8.141.546 ПЗ

70

Змін. Арк. № докум. Підпис Дата

Як бачимо, загальна вартість кошторису склала 334736,06 грн.

Таблиця 5.10 – Зведений кошторисний розрахунок для мережі № 2

Затверджено (схвалено)

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 654,25636 тис. грн.
В тому числі зворотних сум 0 тис. грн.

(посилання на документ про затвердження)

" " _____ 20__ р.

ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА №

Встановлення силових трансформаторів 10/0,4 кВ

Складений за поточними цінами станом на 11 листопада 2024 р.

№ Ч.ч	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
1	04-01	Глава 4. Об'єкти енергетичного господарства Електропостачання	87,23488	439,98534	-	527,22022
		Разом по главі 4:	87,23488	439,98534	-	527,22022
		Разом по главах 1-7:	87,23488	439,98534	-	527,22022
		Разом по главах 1-8:	87,23488	439,98534	-	527,22022
2	Розрахунок N П-929	Глава 9. Кошти на інші роботи та витрати Кошти на відрядження працівників будівельних організацій на об'єкт будівництва	-	-	14,76214	14,76214
1	2	3	4	5	6	7
		Разом по главі 9:	-	-	14,76214	14,76214
		Разом по главах 1-9:	87,23488	439,98534	14,76214	541,98236
		Разом по главах 1-12:	87,23488	439,98534	14,76214	541,98236
	Настанова [4.38]	Кошторисний прибуток (П)	1,91663	-	-	1,91663
	Настанова [4.39]	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ)	-	-	1,31464	1,31464
	Настанова [4.43]	Разом	89,15151	439,98534	16,07678	545,21363
		Податок на додану вартість	-	-	109,04273	109,04273
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	89,15151	439,98534	125,11951	654,25636

Загальна вартість кошторису склала 654256,36 грн.

4.6 Висновки до розділу

У ході даного розділу було проведено розрахунок для порівняння витрат на встановлення і налагоджування одного та двох трансформаторів ТМГ-250/10/0,4.

За зведеним кошторисним розрахунком витрати на встановлення двох трансформаторів на 95 % більші, аніж на установлення одного такої ж моделі.

Доцільність таких витрат можна обґрунтувати ефективністю від застосування підходу комбінованого режиму роботи трансформаторів на підстанції.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У ході дослідження було виконано всі поставлені задачі, а саме:

- проведено аналіз раціональної організації режимів роботи трансформаторів на підстанціях для зниження втрат електроенергії та підвищення надійності енергопостачання;
- обґрунтовано доцільність відключення частини трансформаторів у періоди низького навантаження, базуючись на залежностях втрат від рівня навантаження;
- розглянуто гнучке управління режимами роботи трансформаторів для адаптації до змінного навантаження та технічних умов, що забезпечує економію та підвищує надійність системи;
- виконано розрахунок рівня втрат електроенергії у трансформаторах та лініях електропередачі за різних конфігурацій роботи мережі;
- розроблено рекомендації щодо використання комбінованого режиму роботи трансформаторів, що дозволяє оптимізувати втрати та зменшити зношуваність обладнання;
- виконано економічний розрахунок для оцінки витрат на встановлення одного та двох трансформаторів, що підтвердило доцільність комбінованого підходу.

Аналіз показав, що постійна паралельна робота трансформаторів не завжди виправдана, оскільки втрати в трансформаторах при роботі одного пристрою за рівня навантаження до 140 кВА залишаються в межах норми. Лише за перевищення цього рівня споживання доцільно підключати другий трансформатор, що дозволяє мінімізувати втрати. Найбільш оптимальним режимом є комбінований, коли один трансформатор працює постійно, а другий підключається в пікові періоди, що зменшує зношуваність обладнання та підвищує ефективність роботи мережі.

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З економічної точки зору витрати на встановлення двох трансформаторів на 95 % перевищують витрати на встановлення одного, однак за умов комбінованого режиму роботи це може бути виправдано, оскільки забезпечується значна економія в довгостроковій перспективі за рахунок зниження втрат та продовження терміну служби обладнання.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє ефективно вирішити завдання оптимізації втрат потужності, підвищити надійність енергопостачання та забезпечити економію ресурсів.

Дане дослідження може бути вдосконалене шляхом впровадження у модель споживачів із фотоелектричними установками для врахування більш непередбачуваних сценаріїв навантаження, а також розробкою системи автоматизованого перемикачів трансформаторів при комбінованому режимі роботи, що підвищить ефективність і гнучкість управління мережею.

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		73

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 60076-1:2016. Трансформатори силові. Частина 1. Загальні відомості. [Чинний від 01.09.2016];
2. Поспелов Г. Є. Втрати потужності та енергії в електричних мережах: Г. Є. Поспелов, М. М. Сич; за ред. Г. І. Поспелова. – М.: Енерговидав. 1981. – 216 с.;
3. Правила улаштування електроустановок. Київ. 2017. – 617 с.;
4. Ідельчик В. І. Електричні системи та мережі: Підручник для вузів – М.: Енергоатомвидав. 1989. – 592 с.;
5. В.Е. Воротницький, Ю. С. Желєзко, В. М. Казанцев та ін. Втрати електроенергії в електричних мережах енергосистем; під ред. В. Н. Казанцева. М.: Енергоатомвидав. 1983. – 368 с.;
6. Принцип роботи стабілізаторів напруги. Quant: веб-сайт. URL: <https://www.quant.ua/pryntsyyp-roboty-stabylyzatoriv-naprugy/?srsltid=AfmBOooC1icrp95XCzFsLeJPHBb7WEp5w-ureU8e6bGyN0XZ6MCE7Bwn> (дата звернення: 04.12.2024);
7. Усунення перекоосу фаз. Energy All Automatics: веб-сайт. URL: <https://energyall.com.ua/ystranenie-perekosa-faz/> (дата звернення: 05.12.2024);
8. О.Б. Бурикін, В.В. Кулик. Перспективи впровадження розподільних мереж напругою 20 кВ в Україні. Вінницький національний технічний університет. Вінниця. 2016 – 3 с.;
9. Конспект лекцій з дисципліни "Електропостачання промислових підприємств" для студентів напряму 6.050701 – електротехніка і електротехнології, 6.050702 - електромеханіка / Укладачі Є.Д. Хмельницький, О.О. Крупник – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2015, 125 с.
10. GitHub: arras-energy/gridlabd: веб-сайт. URL: <https://github.com/arras-energy/gridlabd> (дата звернення: 05.12.2024);

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

11. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. [Чинний від 01.10.2010];
12. Конспект лекцій з дисципліни "Електричні навантаження" для студентів напряму 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Укладачі Лебедка С.М. – Суми, СумДУ;
13. GridLAB-D™: веб-сайт. URL: <https://www.gridlabd.org/> (дата звернення: 06.12.2024);
14. GridLAB-D Wiki:GridLAB-D Tutorial Chapter 0 – Introduction: веб-сайт. URL: https://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/GridLAB-D_Wiki:GridLAB-D_Tutorial_Chapter_0_-_Introduction (дата звернення: 06.12.2024);
15. GridLAB-D: An agent-based simulation framework for smart grids: веб-сайт. URL: <https://arxiv.org/abs/1405.3136> (дата звернення: 06.12.2024);
16. Power Flow User Guide: веб-сайт. URL: https://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/Power_Flow_User_Guide#google_vignette (дата звернення: 08.12.2024);
17. SICAME. Арматура для розподільних електричних ліній. Київ. 2019. – 116 с.;
18. ДСТУ 4743:2007. Проводи самоутримні ізольовані та захищені для повітряних ліній електропередавання. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.02.2015];
19. ТОВ УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ. Трансформатори екодизайн. Хмельницький. 2025. – 12 с.;
20. П. О. Василега. Електропостачання : підручник – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.;
21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинний від 11.06.2020];
22. Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок. [Чинний від 17.10.2022];
23. Закон України "Про охорону праці". [Чинний від 14.10.1992];

					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

24. Конспект лекцій з дисципліни "Електрична частина станцій та підстанцій" для студентів напряму 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Укладачі Дяговченко І.М. – Суми, СумДУ;
25. Інструкція з охорони праці № 8 для електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування. Запоріжжя. 2022. - 7 с.;
26. АВК Созидатель: веб-сайт. URL: <https://avk5.com.ua/index.html> (дата звернення: 08.12.2024);
27. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: веб-сайт. URL: <https://radnuk.com.ua/pravova-baza/koshtorysni-normy-ukrainy-nastanova-z-vyznachennia-vartosti-budivnytstva/> (дата звернення: 08.12.2024);
28. Організація будівництва та відомості обсягів робіт. URL: <https://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/DFE0CFA2-442D-424D-9CAF-ADD6C4884A96.pdf> (дата звернення: 08.12.2024);
29. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання (нова редакція 2020). [Чинний від 06.04.2020].

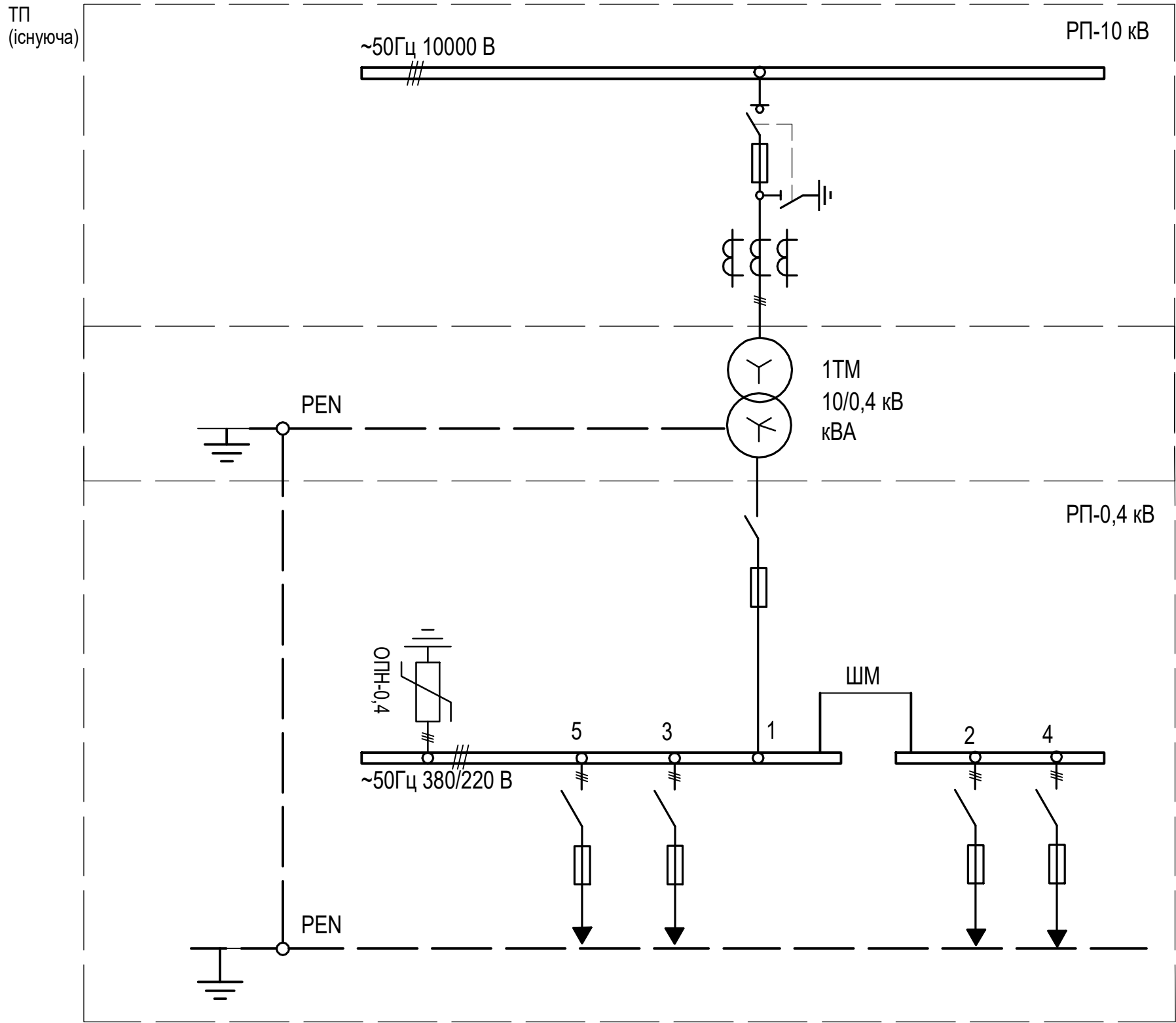
					<i>MP 3.8.141.546 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					MP 3.8.141.546 ПЗ	Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

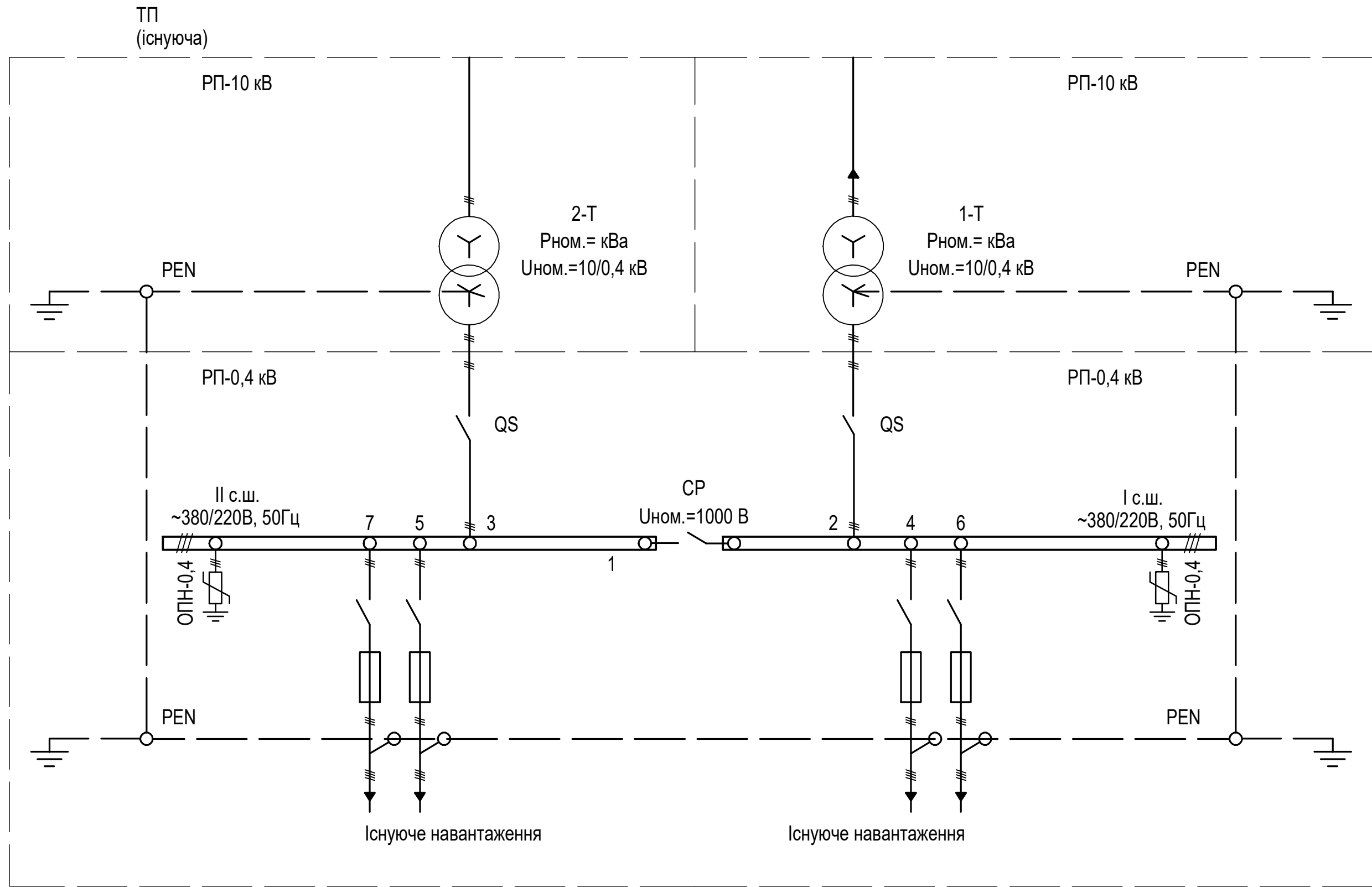
Погоджено

Зам. інв. N
Підпис і дата
Інв. N ор.



Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата
Розробив		Чупрун А.О.			
Перевірів		Дяговченко І.			
Рецензував					
Н.контроль		Дяговченко І.			
Затвердив		Лебедка С.М.			

MP 3.8.141.546 ПЗ							
Додаток А. Схема однострансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ				Літера	Маса	Маштаб	
				Д		1:1	
				Аркуш	78	Аркушів	83
СумДУ, гр. ЕТ.м-31							



Погоджено

Зам. інв. N

Підпис і дата

Інв. N оп.

Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата
Розробив		Чупрун А.О.			
Перевірів		Дяговченко І.			
Рецензував					
Н.контроль		Дяговченко І.			
Затвердив		Лебедка С.М.			

MP 3.8.141.546 ПЗ

Додаток Б.
Схема двотрансформаторної підстанції
ТП-10/0,4 кВ

Літера	Маса	Маштаб
Д		1:1
Аркуш	79	Аркушів 83

СумДУ, гр. ЕТ.м-31

Формат А3

Поз.	Найменування	Одиниця виміру	Кількість
<u>Монтажні роботи, ТП</u>			
1	Розвантаження силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4	шт/т	1/0,985
2	Монтаж силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4	шт/т	1/0,985
4	Монтаж заземлюючого провідника (полоса 4x40 мм)	м	6,0
<u>Пусконаладжувальні роботи, ТП</u>			
1	Трансформатор трифазний масляний двообмотковий, напругою до 11 кВ, потужність 0,250 МВА	шт	1
2	Випробування підвищеною напругою обмотки силового трансформатора	випроб.	1
3	Випробування масла на пробій	випроб.	1
4	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга понад 1 кВ	фазування	1
5	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга до 1 кВ	фазування	4
6	Вимірювання опору ізоляції мегаомметром	вимір.	4
7	Випробування підвищеною напругою збірних та з'єднувальних шин, напруга понад 1 кВ	вимір.	1
8	Випробування підвищеною напругою збірних та з'єднувальних шин, напруга до 1 кВ	вимір.	4
9	Замір повного опору кола "фаза-нуль"	струм-ч.	4
10	Вимірювання перехідних опорів постійному струму контактів шин розподільних пристроїв напругою до 1 кВ	вимір.	4
11	Пристрої, що заземлюють. Вимірювання опору розтіканню струму заземлювача	вимір.	4
12	Пристрої, що заземлюють. Перевірка наявності кола між заземлювачами і заземлюючими елементами	точка	4

Погоджено			

Зам. інв. N

Підпис і дата

Інв. N ор.

						МР 3.8.141.546 ПЗ					
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Додаток В. Встановлення силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4 кВ		Літера	Маса	Маштаб	
								Д		1:1	
Розробив	Чупрун А.О.					Відомість обсягів будівельних робіт		Аркуш	80	Аркушів	83
Перевірив	Маценко О.М.										
Рецензував											
Н. контроль	Дяговченко І.										
Затвердив	Лебедка С.М.										
							СумДУ, гр. ЕТ.м-31				

Позиція	Найменування та технічна характеристика	Тип, марка, позначення документу, опитного листа	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<u>Обладнання та матеріали</u>							
	1. ТП							
1	Силовий масляний трьохфазний двохобмотковий герметичний трансформатор, Sном.=250 кВА, Уном.=10/0,4 кВ, з гофрованими баками, схема та група з'єднання обмоток Δ/Y - 11	ТМГ-250/10/0,4 ГОСТ 11677		ПАТ "Укрелектроапарат" м. Хмельницький	компл./шт	1/1	985	
2	Полоса сталева 4x40 мм	ДСТУ 4747:2007 (ГОСТ 103-2006)			м	6,0	1,26	

Погоджено

Зам. інв. N

Підпис і дата

Інв. N оп.

						MP 3.8.141.546 ПЗ					
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата	Додаток Г. Встановлення силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4 кВ		Літера	Маса	Маштаб	
								Д		1:1	
Розробив	Чупрун А.О.					Специфікація обладнання, виробів та матеріалів		Аркуш	81	Аркушів	83
Перевірив	Маценко О.М.										
Рецензував											
Н.контроль	Дяговченко І.										
Затвердив	Лебедка С.М.							СумДУ, гр. ЕТ.м-31			

Поз.	Найменування	Одиниця виміру	Кількість
<u>Монтажні роботи, ТП</u>			
1	Розвантаження силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4	шт/т	2/1,97
2	Монтаж силового трансформатора ТМГ-250/10/0,4	шт/т	2/1,97
4	Монтаж заземлюючого провідника (полоса 4x40 мм)	м	12,0
<u>Пусконаладжувальні роботи, ТП</u>			
1	Трансформатор трифазний масляний двообмотковий, напругою до 11 кВ, потужність 0,250 МВА	шт	2
2	Випробування підвищеною напругою обмотки силового трансформатора	випроб.	2
3	Випробування масла на пробій	випроб.	2
4	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга понад 1 кВ	фазування	2
5	Фазування електричної лінії або трансформатора з мережею, напруга до 1 кВ	фазування	4
6	Вимірювання опору ізоляції мегаомметром	вимір.	4
7	Випробування підвищеною напругою збірних та з'єднувальних шин, напруга понад 1 кВ	вимір.	2
8	Випробування підвищеною напругою збірних та з'єднувальних шин, напруга до 1 кВ	вимір.	4
9	Замір повного опору кола "фаза-нуль"	струм-ч.	4
10	Вимірювання перехідних опорів постійному струму контактів шин розподільних пристроїв напругою до 1 кВ	вимір.	4
11	Пристрої, що заземлюють. Вимірювання опору розтіканню струму заземлювача	вимір.	4
12	Пристрої, що заземлюють. Перевірка наявності кола між заземлювачами і заземлюючими елементами	точка	4

Погоджено			

Зам. інв. N

Підпис і дата

Інв. N ор.

Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Чупрун А.О.				
Перевірив	Маценко О.М.				
Рецензував					
Н. контроль	Дяговченко І.				
Затвердив	Лебедка С.М.				

МР 3.8.141.546 ПЗ

Додаток Д.
Встановлення силових трансформаторів
ТМГ-250/10/0,4 кВ

Літера	Маса	Маштаб
Д		1:1
Аркуш	82	Аркушів 83

Відомість обсягів будівельних робіт

СумДУ, гр. ЕТ.м-31

Позиція	Найменування та технічна характеристика	Тип, марка, позначення документу, опитного листа	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<u>Обладнання та матеріали</u>							
	1. ТП							
1	Силовий масляний трьохфазний двохобмотковий герметичний трансформатор, Sном.=250 кВА, Уном.=10/0,4 кВ, з гофрованими баками, схема та група з'єднання обмоток $\Delta/Y - 11$	ТМГ-250/10/0,4 ГОСТ 11677		ПАТ "Укрелектроапарат" м. Хмельницький	компл./шт	2/2	985	
2	Полоса сталева 4x40 мм	ДСТУ 4747:2007 (ГОСТ 103-2006)			м	12,0	1,26	

Погоджено

Зам. інв. N
Підпис і дата
Інв. N ор.

						MP 3.8.141.546 ПЗ			
Зм.	Кільк.	Арк.	Недок.	Підпис	Дата	Додаток Е. Встановлення силових трансформаторів ТМГ-250/10/0,4 кВ			
Розробив	Чупрун А.О.								Літера
Перевірив	Маценко О.М.					Д		1:1	
Рецензував						Аркуш	83	Аркушів	83
Н.контроль	Дяговченко І.					Специфікація обладнання, виробів та матеріалів			
Затвердив	Лебедка С.М.								СумДУ, гр. ЕТ.м-31