

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Проектування електричної частини підстанції 35/6 кВ»

КРБ.141ЕЕбд_31[1].11.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 141ЕЕбд_31[1]
ПАЛАТАЙКОВ Максим

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БИЧКОВ Ярослав

Полтава – 2026 р

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

Полтавський державний аграрний університет

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 5 розділів, 8 рисунків, 24 таблиці, 24 джерела посилання, 66 сторінок.

Об'єкт роботи – електрична підстанція напругою 35/6 кВ як елемент системи електропостачання, призначений для приймання, перетворення та розподілу електричної енергії споживачам.

Предмет роботи – технічні рішення та методи проєктування електричної частини підстанції 35/6 кВ, зокрема вибір головної схеми електричних з'єднань, силових трансформаторів, комутаційного обладнання, струмопровідних частин, засобів релейного захисту та автоматики, а також розрахунок режимів роботи і струмів короткого замикання.

Постановка актуальної технічної задачі – дослідити можливості удосконалення та оновлення системи релейного захисту та автоматики трансформаторної підстанції 35/6 кВ.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – проєктування електричної частини підстанції 35/6 кВ на основі аналізу навантажень та вимог до надійності електропостачання, виконання технічних розрахунків і вибору сучасного електрообладнання, що забезпечує ефективну та безпечну експлуатацію підстанції.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на електричних підстанціях галузі.

У **першому розділі** проведено світлотехнічний розрахунок. Визначено кількість світильників, необхідних для забезпечення стандартизованого освітлення, а також потужність освітлювальної установки. Розрахунок загального освітлення здійснювався за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

У **другому розділі** виконано розрахунок проєктування допоміжної системи власних потреб. Рівномірно розподілено навантаження по 2 секціях, що забезпечує надійне, безперервне живлення. Застосовано режим прихованої резервності, тобто кожен трансформатор власних потреб вибирається для максимальної потужності і в нормальному режимі працює з половиною навантаженням, а у разі відмови одного з них інший несе повне навантаження.

У **третьому розділі** проведено розрахунок струмів короткого замикання, що необхідно для вибору обладнання та перевірки елементів електричних установок (шин, ізоляторів, кабелів тощо) на електродинамічну та теплову стабільність, а також для встановлення захисних уставок і перевірки їх чутливості до спрацьовування.

У **четвертому розділі** здійснено вибір перерізу кабельних ліній та електрообладнання з напругою 6-35 кВ, вибрано трансформатори вимірювання струму та напруги, автоматику захисту від коротких замикань, перенапруги. Захист трансформаторів, ліній, джерел живлення, секційних комутаторів і вихідних фідерів секцій передбачено на основі цифрових систем захисту.

У **п'ятому розділі** надана орієнтовна оцінка вартості запропонованого проекту. Розглянуто основні нормативні документи, що регламентують вимоги охорони праці на електроустановках, сформовано перелік та вплив небезпечних факторів та заходи і засоби для їх уникнення чи усунення.

Практичні результати роботи – проведено розрахунок системи освітлення технічних приміщень підстанції та прилеглої території, обладнання власних потреб. Розроблено комплекс рішень з релейного захисту та автоматизації роботи підстанції, виконано визначення величин струмів короткого замикання, здійснено вибір засобів автоматизації та відповідного обладнання підстанції 6-35 кВ.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – розроблені проектні рішення можуть бути застосовані на об'єктах електропостачання при реконструкції та технічному переоснащенні комплексів електричного захисту.

Сфера застосування результатів роботи – енергетичний комплекс.

Ілюстраційна частина проекту становить: 8 аркушів.

Текст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи пройшов перевірку на плагіат за допомогою спеціалізованого сервісу "StrikePlagiarism" і є оригінальним. Унікальність тексту становить 83,86 %.

АНОТАЦІЯ

У роботі виконано проектування електричної частини підстанції 35/6 кВ із забезпеченням вимог надійності, безпеки та економічної ефективності електропостачання споживачів. Розроблено систему внутрішнього освітлення приміщень підстанції із застосуванням методу коефіцієнта використання світлового потоку. Виконано розрахунок власних потреб підстанції та розроблено схему їх електропостачання з рівномірним розподілом навантаження між двома секціями. Передбачено режим прихованого резервування трансформаторів власних потреб, що підвищує надійність роботи об'єкта. Проведено розрахунок струмів короткого замикання, необхідний для вибору та перевірки електрообладнання на електродинамічну і термічну стійкість. Здійснено вибір перерізів кабельних ліній, силового та комутаційного обладнання, вимірювальних трансформаторів, пристроїв захисту від перенапруг. Розроблено систему релейного захисту та

автоматики підстанції на базі сучасних цифрових терміналів захисту. Визначено склад основних захистів для трансформаторних, ввідних та секційних приєднань. У роботі також складено кошторис вартості основного електротехнічного обладнання. Розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації підстанції, передбачено комплекс технічних і організаційних заходів щодо захисту персоналу від дії небезпечних виробничих факторів.

ОСВІТЛЕННЯ, РЕЛЕВНИЙ ЗАХИСТ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ,
СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ

ANNOTATION

The design of the electrical part of the 35/6 kV substation was carried out in order to ensure the requirements of reliability, safety and economic efficiency of power supply to consumers. A system of internal lighting of the substation premises has been developed using the method of luminous flux utilization coefficient. The calculation of the substation's own needs was carried out and a scheme of their power supply was developed with a uniform distribution of the load between the two sections. There is a mode of hidden redundancy of transformers for their own needs, which increases the reliability of the object. The calculation of short-circuit currents is carried out, which is necessary for the selection and testing of electrical equipment for electrodynamic and thermal stability. The selection of cross-sections of cable lines, power and switching equipment, measuring transformers, surge protection devices was carried out. A system of relay protection and automation of the substation based on modern digital protection terminals has been developed. The composition of the main protections for transformer, input and sectional connections has been determined. The work also compiled an estimate of the cost of the main electrical equipment. The issues of labor protection and safety of the substation operation are considered, a set of technical and organizational measures is provided for the protection of personnel from the action of dangerous production factors.

LIGHTING, RELAY PROTECTION, SHORT CIRCUIT, CURRENT
PROTECTION

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СВІТЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	7
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПІДСТАНЦІЇ	29
2.1 Визначення орієнтовного електричного навантаження власних потреб	29
2.2 Розрахунок розподільчої мережі власних потреб	33
3 ВИБІР СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЖИВЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ	40
4 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ТА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ З НАПРУГОЮ 6-35 кВ	48
5 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	56
5.1 Орієнтовна оцінка вартості запропонованого проєкту	56
5.2 Загальні положення з охорони праці при експлуатації підстанції 35/6 кВ	57
5.2.1 Дія електричного струму	58
5.2.2 Електромагнітне випромінювання	59
5.2.3 Пожежна безпека	59
5.2.4 Шум та вібрація	59
5.2.5 Заходи забезпечення електробезпеки	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ДОКЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	66

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ			
ЗМ.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Палатайков М						
Перевір.		Бичков Я.М.				н	6	66
Н.контр.		Бичков Я.М.				ПДАУ 2026		
Затв.		Попов С.В.						

ВСТУП

За рівнем надійності електропостачання споживачі станції належать переважно до категорій I та II. Живлення робочих і резервних електричних приймачів здійснюється з різних секцій 6 кВ комутаційного обладнання. Електроенергетика є однією з базових галузей економіки, від ефективного функціонування якої залежить стабільна робота промислових підприємств, об'єктів комунального господарства, транспорту та соціальної інфраструктури.

Зовнішнє живлення станції здійснюється через 2 повітряні лінії 35 кВ потужністю 1500 кВт. Мережа постачання складається з контактних неізолюваних сталевалюмінієвих ліній для повітряних ліній електропередач АС-150/24.

Розподільний пункт (РП) 6 кВ – це електроустановка, призначена для прийому та розподілу електроенергії однієї напруги (6 кВ) між споживачами або іншими підстанціями без її трансформації. Включає шини, комутаційні апарати (вимикачі), захист, облік та вимірювання, забезпечуючи надійне живлення та захист ланцюгів. Усе захисне та керуюче обладнання розташоване в шафах розподільчого обладнання і стійке до теплових і динамічних дій коротких замикань струмів.

Надійність електропостачання споживачів значною мірою визначається технічним станом та якістю проектування електричних мереж і підстанцій, які забезпечують приймання, перетворення та розподіл електричної енергії.

Під час проектування електричної частини підстанції необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних завдань, що включають вибір схеми електричних з'єднань, визначення потужності силових трансформаторів, розрахунок струмів короткого замикання, вибір комутаційного обладнання, струмопровідних частин, засобів релейного захисту та автоматизації. Правильність прийнятих технічних рішень безпосередньо впливає на надійність, безпеку та економічність роботи підстанції протягом усього терміну її експлуатації.

Актуальність теми полягає в необхідності забезпечення безперебійного та якісного електропостачання споживачів шляхом застосування сучасних методів

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

проектування електроенергетичних об'єктів, впровадження ефективних технічних рішень і використання сучасного електрообладнання, що відповідає вимогам чинних нормативних документів.

Об'єкт роботи – електрична підстанція напругою 35/6 кВ як елемент системи електропостачання, призначений для приймання, перетворення та розподілу електричної енергії споживачам.

Предмет роботи – технічні рішення та методи проектування електричної частини підстанції 35/6 кВ, зокрема вибір головної схеми електричних з'єднань, силових трансформаторів, комутаційного обладнання, струмопровідних частин, засобів релейного захисту та автоматики, а також розрахунок режимів роботи і струмів короткого замикання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз вихідних даних та характеристик споживачів електричної енергії;
- розрахунок освітлення підстанції та прилеглої території;
- вибір силових трансформаторів та визначення їх параметрів;
- розрахунок струмів короткого замикання в характерних точках схеми;
- вибір та характеристики основного електрообладнання підстанції;
- оцінка економічної ефективності проектних рішень і розгляд питань охорони праці.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на електричних підстанціях галузі.

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

У приміщеннях виробничих будівель, як правило, слід використовувати загальну систему освітлення. Загальне освітлення – це освітлення, при якому лампи рівномірно розташовані у верхній зоні кімнати (загальне рівномірне освітлення) або відносно розташування обладнання (загальне локалізоване освітлення).

Для освітлення приміщень підстанції використовувалися світильники з енергозберігаючими світлодіодними лампами типу LED з відповідними КСС (криві сили світла).

КСС – це графіки, що показують, як світильник розподіляє світловий потік у просторі. Основні типи: Концентрована (К) (вузький промінь), Глибока (Г) , Косинусна (Д) (широкий, 120 °) та Широка (Ш) (для доріг). Вибір залежить від висоти підвісу та цілей: від точкового підсвічування до освітлення вулиць та цехів.

Основні типи КСС (ДСТУ ІЕС QC 001002-2:2007) [1] відповідають світлотехнічним нормам (включаючи підходи, близькі до ДСТУ 8546:2015 та класичних класифікацій) [2]. Виділяють 7 основних типів:

1. К - Концентрована (кут $\sim 25^\circ$): Вузконаправлене світло, висока інтенсивність в центрі. Для точкового освітлення, вітрин, високих прольотів.
2. Г - Глибока (кут $\sim 60^\circ$): Помірно вузький конус. Для виробничих високих приміщень.
3. Д - Косинусна (кут $\sim 120^\circ$): Найпопулярніший тип, рівномірне розсіювання. Ідеально для офісів, загальних приміщень та цехів.
4. Л - Напівширока (кут $\sim 140^\circ$): Світло розтягується вздовж полотна.
5. Ш - Широка (кут $\sim 160^\circ$): Для освітлення доріг, вулиць, тунелів, витягнутих зон.
6. М - Рівномірна (кут $\sim 180^\circ$): Розсіяне світло для підсобних приміщень.
7. С - Синусна (кут $\sim 90^\circ$): Для відбитого або приглушеного світла.

Вибирають КСС за наступними параметрами:

- Високі стелі ($> 6-8$ м): К, Г.
- Середня висота (офіси, цехи): Д.
- Вулиці, дороги, коридори: Ш, Л.

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

КСС допомагає проаналізувати спрямованість світла перед проектуванням освітлення.

Характеристики попередньо обраних для встановлення світильників наведені в Таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Характеристики світильників

Тип	F_v , lm	P , Вт	Тип КСС	Розміри	
				Довжина, мм	Ширина, мм
Світильник LED лінійний LUMINARIA LM-36W 5000K WHITE	3900	36	D	620	75

Параметри приміщення підстанції наведені в Таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Параметри приміщень

Назва приміщення	Розмір кімнати ($A \times B \times H$), m	Площа, m^2	Нормалізоване освітлення (E_{min}), lux
РП-6кВ	12x12x4.8	144	150
Щит постійного струму	6x3.3x4.8	19,8	150
Вентиляційна камера	6x3.3x4.8	19,8	50

Розрахунки освітлення проводяться відповідно до навчальних та методологічних рекомендацій.

Параметри розташування світильників, показані на рисунку 1:

H – висота кімнати;

h_c – це висота звису світильника ($h_c = 0 \dots 1,5$ м);

h_p – це висота робочої поверхні ($h_p = 0 \dots 0,8$ м);

H_p – це висота підвіски світильника над освітленою поверхнею.

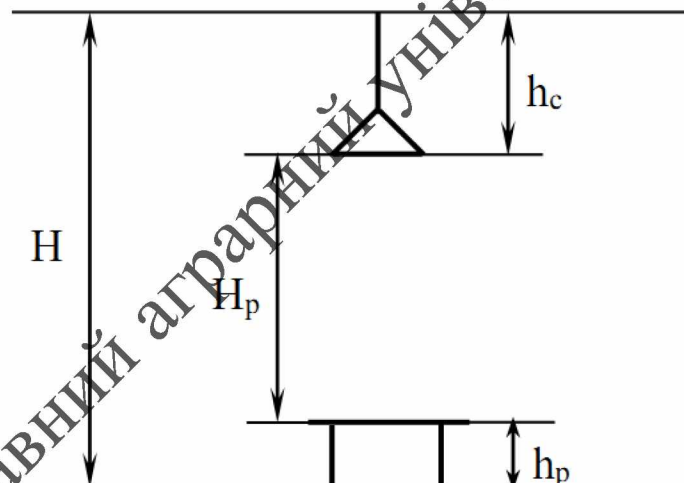


Рисунок 1.1 – Розташування світильника на висоті кімнати

Загалом, проєктна висота підвіски світильника визначається виразом (1):

$$H_p = H - (h_c + h_p). \quad (1)$$

Визначимо орієнтовну висоту підвіски світильника для кожної основної кімнати:

$$H_{P(PY-6KB)} = 4,8 - (1,3 + 0) = 3,5 \text{ м},$$

$$H_{P(ЩПТ)} = 4,8 - (2,3 + 0) = 2,5 \text{ м},$$

$$H_{P(ПВ)} = 4,8 - (2,3 + 0) = 2,5 \text{ м}.$$

Відстань між сусідніми світильниками:

$$L = \left(\frac{L}{H_p} \right) \cdot H \quad (2)$$

де $\left(\frac{L}{H_p} \right)$ – найвигідніша відносна відстань між лампами, для кривої Д – 1,4, для Г – 0,8.

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Відстань від стіни до ламп:

$$l = (0,2 \dots 0,4) \cdot L; \quad (3)$$

Кількість рядів світильників:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (4)$$

де B — ширина кімнати, м.

Результат округлюють до найближчого цілого числа, дійсні відстані між рядами світильників перераховуються:

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1}, \quad (5)$$

Відстань між сусідніми світильниками у ряді:

$$L = \frac{B - 2l - N_R \cdot l_c}{N_R - 1}, \quad (6)$$

де l_c — довжина одного світильника, м.

Розрахуємо розташування рядів світильників для комутаційного обладнання на РП-6 кВ.

Відстань між сусідніми світильниками:

$$L = 1,4 \cdot 3,5 = 4,9 \text{ м.}$$

Лампи будуть встановлені на стіні, тому відстань від стіни до ламп становить $l = 0 \text{ м}$

Кількість рядів світильників:

$$R = \frac{4,9 - 2 \cdot 0}{4,9} + 1 = 3,4 \approx 4$$

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Фактична відстань між рядами світильників

$$L_B = \frac{12 - 2 \cdot 0}{4} = 3 \text{ м.}$$

Для решти передумов обчислення здійснюється аналогічно.

Результати розрахунків для виразів (2) – (6) для всіх передумов наведені у Таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунків розташування світильників

Назва приміщення	h_c , м	h_p , м	H_p , м	L , м	L_0 , м	R	L_B , м
РП-6кВ	1,3	0	3,5	4,9	0/1	4	4
Щит постійного струму	2,3	0	2,5	3,5	1,4	1	-
Вентиляційна камера	2,3	0	2,5	3,5	-	1	-

У приміщенні вентиляційної камери лампи будуть розташовані в один ряд уздовж стіни. Це пов'язано з особливостями розташування обладнання.

Для розрахунку робочого світла застосовується метод коефіцієнта використання.

Світловий потік ламп, необхідний для створення необхідного освітлення в одному ряду:

$$\Phi_R = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta}, \quad (7)$$

де E_H – стандартизоване освітлення, lx;

K_3 – це коефіцієнт запасу;

S – площа освітленої поверхні, м²;

z – коефіцієнт нерегулярності світлового потоку ($z = 1,05$ для світлодіодних ламп, $z = 1,1$ для люмінесцентних ламп);

R – кількість рядів;

η – це коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання визначається залежно від значень індексу кімнати i та коефіцієнтів відбиття стелі, стін, робочої поверхні — ρ_n, ρ_c, ρ_p .

Індекс кімнати визначається формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{A_p (A + B)}, \quad (8)$$

де A і B — довжина та ширина кімнати відповідно.

Після розрахунку загального світлового потоку ламп серії визначається кількість ламп із попередньо обраною потужністю:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{\Phi_l}, \quad (9)$$

де Φ_l — це світловий потік лампи, lm.

Далі зробимо розрахунок освітлення для головної кімнати.

Індекс приміщення цеху:

$$i = \frac{12 \cdot 12}{3,5 \cdot (12 + 12)} = 1,7$$

Згідно з [2], коефіцієнт використання світлового потоку для цієї кімнати з обраними типами світильників становить 0,48.

Необхідний світловий потік одного ряду:

$$\Phi_R = \frac{150 \cdot 1,4 \cdot 144 \cdot 1,05}{3,5 \cdot 0,48} = 16540 \text{ лм.}$$

Необхідна кількість світильників ДПП 66-126-22х (354) для даного приміщення:

$$N_R = \frac{16540}{3900} = 4,24.$$

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Ми приймаємо $N_R = 5$.

Фактична відстань між світильниками рядів:

$$L_A = \frac{12 - 2 \cdot 0,8 - 5 \cdot 1,3}{5 - 1} = 1 \text{ м.}$$

Ми приймаємо для встановлення лінійні світильники ДПП 11У-36-002 УЗ 36Вт IP65 [3]. Для решти передумов обчислення здійснюється аналогічно. Результати розрахунків розташування світильників, а також, звичайно, обраних для встановлення світильників наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків розташування світильників

Назва приміщення	i	η	R	Φ_P , ЛМ	N_R , шт	L_A , м	L_B , м
РП-6кВ	1,7	0,48	4	16540	5	1	2,2
Щит постійного	0,8	0,44	1	9020	2	0,6	1,9
Вентиляційна камера	0,8	0,44	1	3000	2	0,6	1,9

Для розрахунку аварійного та евакуаційного освітлення ми використаємо точковий метод [4]. У розрахунках, проведених за допомогою точкового методу, світильник представлений як точковий світильник. Точки з найнижчим освітленням обираються як контрольні точки.

Для створення аварійного освітлення ми виберемо деякі світильники з робочого освітлення і підключимо їх до аварійної мережі.

Розташування аварійних світильників показано на рисунку 2.

Кут між напрямком і точкою розрахунку за віссю симетрії світильника:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d}{H_s}\right), \quad (10)$$

де d — відстань від точки розрахунку до проекції осі симетрії світильника на площині, перпендикулярній йому і проходить через проєктну точку (рисунок 1.2).

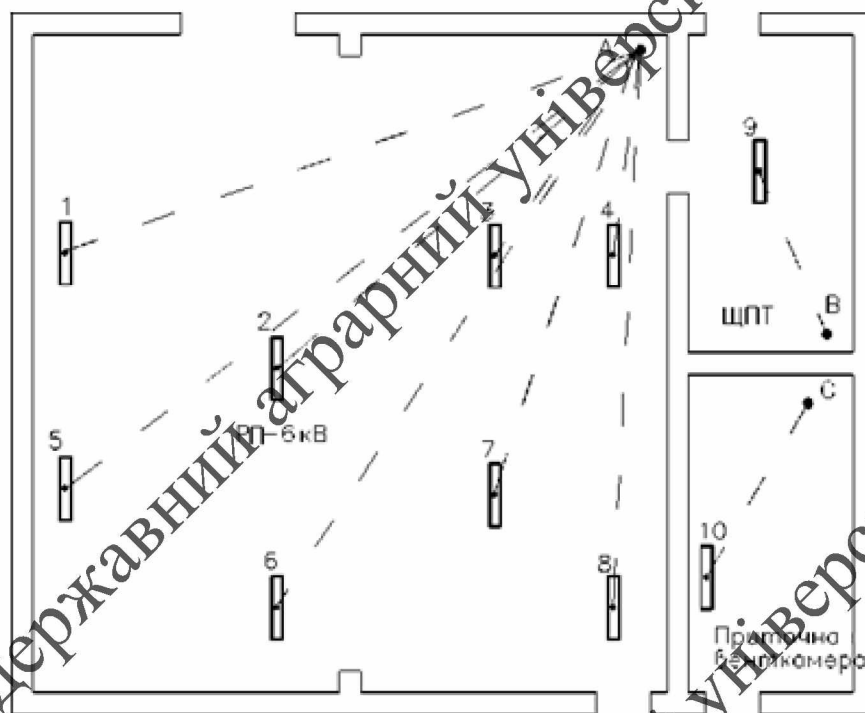


Рисунок 1.2 - План кімнати з розташуванням ламп і контрольних точок

Далі освітлення розраховується відповідно до таблиці [4] залежно від значень кута α та світлового потоку лампи $I_{\alpha(1000)}$:

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2} \quad (11)$$

Бажане освітлення від світлового флюсового світильника Φ_l :

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_l \cdot \mu}{1000 \cdot K_z} \quad (12)$$

де K_z — коефіцієнт запасу;

μ — це коефіцієнт додаткового освітлення, який враховує освітлення, створене від неврахованих ламп, стін і стелі (приймається 1,1...1,2).

					КРБ.141EE6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

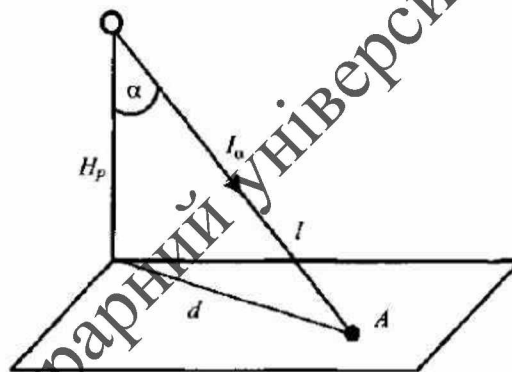


Рисунок 1.3 - Пояснення розрахунку освітленості від точкового джерела світла

Для аварійного освітлення мінімальне освітлення становить 0,5 люкс.

Відстань d від кожного світильника до контрольної точки А визначається графічно за масштабом.

Кут між напрямком і точкою проектування d_1 :

$$\alpha = \arctg\left(\frac{40}{3.5}\right) = 71^\circ.$$

Для кривих інтенсивності світла світлодіодних світильників (КСС типу Д згідно з таблицями [4] при $\alpha = 71^\circ$, яскрава інтенсивність $I_{a(1000)} = 134,3$ cd.

Значення освітлення для світлового потоку 1000 люкс для точки d_1 :

$$E_{(1000)} = \frac{134,3 \cdot 0,33^3}{3,5} = 0,395 \text{ лк.}$$

Значення освітлення в точці А від джерела d_1 при використанні світильника ДПП 11У-36-002 УЗ 36Вт IP65:

$$E = \frac{0,395 \cdot 3900 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1,4} = 1,21 \text{ лк.}$$

Освітлення в точці А від інших світильників розраховується аналогічним

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

способом. Результати розрахунків узагальнені у Таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок аварійного освітлення

Немає лампи	d , м	α , град	$I\alpha$, cd	$E_{(1000)}$, ЛК	E , ЛК
1	10	71	134,3	0,395	1,21
2	9	68	143,1	0,556	1,7
3	4	49	180	4,2	12,8
4	3	41	199	7,1	21,8
5	13	75	121	0,17	0,5
6	11	72	130	0,29	0,9
7	8	66	145	0,76	2,3
8	9	69	138	0,53	1,6
9	3	50	180	7,5	23
10	3	50	180	7,5	23

Повне освітлення на контрольних точках:

$$\Sigma E_{(A)} = E_{d1} + E_{d2} + \dots + E_{d8} = 1,21 + 1,7 + 12,8 + 21,8 + 0,5 + 0,9 + 2,3 + 1,6 = 42,8 \text{ ЛК}$$

$$\Sigma E_{(B)} = E_{d8} = 23 \text{ ЛК},$$

$$\Sigma E_{(C)} = E_{d9} = 23 \text{ ЛК}.$$

Загальне освітлення перевищує стандартизоване значення, тому світильник ДПП 11У-36-002 УЗ 36Вт IP65 такою компоновкою підходить для встановлення.

Кожен тип освітлення підключений до розподільчої мережі відповідного освітлювального щита ЩРО, ЩАО, встановленої у розподільчому обладнанні РП-6 кВ.

Мережа постачання щитів побудована відповідно до категорії I повного розподільного пристрою на 0,4 кВ, оснащений автоматичними вимикачами S2X, кабелями типу ВВГ. Розподільча мережа комутаційних щитів складається з кабелів типу ВВГнг – це силові мідні кабелі у ПВХ-ізоляції, які не поширюють горіння при груповій прокладці [5]. Він призначений для стаціонарної проводки, стійкий до вологи та пожежонебезпеки, ідеальний для житлових і промислових приміщень, дозволений для монтажу під штукатурку. Номінальна напруга: 660 В або 1000 В. (рисунок 1.4).

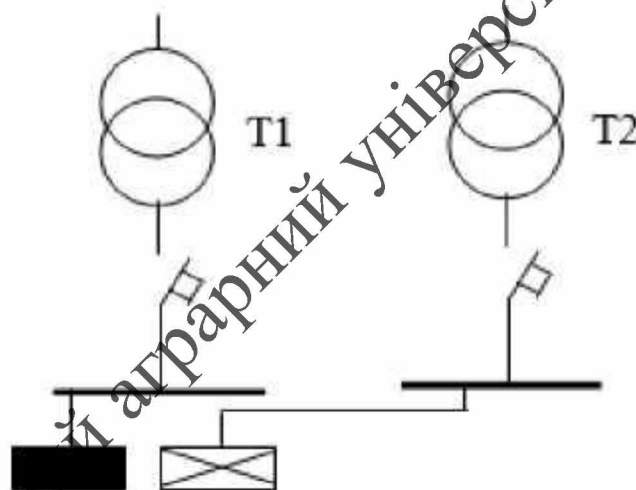


Рисунок 1.4. Схема живлення робочого та аварійного освітлення

Прокладка розподільчої мережі освітлювальних панелей здійснюється у пластикових коробках уздовж внутрішнього периметра підстанції. Для встановлення ламп і прокладання розподільчої мережі освітлювальних панелей між секціями підстанції РП-6 кВ використовувалося прокладання кабельних ліній. Кабель заземлений від існуючої заземлюючої петлі з двох сторін.

Заземлення освітлювальних панелей здійснюється вільним провідником кабелю живлення від існуючого заземлюючого контуру підстанції. Заземлення світильників здійснюється вільним провідним кабелем від панелі освітлення.

Як комутаторне обладнання для робочого та аварійного освітлення було прийнято шарнірний комутаційний щит для 6 модулів типу ЩРН-6-П УХЛЗ [6].

Спершу визначимо проєктні струми групових ліній.

Номінальні струми автоматичного вимикача $I_{ном.а}$ та його розчеплювача $I_{ном.р}$ обираються за такими умовами [4, 7, 8]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (13)$$

$$I_{ном.р} \geq I_p, \quad (14)$$

де I_p — це проєктний струм у захищеному колі, А.

Проєктна потужність освітлення:

$$P_{\text{осв}} = K_{\text{со}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot P_{\text{л}} \cdot N_R \cdot n_{\text{св}}, \quad (15)$$

де K_{co} — коефіцієнт попиту;

$K_{пра}$ — це коефіцієнт втрат ПРА;

P_L — це встановлена потужність ламп, W ;

N_R — кількість ламп;

$n_{св}$ — кількість ламп у світильнику.

Для розрахунку групової мережі робочого освітлення та всіх ланок мережі аварійного освітлення виробничих об'єктів, а також зовнішнього освітлення, коефіцієнт попиту вважається рівним одиниці.

Значення $K_{пра}$ вважається рівним:

1.0 — для ламп розжарювання та світлодіодних ламп;

1.1 — для ламп ДРЛ (Д — дугова, Р — ртутна, Л — люмінесцентна), ДРІ (металогазові лампи високого тиску для загального освітлення), ДНаТ (Д — дугова, Н — натрієва, Т — трубчаста);

1.2 — для люмінесцентних ламп (ЛЛ) із стартовим запусковим контуром;

1.3 — для ЛЛ з стартовою схемою без стартового гравця.

Проектні потоки мережі освітлення:

Для однофазних секцій:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{U_\phi \cdot \cos\varphi}. \quad (16)$$

Для двофазних секцій:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi}. \quad (17)$$

Для трифазних секцій:

$$I_{p(n)} = \frac{P_{p0} \cdot 10^3}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi_{cp}} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi_{cp}}, \quad (18)$$

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Струм навантаження в лінії живлення:

$$I_{p(n)} = \frac{P_{p0} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{cp}} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi_{cp}}, \quad (19)$$

$$\cos \varphi_{cp} = \frac{\sum \cos \varphi \cdot P_{p0}}{\sum P_{p0}}. \quad (20)$$

Початкові дані групових ліній наведені в Таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Обчислені дані групових ліній

Групова лінія	K_{co}	$K_{пра}$	$P_{л}$	N_R	$n_{св}$	$\cos \varphi$	Кількість фаз на групову лінію
РО гр.1	1	1	36	12	1	0,9	1
РО гр.2	1	1	36	2	1	0,9	1
АО гр.1	1	1	36	8	1	0,9	8
АО Гр.2	1	1	36	2	1	0,9	2

Зробимо розрахунок для ряду групи 1.

Розрахункова потужність ряду:

$$P_{p0} = 1 \cdot 1 \cdot 63 \cdot 12 \cdot 1 = 432 \text{ Вт}$$

Розрахунковий струм ряду:

$$I_p = \frac{432}{220 \cdot 0,9} = 2,18 \text{ А}$$

Візьмемо автоматичний вимикач типу ВА 47-29-1 з номінальним струмом $I_n = 16 \text{ А}$ [9].

Обчислення виконується так само для решти рядів і кімнат.

Результати розрахунків узагальнені у Таблиці 1.7. На основі результатів розрахунку обирається тип захисного автоматичного вимикача в панелях групового освітлення.

Групові лінії, які мають однофазне джерело живлення і підключені до фазової напруги, повинні розподілятися максимально рівномірно:

$$P_A = P_{PO_{gr1}} = 432 \text{ Вт};$$

$$P_B = P_{PO_{gr2}} = 72 \text{ Вт};$$

$$P_C = 0 \text{ Вт}.$$

У випадку нерівномірного навантаження фаз вважається, що проєктне активне навантаження на лінію дорівнює втричі більшому за навантаження найзавантаженішої фази:

$$P_{ЩРО} = 3 \cdot P_A = 3 \cdot 432 = 1296 \text{ Вт}.$$

Струм щита ЩРО:

$$I_{p(ЩРО)} = \frac{1296}{3 \cdot 220} = 2,18 \text{ А}.$$

Для лінії аварійного освітлення виконується розрахунок аналогічно. Результати розрахунків і вибору машин узагальнені у Таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунків групових і ліній постачання

Групова лінія	$P_{p0}, \text{ Вт}$	$I_p, \text{ А}$	Кількість і тип автомата	$I_{ном.а}, \text{ А}$	$I_{ном.р}, \text{ А}$
РО гр.1	432	2,18	ВА-47-29-1	63	2,5
РО гр.2	72	0,36	ВА-47-29-1	63	2,5
АО гр.1	288	1,45	ВА-47-29-1	63	2,5
АО гр.2	72	0,36	ВА-47-29-1	63	2,5
ЩРО	1296	2,18	-	-	-
ЩАО	864	1,45	-	-	-

Загалом момент навантаження обчислюється за формулою:

$$M = P_{p0} \cdot L, \quad (21)$$

де P_{p0} — це проєктне навантаження;

L — довжина секції, м.

Якщо група світильників однакової потужності підключена до лінії з рівними інтервалами:

$$L = L_1 + \frac{L_2 \cdot (N_R - 1)}{2}, \quad (22)$$

де L_1 — це відстань від панелі освітлення до першого світильника, м.

Для лінії, показаної на рисунку 1.5, загальний момент навантаження дорівнює:

$$M = (P_1 + P_2 + P_3) \cdot L_1 + (P_2 + P_3) \cdot L_2 + P_3 \cdot L_3. \quad (23)$$

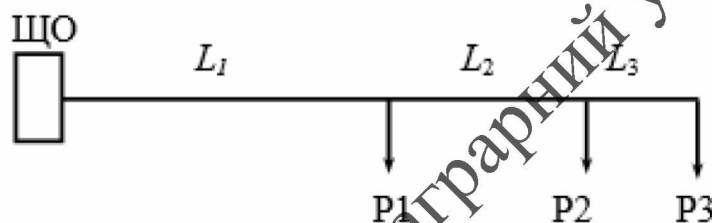


Рисунок 1.5 – Схема групової лінії освітлення.

Для мережі складної конфігурації заданий момент визначається як:

$$M_{np} = \Sigma M + \alpha \Sigma m, \quad (24)$$

де ΣM — сума моментів заданого та всіх наступних секцій у напрямку струму з такою ж кількістю дротів у лінії, що й у цьому розділі, Вт/м;

Σm — це сума моментів, що подаються через заданий відрізок лінії з іншою кількістю дротів, ніж на заданій обчисленій ділянці, Вт/м;

α — коефіцієнт приведення моментів [4].

Момент навантаження для лінії гр.1:

$$M = 36 \cdot 12 \cdot 27 + 36 \cdot 9 \cdot 4 + 36 \cdot 6 \cdot 4 + 36 \cdot 3 \cdot 6 = 14472 \text{ Вт/м.}$$

Для решти ліній обчислення здійснюється аналогічно згідно з виразами (21) – (24). Результати розрахунків узагальнені у Таблиці 1.8.

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Довготривалі допустимі струми провідників освітлювальної мережі визначаються за умовою:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p / K_n \quad (25)$$

де $I_{\text{дон}}$ — довгостроковий допустимий струм провідника А;

I_p — це проєктне значення струму навантаження, А;

K_n — це корекційний коефіцієнт для умов закладання.

Механічна міцність забезпечується використанням дротів і кабелів, алюмінієві провідники яких мають бути не менше 2,5 мм² у поперечному перерізі, а мідні — не менше 1,5 мм².

Допустиме значення втрат напруги в мережі освітлення:

$$\Delta U_{\text{дон}} = U_{xx} - U_{\text{min}} - \Delta U_T \quad (26)$$

де U_{xx} — номінальна напруга на розмитому ланцюгу трансформатора (105%);

U_{min} — мінімально допустима напруга на найвіддаленіших лампах (приймається 95%);

ΔU_T — втрата напруги в трансформаторі, %.

Втрати напруги трансформатора:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{KA} \cdot \cos \varphi + U_{KP} \cdot \sin \varphi), \quad (27)$$

де β_T — коефіцієнт навантаження трансформатора;

U_a та U — активні та реактивні компоненти напруги короткого замикання трансформатора, %.

Активний опір обмоток трансформатора:

$$U_{KA} = \frac{P_K \cdot 100}{S_T} \quad (28)$$

де P_K — втрата на коротке замикання трансформатора, кВт;

S_T — це номінальна потужність трансформатора, кВА.

Реактивний опір обмоток трансформатора:

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$U_{KP} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_{\kappa a}^2}, \quad (29)$$

де U_K — напруга короткого замикання, %.

Заданий момент завантаження для живлення ЩРО:

$$M_{\text{ЩРО}} = 1,296 \cdot 20 = 26 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Необхідний переріз провідника за умови допустимих втрат напруги:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (30)$$

де C — коефіцієнт, визначений залежно від системи напруги, мережі та матеріалу провідника [4].

Знайдений поперечний переріз округляється до стандартно більшого значення, тоді обчислюється фактичне значення втрат напружень на цьому перерізі:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{M}{c \cdot F}. \quad (31)$$

Наступні ділянки обчислюються аналогічно за втратою напруги:

$$\Delta U_{\text{до}} = \Delta U_{\text{д}} + \Delta U_{\phi}. \quad (32)$$

Узгодженість поперечного перерізу провідника зі струмом вставки захисного апарату здійснюється відповідно до таких умов:

					КРБ.141EE60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$I_{доп} \geq I_{ном.з} \geq I_{\text{з}} \quad (33)$$

де $I_{ном.з}$ — номінальний струм захисного пристрою (лінія запобіжника, теплового або комбінованого автоматичного вимикача), А.

Відповідно до передумов завдання на проектування, виробничий цех живиться від підстанції з двома трансформаторами. На підстанції встановлено два трансформатори ТСЛ 100/6 з паспортними даними: $P_k = 2,1$ кВт; $U_k = 6\%$ [10] виробництва АО «Кентауский трансформаторный завод» (Казахстан). Рисунок 1.6. Трансформатори працюють з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi = 0,86$ і коефіцієнтом навантаження $\beta \approx 0,5$

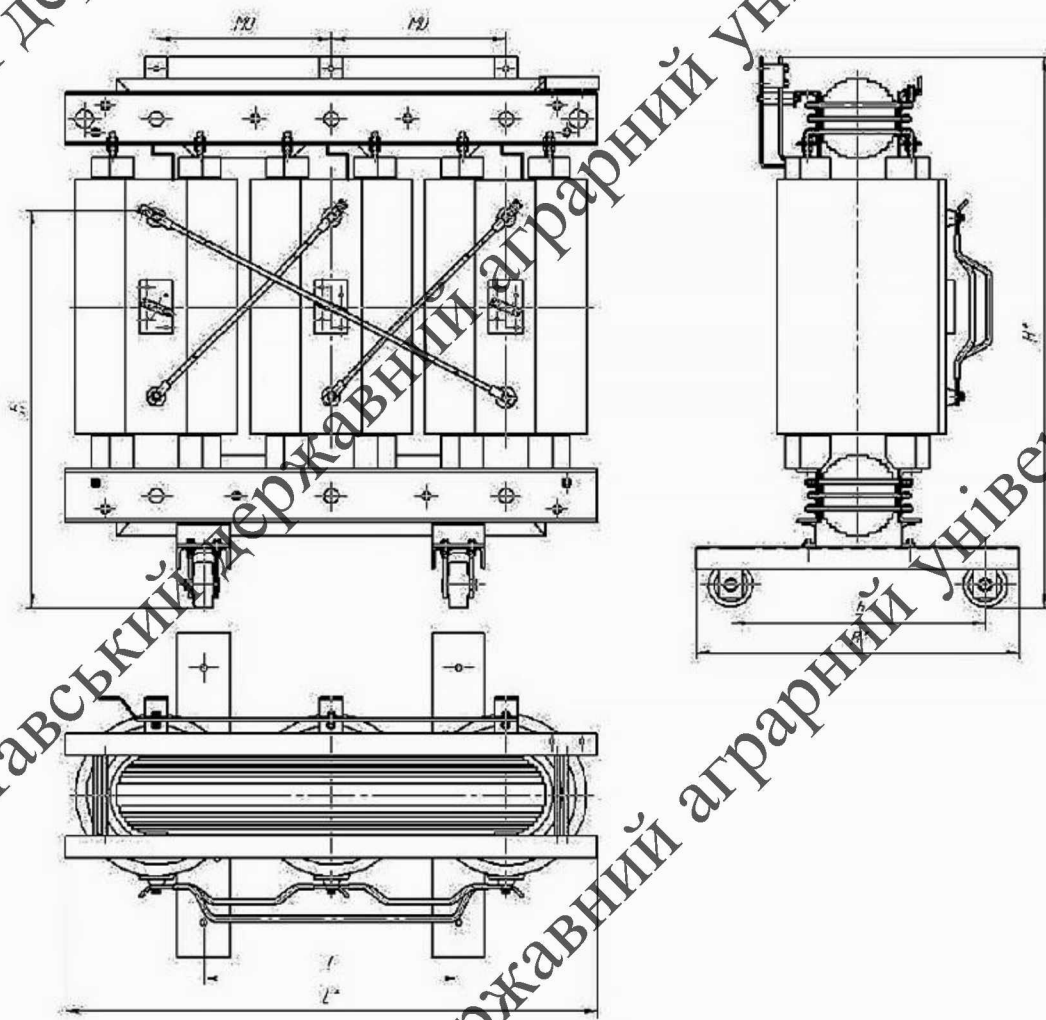


Рисунок 1.6 – Схематичне зображення будови трансформатора ТСЛ 100/6.

Визначимо втрату напруги в трансформаторі та допустиму втрату напруги за допомогою виразів (26), (29):

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$U_{KA} = \frac{2,1 \cdot 100}{100} = 2,1\%;$$

$$U_{KP} = \sqrt{6^2 - 2,1^2} = 5,6\%;$$

$$\Delta U_T = 0,5 \cdot (2,1 \cdot 0,86 + 5,6 \cdot 0,51) = 2,33\%;$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 10 - 2,33 = 7,67\%.$$

Необхідний переріз провідника для лінії живлення ЦРО відповідно до умови допустимої втрати напруги (30):

$$F = \frac{26}{72 \cdot 7,67} = 0,05 \text{ мм}^2;$$

Ми обираємо перерізи для ВВГ проводів – 4 мм² з довгостроковим дозволим *струмом* $I_{\text{доп}} = 35 \text{ A}$.

Перевірка перерізу за умовою допустимого струму (25):

$$35 > 2,18/1$$

Перевірка поперечного перерізу матеріалу провідника на відповідність струму захисного пристрою (33):

$$35 > 8$$

Отже, для укладання вибираємо кабель ВВГ 3х4 та ВВГ 3х2.5 (Запоріжжя) [11].

Фактичне значення втрати напруги в лінії живлення та допустимої втрати напруги в групових лініях відповідно:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{26}{72 \cdot 4} = 0,1\%;$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 7,67 - 0,1 = 7,57\%.$$

Секції вибираються однаково для решти ліній.

Результати наведені у Таблиці 1.8.

					КРБ.141EE60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 1.8 – Вибір перерізів дроту

Групові лінії	Вибір за допустимим падінням напруги				Відбір за тривалим допустимим струмом		Вибір захисного пристрою за номінальним струмом		Прийнятий перетин		
	M , кВт·м	c	$\Delta U_{\text{доп}}$, %	F (ΔU), мм ²	I_P , А	F ($I_{\text{доп}}$), мм ²	I_{HP} , А	F (I_{HP}), мм ²	F , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU_{Φ} , %
ЩРО	26	72	7,67	0,05	2,18	2,5	8	2,5	4	35	0,1
ЩАО	17,3	72	7,67	0,03	1,45	2,5	8	2,5	4	35	0,1
РО гр.1	14,4	12	7,57	0,16	2,18	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,9
РО гр.2	8,2	12	7,57	0,02	0,36	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,35
АО Гр.1	13,2	12	7,57	0,15	1,45	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,55
АО Гр.2	8,3	12	7,57	0,03	0,36	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,35

КРБ.141ЕЕ60_31[1].11.00.00.000 ПЗ

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

28

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ПІДСТАНЦІЇ

2.1 Визначення орієнтовного електричного навантаження власних потреб. Вибір допоміжних трансформаторів

Склад допоміжних споживачів для власних потреб залежить від типу підстанції, потужності силових трансформаторів та типу електрообладнання, що використовується. Потужність власних потреб досить низька, тому вони підключені до мережі 380/220 В, яка отримує живлення від понижуючих трансформаторів.

Перед визначенням навантажень необхідно обрати коефіцієнт використання K_B для кожного електричного приймача, який залежить від характеристичної категорії електричного приймача і є еталонним значенням або застосовується на основі виробничої практики.

Складемо список електричних приймачів власних потреб (таблиця 2.1), який узагальнює всі розраховані дані електричного приймача.

Таблиця 2.1 – Список електричних приймачів власних потреб

Скорочена назва	Назва приймача власних потреб	P_H , кВт	$\cos\varphi$	K_B
1	2	3	4	5
П-1	Приточний вентилятор	5,5	0,8	0,8
П-1А	Приточний запасний вентилятор	5,5	0,8	0,8
О-1	Освітлення релейного відсіку 6 кВ	5	0,9	0,3
О-2	Освітлення релейного відсіку 6 кВ	5	0,9	0,3
М-1	Щогла прожектора М-1	4	0,85	0,4
М-2	Щогла прожектора М-2	4	0,85	0,4
М-3	Щогла прожектора М-3	4	0,85	0,4
М-4	Щогла прожектора М-4	4	0,85	0,4
ЩРО	Щит робочого освітлення	1,3	0,9	0,2
ЩАО	Щит аварійного освітлення	0,86	0,9	0,2
ЩПС-1	Щит постійного струму. Вхід 1	15	0,83	1
ЩПС-2	Щит постійного струму. Вхід 2	15	0,83	1
ЗО-1	Зовнішнє освітлення	5	0,9	0,4
ЗО-2	Зовнішнє освітлення	5	0,9	0,4
ШОТ	Шафа охолодження трансформатора	10	0,85	0,3
ШПП	Шафа нагріву приводів вимикачів 35 кВ	6	0,9	0,3
БКЕ	Блок керування електрокалорифером	50	0,9	0,6

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Електричні навантаження електричних приймачів до 1 кВ розраховуються для кожного блоку живлення, а також для майстерні загалом.

Для електродвигунів із повторюваним короткостроковим режимом роботи номінальна потужність не знижується до безперервного режиму ($BV = 100\%$).

Проектне активне навантаження групи електричних приймачів ($n > 1$) визначається виразом:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{ui} \cdot P_{ui}, \quad (34)$$

де K_p — це проектний коефіцієнт навантаження.

Значення K_p визначається залежно від ефективної (зменшеної) кількості електричних приймачів групи n_e та коефіцієнта використання групи [12].

Значення n_e називається ефективною (зменшеною) кількістю електричних приймачів, які визначають те саме значення проектного навантаження, що й група електричних приймачів різної потужності та режиму, визначеної формулою:

$$n_e = \frac{(\sum P_{ui})^2}{\sum n \cdot P_{ui}^2}. \quad (35)$$

Груповий коефіцієнт використання групи електричних приймачів або цехового обладнання визначається формулою:

$$K_u = \frac{\sum P_{ui} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ui}} \quad (36)$$

Розрахункова потужність реактивного навантаження:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_{ui} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_e \leq 10, \quad (37)$$

$$Q_p = \sum P_{ui} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_e > 10, \quad (38)$$

де $\operatorname{tg} \phi_i$ — середній коефіцієнт потужності i -го електричного приймача.

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Розрахункова потужність реактивного навантаження для магістральних шини, на шинах трансформаторних підстанцій цехів, а також для цехів, та підприємства загалом:

$$Q_p = K_p \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i. \quad (39)$$

Розрахунковий струм навантаження:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (40)$$

Розрахуємо навантаження для секції 1. Ефективне число електричних приймачів:

$$n_1 = \frac{(5,5 + 5 + 4 + 4 + 1,3 \cdot 15 + 5 + 10 + 50)^2}{5,5^2 + 5^2 + 4^2 + 4^2 + 1,3^2 \cdot 15^2 + 5^2 + 10^2 + 50^2} \approx 3,4.$$

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{5,5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 + 1,3 \cdot 0,2 + 15 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,6}{5,5 + 5 + 2 \cdot 4 + 1,3 + 15 + 5 + 10 + 50} = 0,59$$

Коефіцієнти проектного навантаження K_p . При $n_1 = 3,4$ та $K_u = 0,59$, $K_p = 1,04$.

Розрахункова потужність групи:

$$P_{\Sigma} = 1,04 \cdot (5,5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 + 1,3 \cdot 0,2 + 15 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,6) = 61,7 \text{ кВт.}$$

Оскільки ефективна кількість електричних приймачів $n_e \leq 10$, то реактивне навантаження визначається виразом 37:

$$Q_p = 1,1 \cdot (5,5 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 5 \cdot 0,3 \cdot 0,48 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 0,48 + 1,3 \cdot 0,2 \cdot 0,48 + 15 \cdot 1 \cdot 0,67 + 5 \cdot 0,4 \cdot 0,48 + 10 \cdot 0,3 \cdot 0,62 + 50 \cdot 0,6 \cdot 0,48) = 36,5 \text{ квар.}$$

Розрахунок навантажень для інших вузлів для підстанції загалом здійснюється аналогічним способом. Результати розрахунків навантаження наведені у Таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення навантажень власних потреб

Вхідні дані							Розрахунки					Розрахунки.				
за вказівками технологів				Згідно з посиланнями.			$K_u P_n$	$K_u P_n \cdot \lg \varphi$	$n \cdot P_n$	m	K_p	$P_{P, \text{кВт}}$	$S_{P, \text{квар}}$	$S_{P, \text{кВА}}$	$I_P, \text{А}$	
Назва споживачів	К-ть спож. н. шт.	Номинальна потужність, кВт		k_u	коеф. потужності											
		одного P_n	загал. $P_n = n \cdot P_n$		$\cos \varphi$	$\lg \varphi$										
Секція 1																
П-1	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-	
О-1	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-	
М-1	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-	
М-2	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-	
ЩРО	1	1,3	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,13	1,7	-	-	-	-	-	-	
ЩПС -1	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,1	225	-	-	-	-	-	-	
ЗО-1	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-	
ШОТ	1	10	10	0,3	0,85	0,62	3	1,86	100	-	-	-	-	-	-	
БКЕ	1	50	50	0,6	0,9	0,48	30	14,53	2500	-	-	-	-	-	-	
Разом	-	-	99,8	0,59	0,87	0,56	59,36	33,14	2934	3,4	1,04	61,7	36,5	71,7	108,9	
Секція 2																
П-2	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-	
О-2	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-	
М-3	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-	
М-4	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-	
ЩАО	1	0,86	0,86	0,2	0,9	0,48	0,17	0,08	0,7	-	-	-	-	-	-	
ЩПС -2	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-	
ЗО-2	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-	
ШПП	1	6	6	0,3	0,9	0,48	1,8	0,87	36	-	-	-	-	-	-	
Разом	-	-	45,4	0,62	0,85	0,63	28,07	17,58	374	5,5	0,93	26,1	19,3	32,5	49,4	
ВП																
П-1(П-1А)	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-	
О-1	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-	
О-2	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-	
М-1	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-	
М-2	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-	
М-3	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-	
М-4	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-	
ЩРО	1	1,3	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,13	1,7	-	-	-	-	-	-	
ЩАО	1	0,86	0,86	0,2	0,9	0,48	0,17	0,08	0,7	-	-	-	-	-	-	
ЩПС -1	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-	
ЩПС -2	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-	
ЗО-1	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-	
ЗО-2	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-	
ШОТ	1	10	10	0,3	0,85	0,62	3	1,86	100	-	-	-	-	-	-	
ШПП	1	6	6	0,3	0,9	0,48	1,8	0,87	36	-	-	-	-	-	-	
БКЕ	1	50	50	0,6	0,9	0,48	30	14,53	2500	-	-	-	-	-	-	
Разом	-	-	139,66	0,59	0,86	0,58	83,03	48,29	3283	5,9	0,92	76,4	28,1	81,4	123,7	

КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

32

На підстанціях використовується режим прихованої резервності, тобто кожен трансформатор вибирається на повну потужність власних потреб, а в нормальному режимі він працює з половиною навантаженням, і якщо один з них вийде з ладу, інший несе повне навантаження.

Оберемо допоміжний трансформатор:

$$S_{\text{ном.тр}} \geq S_{\text{расч}} = 81,4 \text{ кВА.}$$

Для встановлення ми приймаємо сухий трансформатор з потужністю 100 кВА.

2.2 Розрахунок розподільчої мережі власних потреб

Перелік допоміжних приймачів живлення наведено у Таблиці 9. Визначимо проектні струми в розподільчих лініях. Цей розрахунок необхідний для вибору комутаторів, захисних пристроїв, а також перерізів провідників.

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}. \quad (41)$$

Пусковий струм:

$$I_{\text{пуск}} = I_p \cdot K_n, \quad (42)$$

де K_n — кратність пускового струму, визначена відповідно до паспортних даних електричного приймача.

Для прикладу, визначимо проект і пускові струми живлення вентилятора П-1:

$$I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 9,9 \text{ А;}$$

$$I_n = 9,9 \cdot 6 = 59,5 \text{ А.}$$

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Для решти приймачів обчислення здійснюється аналогічним способом
Результати розрахунків і стартових струмів наведені в Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Список електричних приймачів власних потреб

№	Назва цифрового підпису	P_h , кВт	$\cos\varphi$	CP	I_P , А	I_n , А
П-1	Приточний вентилятор	5,5	0,8	6	9,9	59,5
П-1А	Приточний запасний вентилятор	5,5	0,8	6	9,9	59,5
О-1	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного обладнання	5	0,9	1	8	-
О-2	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного обладнання	5	0,9	1	8	-
М-1	Щогла прожектора М-1	4	0,85	1	6,8	-
М-2	Щогла прожектора М-2	4	0,85	1	6,8	-
М-3	Щогла прожектора М-3	4	0,85	1	6,8	-
М-4	Щогла прожектора М-4	4	0,85	1	6,8	-
ШРО	Щит робочого освітлення	1,3	0,9	1	2,1	-
ШАО	Щит аварійного освітлення	0,86	0,9	1	1,4	-
ЩПС-1	Щит постійного струму. Вхід 1	15	0,83	1	26,1	-
ЩПС-2	Щит постійного струму. Вхід 2	15	0,83	1	26,1	-
ЗО-1	Зовнішнє освітлення	5	0,9	1	8	-
ЗО-2	Зовнішнє освітлення	5	0,9	1	8	-
ШОТ	Шафа охолодження трансформатора повітряного потоку	10	0,85	6	17	101,9
ШПП	Шафа нагріву приводів вимикачів 35 кВ	6	0,9	1	9,6	-
БКЕ	Блок керування електрокалорифером	50	0,9	1	80,2	-

Для допоміжних приймачів живлення передбачимо повноцінну трансформаторну підстанцію КТП-2×100 кВА від СНС з технологією висувних модулів типу MNS [13]. Підстанція однорядна з сухими трансформаторами типу TESAR (виробництва Італії) [14].

Умови вибору номінальних струмів автоматичного вимикача та блоку спрацьовування:

$$I_{ном..a} \geq I_P, \quad (43)$$

$$I_{ном..p} \geq I_P. \quad (44)$$

Струм спрацьовування електромагнітного розчеплювача налаштовується відповідно максимального струму лінії:

$$I_{сп..р} \geq k \cdot I_{пик}, \quad (45)$$

де k — коефіцієнт дисперсії захисних характеристик, приймаємо $k = 1,25$.

Струм спрацьовування автоматичного вимикача:

$$I_{сп..р} = K_{св} \cdot I_{ном.р}, \quad (46)$$

де $K_{св}$ — кратність струму відсікання.

Виходячи з усіх описаних умов, ми зробимо вибір пристроїв захисту розподільчої лінії. Модулі серії АВВ використовують автоматичні вимикачі типу S2X [15]. Вибір захисних пристроїв наведено у Таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір захисних пристроїв

Ні в плані	Назва захищеного об'єкта (лінія)	I_p , А	$I_{пуск}$, А	Тип вимикача	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.л}$, А	$I_{сп.р}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8
П-1	Приточний вентилятор	9,9	59,5	S2X80	80	12,5	125
П-1А	Приточний запасний	9,9	59,5	S2X80	80	12,5	125
О-1	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного	8	8	S2X80	80	10	100
О-2	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного	8	8	S2X80	80	10	100
М-1	Щогла прожектора М-1	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-2	Щогла прожектора М-2	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-3	Щогла прожектора М-3	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-4	Щогла прожектора М-4	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
ШРО	Щит робочого освітлення	2,1	2,1	S2X80	80	8	80
ЩАО	Щит аварійного освітлення	1,4	1,4	S2X80	80	8	80
ЩПС-1	Щит постійного струму. Вхід 1	26,1	26,1	S2X80	80	32	320
ЩПС-2	Щит постійного струму. Вхід 2	26,1	26,1	S2X80	80	32	320

КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
ЗО-1	Зовнішнє освітлення	8	8	S2X80	80	10	100
ЗО-2	Зовнішнє освітлення	8	8	S2X80	80	10	100
ШОТ	Шафа охолодження трансформатора	17	101,9	S2X80	80	25	250
ШПП	Шафа нагріву приводів вимикачів 35 кВ	9,6	9,6	S2X80	80	10	100
БКЕ	Блок керування електрокалорифером	80,2	80,2	S2X100	100	100	1000

Магнітні контактори обираються відповідно до умови:

$$I_{ном.п} \geq I_p, \quad (48)$$

де $I_{ном.п}$ — номінальний струм контактора, А.

Умова контактора з тепловим реле:

$$I_{ном.т} \geq I_{ном}, \quad (49)$$

$$I_{min} < I_p < I_{max}, \quad (50)$$

де $I_{ном.т}$ — номінальний струм теплового реле А;

I_{min} та I_{max} — обмеження для регулювання теплового струму відмови реле, А.

Проведемо вибір магнітний контактора із тепловим реле для приточного

$$I_{ном.п} \geq 9,9 \text{ А.}$$

вентилятора П-1. Визначимо номінальний струм магнітного контактора відповідно до умов (48):

Ми приймаємо магнітний стартер типу AX18-30 фірми ABB з номінальним струмом $I_{ном.п.} = 18 \text{ А}$ [16]. Реле TA25DU14M з діапазоном установки 10... 14А [17].

Для інших електричних приймачів вибір контакторів здійснюється аналогічним способом. Результати відбору узагальнені у Таблиці 2.5.

КРБ.141EE60_31[1].11.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	36

Таблиця 2.5 – Вибір магнітних контакторів

Назва	Назва об'єкта	I_P , А	Контактор		Теплове реле		
			Тип	$I_{ном.п}$, А	Тип	I_n , А	Межі регулювання, А
П-1, П-1А	Вентилятор живлення	9,9	АХ18-30	18	ТА25ДУ14М	25	10-14
М-1, М-2, М-3, М-4	Щогла прожекторів	6,8	АХ12-30	12	-	-	-

Для силових мереж із кабельного провідника та мідних провідних жил, мінімальний переріз становить 2,5 мм².

Відповідно до допустимого нагрівання, перерізи кабелю обираються відповідно до умов:

$$I_{доп} \geq I_p / K_n \quad (51)$$

де $I_{доп}$ — довгостроковий допустимий струм кабелю, А;

K_n — це корекційний коефіцієнт для фактичних умов укладання дротів та кабелів.

Для електричних мереж до 1 кВ коефіцієнт корекції K_n визначається як:

$$K_n = K_1 \cdot K_2, \quad (52)$$

де K_1, K_2 — це коефіцієнти, які враховують фактичну температуру навколишнього середовища та кількість спільно прокладених провідників

Узгодження поперечного перерізу матеріалу провідника із заданим струмом захисного апарату виконується відповідно до умови:

$$I_{доп} \geq I_{ном.з} \quad (53)$$

де $I_{ном.з}$ — номінальний струм захисного пристрою (плавкої вставки запобіжника, теплового або комбінованого автоматичного вимикача), А.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			37

Для розподільчих ліній ми приймаємо кабелі марки ВВГ [18]. Кабелі до електричних приймачів будуть прокладені на кабельні лотки, розташовані під підлогою.

Визначимо переріз кабелю вентилятора живлення П-1.

Допустимий струм нагрівання кабелю:

$$I_{доп} > 3,8/(1 \cdot 1) = 9,9 \text{ A.}$$

Узгодження поперечного перерізу провідника з установленим струмом захисного пристрою:

$$I_{доп} > 12,5 \text{ A.}$$

Відповідно до ДСТУ 9324 - 2025 Настанова щодо проєктування систем електропостачання промислових підприємств, обираємо кабель ВВГ 4×2,5 з $I_{доп}$ 25 А [19].

Для інших електричних приймачів кабель обирається так само. Результати вибору кабелів узагальнені у Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір кабелів для електричних приймачів

Скорочена назва	Назва захищеного об'єкта (лінії)	I_P , А	K_1	K_2	$I_{ном.р.}$, А	Марка кабелю та поперечний переріз	$I_{доп}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8
П-1	Приточний вентилятор	9,9	1	1	12,5	ВВГ 4×2.5	25
П-1А	Приточний запасний вентилятор	9,9	1	1	12,5	ВВГ 4×2.5	25
О-1	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного	8	1	1	10	ВВГ 4×2.5	25
О-2	Освітлення релейного відсіку 6 кВ розподільного	8	1	1	10	ВВГ 4×2.5	25
М-1	Щогла прожектора М-1	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
М-2	Щогла прожектора М-2	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
М-3	Щогла прожектора М-3	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
М-4	Щогла прожектора М-4	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
ШРО	Щит робочого освітлення	2,1	1	1	8	ВВГ 5×4	25
ЩАО	Щит аварійного	1,4	1	1	8	ВВГ 5×4	25

Продовження таблиці 2.6

ЩПС-1	Щит постійного струму. Вхід 1	26,1	1		32	ВВГ 4×4	35
ЩПС-2	Щит постійного струму. Вхід 2	26,1	1	1	32	ВВГ 4×4	35
ЗО-1	Зовнішнє освітлення	8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
ЗО-2	Зовнішнє освітлення	8	1	1	10	ВВГ 5×2.5	25
ШОТ	Шафа охолодження трансформатора	17	1	1	25	ВВГ 4×4	35
ШПП	Шафа нагріву приводів вимикачів 35 кВ	9,6	1	1	10	ВВГ 4×2.5	25
БКЕ	Блок керування електрокалорифером	80,2	1	1	100	ВВГ 4×35+1×16	120

3. ВИБІР СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЖИВЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Основними споживачами підстанції є трансформаторні підстанції різних технологічних установок, високовольтні насоси, споживачі напруги 6 кВ. Відповідно до завдання, ми маємо дві секції на стороні 6 кВ, з номінальною потужністю 5500 кВА.

Визначимо проєктні струми в лініях живлення та розподілу. Цей розрахунок необхідний для вибору перерізу провідника, а також для вибору енергетичного обладнання підстанції.

Отже, для трансформаторних підстанцій проєктований струм і струм у післяаварійному режимі:

$$I_{p(III)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (54)$$

$$I_{p(IV)} = 1,2 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (55)$$

Проєктний струм у лінії до підстанції в нормальному режимі можна визначити за її проєктною потужністю. У післяаварійному режимі, коли один із входів відключено, а інший несе все навантаження, проєктний струм в лінії до підстанції дорівнює сумі потужностей двох секцій (для двосекційної підстанції). Струм від проєктної лінії до розподільчого пункту у нормальних та післяаварійних режимах:

$$I_{p(PII)} = \frac{S_{PIIc}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (56)$$

$$I_{pa(PII)} = \frac{\Sigma S_{PII}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (57)$$

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Проектний струм ліній живлення підстанцій у нормальному та післяаварійному режимах на стороні 6 кВ відповідно за виразами (56) та (57):

$$I_{p(PT1c)} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 504 \text{ A};$$

$$I_{p(PT2c)} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 504 \text{ A};$$

$$I_{pa(PT)} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1008 \text{ A}.$$

Номінальна потужність трансформаторів живлення визначається відповідно до умов:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{n \cdot \beta_T} \quad (58)$$

де S_p – це проектна ємність загального навантаження;

n – кількість трансформаторів;

β_T – коефіцієнт навантаження трансформатора. Для двотрансформаторної підстанції $\beta_T = 0,6-0,7$.

При використанні двох або більше трансформаторів умовою розрахунку є вихід з ладу одного з трансформаторів, тоді як трансформатори, що залишаються в робочому стані, враховуючи аварійне перевантаження, повинні передавати всю необхідну потужність:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{k_{нав} \cdot (n-1)} \quad (59)$$

де $k_{нав}$ – це аварійний коефіцієнт перевантаження трансформаторів. Для трансформаторів, занурених у масло, вважається, що він дорівнює 1,4.

Визначимо номінальну потужність трансформаторів живлення спроектованої підстанції:

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$S_{ном.тр} = \frac{11000}{2 \cdot 0,6} = 9167 \text{ кВА};$$

$$S_{ном.тр} \geq \frac{11000}{1,4} = 7857 \text{ кВА}.$$

Згідно з проєктними даними, ми приймаємо для встановлення 2 трансформатори типу ТДН-10000/35/6.6 – це трифазний масляний силовий трансформатор потужністю 10000 кВ·А, призначений для зниження напруги з 35 кВ до 6,6 кВ. Він оснащений системою охолодження з обдуванням (примусовою циркуляцією повітря) та пристроєм регулювання напруги під навантаженням (РНПН).

Проектний струм ліній живлення підстанції у нормальному та післяаварійному режимі на стороні 35 кВ:

$$I_{p(110кВ)} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 165 \text{ А};$$

$$I_{ра(110кВ)} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 231 \text{ А}.$$

Відповідно до проведених розрахунків електричних навантажень станції, а також вибору трансформаторів живлення електростанції, до встановлення було прийнято 2 трансформатори типу ТДН-10000/35/6.6.

На основі розрахунку електричних навантажень і струмів короткого замикання здійснюватиметься вибір кабельних ліній та електрообладнання підстанції.

Струми короткого замикання в установках понад 1000 В розраховуються відповідно до рекомендацій ПУЕ [12].

Діюче значення періодичної складової струму короткого замикання в початковий момент часу у відносних і іменованих одиницях відповідно:

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$I_{n0*} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}}; \quad (60)$$

$$I_{n0} = I_{n0*} I_{\delta},$$

де E_{Σ} – це загальне значення джерел ЕРС у точці короткого замикання, відносні одиниці;

X_{Σ} – це загальний опір гілки в точці короткого замикання, відносні одиниці;

I_{δ} – це базовий струм, А.

Базисний струм обчислюється наступним виразом:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}, \quad (62)$$

де S_{δ} — базова потужність, МВА;

U_{δ} — це базова напруга, кВ.

Коротке замикання ударного струму:

$$I_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y\delta}, \quad (63)$$

де $K_{y\delta}$ — ударний коефіцієнт.

Імпульс квадратичного струму:

$$B_k = I_{n0}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (64)$$

де $t_{отк}$ — час дії захисту (залежить від селективності захисту енергетичної системи);

T_a — це часова константа.

Час відключення лінії 35 кВ (рисунок 3.1) приймаємо $t_{відкл} = 0,8$ с, час відключення входу комутатора РУ-6 кВ = 0,4 с. Час відключення вихідних фідерів $t_{відкл} = 0,2$ с.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

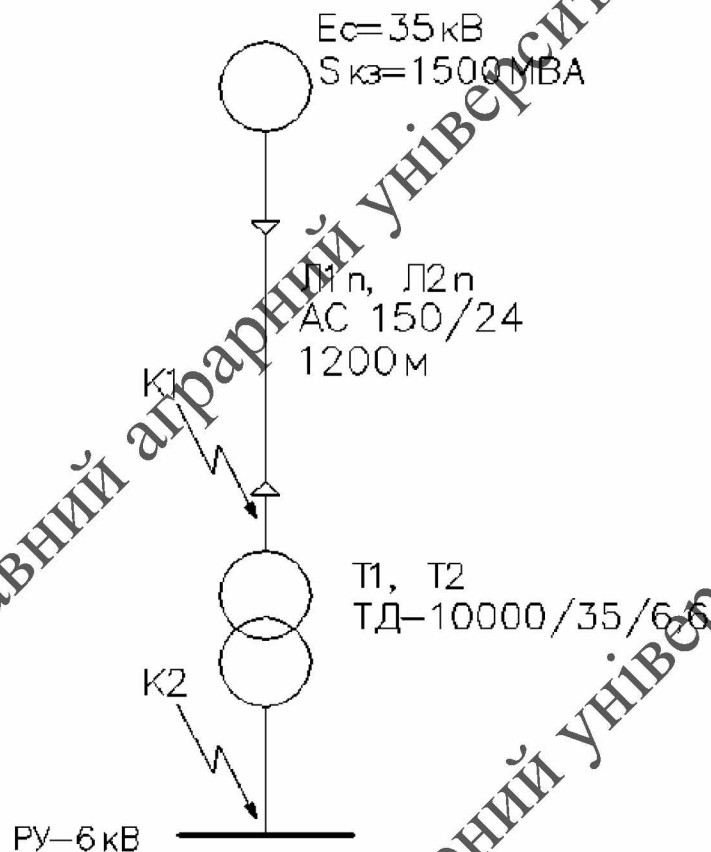


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема секції мережі

Розрахунок буде виконаний у відносних одиницях з приблизним зведенням до базового ступеня, тому ми виберемо як базові одиниці $S_б = 100 \text{ МВА}$, $U_{б1} = 35 \text{ кВ}$, $U_{б2} = 6,3 \text{ кВ}$.

Базисні струми для кожного ступеня:

$$I_{б1} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 1650 \text{ А}$$

$$I_{б2} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3} = 9164 \text{ А}$$

Далі необхідно розробити схему заміни мережі з урахуванням параметрів проектування елемента. Електричні опори трансформатора, системи та лінії передачі електроенергії у відносних одиницях:

					КРБ.141ЕЕ60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$X_T^* = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\theta}}}{S_{ном.тр.}} \quad (65)$$

$$X_c^* = \frac{S_{\bar{\theta}}}{S_{кз.с.}} \quad (66)$$

$$Z_L = \frac{S_{\bar{\theta}}}{U_{\bar{\theta}}^2}, \quad (67)$$

де $U_{k\%}$ — напруга короткого замикання трансформатора, %;

$S_{ном.тр.}$ — номінальна потужність трансформатора, МВА;

$S_{кз.с.}$ — це потужність короткого замикання системи, МВА;

Z_L — це повний опір лінії, Ом.

Значення лінійного опору:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{(R_{L.нум} \cdot L)^2 + (X_{L.нум} \cdot L)^2}, \quad (68)$$

де L — довжина лінії, км;

$R_{L.нум}$, $X_{L.нум}$ — питомий активний і реактивний опір відповідно, Ом/км.

Питомий активний і реактивний опір ліній визначається згідно з таблицями довідників залежно від класу напруги, перерізу та марки провідника [20].

Обчислимо опори елементів схеми підстановки (рисунок 3.2) з виразів (65) - (68).

$$X_T^* = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,05;$$

$$X_{L1}^* = \sqrt{(0,198 \cdot 1,2)^2 + (0,406 \cdot 1,2)^2} \cdot \frac{100}{35^2} = 0,044;$$

$$X_c^* = \frac{100}{1500} = 0,067.$$

У всіх приблизних розрахунках рекомендується брати середнє значення ЕРС у відносних одиницях за номінальних умов для системи $E_C = 1$.

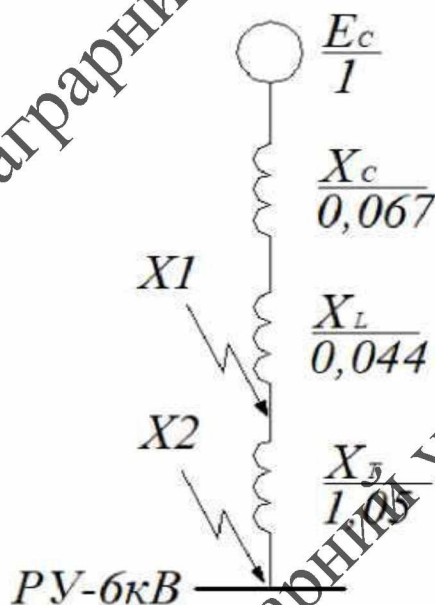


Рисунок 3.2 – Схема заміни секції мережі

Діючи значення періодичної компоненти струму короткого замикання в початковий момент часу, короткого замикання ударного струму та квадратичного імпульсу для точки $K1$ згідно з виразами (60) - (64):

$$I_{n0*(K1)} = \frac{1}{0,067 + 0,044} = 9;$$

$$I_{n0(K1)} = 9 \cdot 1,65 = 14,9 \text{ кА};$$

$$i_{y0(K1)} = \sqrt{2} \cdot 14,9 \cdot 1,8 = 37,8 \text{ кА};$$

$$B_{\kappa(K1)} = 14,9^2 \cdot (0,8 + 0,04) = 186 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Ефективне значення періодичного компонента струму короткого замикання в початковий момент часу, ударного струму короткого замикання та імпульсу квадратичного струму для точки $K2$ згідно з виразами (60) - (64):

$$I_{n0*(K2)} = \frac{1}{0,067 + 0,044 + 1,05} = 0,861;$$

$$I_{n0(K2)} = 0,861 \cdot 9,164 = 7,89 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial(K2)} = \sqrt{2} \cdot 7,89 \cdot 1,8 = 20 \text{ кА};$$

$$B_{K(K2)} = 7,89^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 27,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Ці значення будуть використані у подальшому підборі автоматики захисту та вибору кабелів.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4 ВИБІР ПЕРЕРІЗУ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ТА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ З НАПРУГОЮ 6-35 КВ

Вибір поперечного перерізу кабельних ліній на 6 кВ здійснюється відповідно до економічної щільності струму відповідно до ПУЕ [12]:

$$F = \frac{I_p}{j}, \quad (69)$$

де I_p — це проектний струм провідника в нормальному режимі А;
 j — це густина струму, А/мм².

Густина струму визначається відповідно до [12] і залежить від типу провідника та часу використання максимального навантаження T_{max} .

Потім із серії вибирається стандартний провідник, найближчий до ряду : 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500 і 800 мм².

Кабелі, вибрані j , перевіряються:

- за дозволеним струмом від умов нагріву;
- на теплову стійкість під впливом струмів короткого замикання;

Провідники повинні витримувати проектний струм зваженого режиму:

$$I_{don} > I_{pa} \quad (70)$$

де I_{don} — довгостроковий допустимий провідний струм, А, визначений згідно з таблицями довідників каталогів ПУЕ;

I_{pa} — це струм у післяаварійному режимі, А.

Перевірка теплової стійкості кабелю зводиться до визначення допустимого перерізу за умов нагрівання струмами короткого замикання:

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$F_T = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, \quad (71)$$

де B_K — тепловий імпульс струму короткого замикання, $A^2 \cdot c$;

C_T — це коефіцієнт, значення якого визначається залежно від початкової та кінцевої температури при короткому замиканні, провідника та ізоляційного матеріалу, $A \cdot c^{0.5} / mm^2$.

Значення коефіцієнта C_T можна прийняти для кабелів до 10 кВ з алюмінієвими жилами $90 A \cdot c^{0.5} / mm^2$; з мідними жилами $140 A \cdot c^{0.5} / mm^2$.

Теплова стійкість провідника гарантується, якщо:

$$F \geq F_T \quad (72)$$

Ми перевіримо повітряну лінію 35 кВ. Початкові дані для цієї ділянки:

- провідники: АС 150/24 з $I_{don} = 450 A$;
- $I_p = 165 A$, $I_p = 231 A$;
- $T_{max} = 6100$ годин.

Дріт АС 150/24 тестується на нагрівання в максимальному режимі:

$$450 A > 231 A$$

Мінімальний перетин для теплової стійкості:

$$F_T = \frac{\sqrt{186 \cdot 10^6}}{90} = 149 mm^2$$

Вибраний дріт можна прокладати.

Трансформатори струму нульової послідовності обираються відповідно до номінальної напруги, теплового опору, струму короткого замикання у вторинному колі.

Як комутаційне обладнання, ми приймаємо вакуумний вимикач OVB-VBF 40.5 та роз'єднувач NRB-52 від ABB [21]. Роз'єднувач NRB-52 оснащений моторним заземлюючим ножом. Умови вибору автоматичного вимикача та

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

роз'єднувача наведені відповідно у таблицях 4.1 і 4.2

Таблиця 4.1 – Вибір автоматичного вимикача на 35 кВ

Тип і місце встановлення обладнання	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
OVB-VBF 40.5	$U_n \geq U_p$	40,5	35	кВ
	$I_n \geq I_p$	1600	231	А
	$I_{дин} \geq I_{yo}$	63	37,8	кА
	$I_{тер.н}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	1250	186	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{відм} \geq I_n$	25	14,9	кА

Таблиця 4.2 – Вибір роз'єднувача на 35 кВ

Тип і місце встановлення	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
NRB-52	$U_n \geq U_p$	52	35	кВ
	$I_n \geq I_p$	1250	231	А
	$I_{дин} \geq I_{yo}$	31,5	37,8	кА
	$I_{тер.н}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	1250	186	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Проведемо вибір трансформаторів вимірювання струму та напруги. До трансформаторів струму будуть підключені амперметри та комплексний лічильник. Паспортні дані обраних пристроїв наведені у Таблиці 1.6

Розрахункове навантаження трансформаторів струму:

$$S_p = 1 + 1,5 + 5^2 \cdot (0,1 + 0,0175 \cdot 75/4) = 13,8 \text{ ВА.}$$

Як вимірювальний трансформатор струму ми візьмемо зовнішній трансформатор струму типу ТРО 7Х.ХХ від фірми АВВ [21]. Умови вибору вимірювальних трансформаторів наведені в таблиці 4.3.

Як вимірювальний трансформатор напруги ми візьмемо зовнішній трансформатор типу ТЮ 7 від АВВ. Вольтметри та комплексний лічильник будуть підключені до трансформаторів напруги. Паспортні дані обраних пристроїв наведені у Таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Вибір струмових трансформаторів

Тип і місце встановлення обладнання	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
ТРО 7	$U_n \geq U_p$	40,5	35	кВ
	$I_n \geq I_p$	400	231	А
	$I_{2n} \geq I_{np}$	5	5	А
	$I_{дин} \geq I_{уд}$	100	37,8	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н.} \geq B_k$	10000	186	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$S_{2n} \geq S_p$	30	13,8	ВА

Таблиця 4.4 – Вибір трансформатора напруги

Тип і місце встановлення обладнання	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
ТЛО 7	Клас точності	0,2	0,2	-
	$U_n = U_p$	35	35	кВ
	$U_{2n} = U_{np}$	100	100	В
	$S_{2n} \geq S_p$	50	2	ВА

Як пристрій захисту від перенапруги ми будемо використовувати обмежувач перенапруги невідчужуваний (ОПН) POLIM-D-35 від ABB [22].

Комутаторне обладнання на 6 кВ буде виготовлене у вигляді повноцінного розподільчого пристрою. Ми приймаємо як комутатори елементи UniGear ZS1-12 кВ [21]. Порівняння параметрів наведено у Таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Вибір комутаційних елементів

Тип і місце встановлення обладнання	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
UniGear ZS1-12	$U_n = U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	2000	989	А
	$I_{дин} \geq I_{уд}$	125	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н.} \geq B_k$	$502 \cdot 3 = 7500$	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Як комутаційне обладнання, ми приймаємо вакуумний вимикач VD4.12 від

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ABB [21]. На стороні 6 кВ роз'єднувачі не передбачені, оскільки перемикачі розташовуються на виїжджаючих візках. Умови вибору автоматичного вимикача наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Вибір автоматичного вимикача на 6 кВ

Тип і місце встановлення	Умови	Параметри вимикача	Обчислені дані	Одиниці виміру
VD4.12.20 (ввідний, секційний)	$U_n = U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	2000	989	А
	$I_{din} \geq I_{y0}$	50	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н.} \geq B_k$	2976	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{відм} \geq I_n$	31,5	7,89	кА
VD4.12.6 (лінійний)	$U_n = U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	630	146,6	А
	$I_{din} \geq I_{y0}$	40	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н.} \geq B_k$	1875	15	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{відм} \geq I_n$	25	7,89	кА

Згідно із схемами комір, заземлюючий роз'єднувач необхідний для всіх шаф комутаційного обладнання. Для заземлення шин розподільчих пристроїв використовується заземлювач у шафі вимірювального трансформатора напруги, тому окрема шафа із роз'єднувачем заземлення не потрібен. У всіх комірках встановлено заземлювальний електрод одного типу ЕК6 компанії ABB [21]. Вибір заземлюючих ножів наведено у Таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Вибір заземлюючого пристрою

Тип обладнання	Умови	Параметри	Розрахункові дані	Одиниці виміру
ЕК6	$U_n = U_p$	12	6,3	кВ
	$I_{din} \geq I_{y0}$	63	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н.} \geq B_k$	400	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Ми оберемо трансформатори вимірювання струму та напруги. Амперметри

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

будуть підключені до поточних трансформаторів. Паспортні дані обраних пристроїв наведені у Таблиці 1.6. Проектне навантаження на трансформатори струму:

$$S_p = 1 + 5^2 \cdot (0,1 + 0,0175 \cdot 5/2,5) = 4,4 \text{ ВА.}$$

Як вимірювальний трансформатор струму ми візьмемо трансформатор типу ТРУ 45.13. Умови вибору трансформаторів струму наведені в Таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Вибір трансформаторів струму

Тип обладнання	Умови	Параметри	Розрахункові дані	Одиниці виміру
ТРУ 45.13	$U_n = U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	15-2000	11-989	А
	$I_{2n} \geq I_{np}$	5	5	А
ТРУ 45.13	$I_{дин} \geq I_{y0}$	50	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	400	27,4	$\cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$
	$S_{2n} \geq S_p$	10	4,4	ВА

Як трансформатор вимірювання напруги ми візьмемо трансформатор типу ТНР 4.2. Вольтметри та складний лічильник будуть підключені до трансформаторів напруги. Паспортні дані обраних пристроїв наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Вибір трансформатора напруги

Тип обладнання	Умови	Параметри	Розрахункові дані	Одиниці виміру
ТНР 4.2	Клас точності	0,2	0,2	-
	$U_n = U_p$	6,3	6,3	кВ
	$U_{2n} = U_{np}$	100	100	У
	$S_{2n} \geq S_p$	30	0,5	ВА

Для захисту від однофазних замикань на землю, що діють на сигналізацію або відключення, на кабельних електролініях встановлюють трансформатори струму з нульовою послідовністю типу KOLMA 06D1, 10P10.

Як пристрій захисту від перенапруги ми будемо використовувати нелінійний обмежувач MVD-7 від ABB.

Вибране електрообладнання є сучасним і відповідає всім технічним параметрам і стандартам.

Захист трансформаторів, ліній, джерел живлення, секційних комутаторів і вихідних фідерів секцій здійснюється на основі цифрових систем захисту. Вибір використаних захистів і їх налаштувань здійснюється на основі умов захисту з'єднання від можливих пошкоджень, що забезпечує збереження селективності та чутливості захистів.

Захист входів живлення секцій підстанції буде здійснюватися на основі цифрового захисного комплексу REF-545.

У REF-545 мають бути включені такі захисти [23]:

– Максимальний захист струму на вході живлення (NOC3High) – захист від коротких замикань між фазами на секції та резервування вихідних захисних елементів живлення у разі їх відмови або відмови цих вимикачів. Захист створений проти самозапуску секції під час автоматичного ввімкнення резерву (ABP) і чутливий до мінімального двофазного короткого замикання в кінці захищеної секції.

Цей захист передбачає дві групи заданих точок з різним часом відгуку. Якщо немає сигналу про початок роботи вихідних фідерів цієї секції або секційного комутатора, активна група вставок 1; якщо є сигнал про початок роботи вихідних фідерів цієї секції або секційного комутатора, активна група налаштувань 2;

– захист від недостатньої напруги (UV3High) – вимкнення робочого входу у разі втрати або зниження напруги на секції для увімкнення резервного джерела живлення, якщо ABP секції готовий. При запуску максимального струмового захисту (MC3) цього входу захист блокується, також блокується на 2 секунди, коли цей перемикач увімкнено,

– захист від низької частоти (Freq1St1) – вимкнення робочого входу, коли частота знижується нижче заданої точки для перемикавання на резервне живлення, якщо секція ABP готова;

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Захист секційних комутаторів базується на цифровій системі захисту REF-541.

У REF-541 мають бути активовані наступні захисти:

Захист від перевантаження струму (NOC3High) – захист від коротких замикань між фазами на секції та резервування захистів вихідних фідерів у разі їх несправності або відмови автоматичних вимикачів цих фідерів. Захист створений проти самозапуску секції під час АВР і чутливий до мінімального двофазного короткого замикання в кінці захищеної секції.

Цей захист прискорює роботу MC3, коли автомат увімкнено вручну.

Захист трансформаторів 6/0,4 кВ базується на цифровому захисному комплексі REF-541.

У REF-541 використовуються такі захисти:

- струмова відсічка (NOC3Inst) – захист від коротких замикань між фазами на кабелі живлення або в обмотці трансформатора 6/0,4 кВ. Захист налаштовується на час спрацювання при коротких замиканнях на стороні 0,4 кВ трансформатора 6/0,4 кВ;

- захист від перевантаження струму (NOC3High) – захист від коротких замикань між фазами на стороні 0,4 кВ трансформатора 6/0,4 кВ. Захист налаштовується на час спрацювання при коротких замиканнях на стороні вихідних фідерів секцій 0,4 кВ;

- однофазний захист від замикання на землю (NEE1High) – сигнал про наявність однофазного замикання на землю;

- напрямлений однофазний захист від замикання на землю (DEF2High) – сигналізація про наявність однофазного замикання на землі на заданому з'єднанні.

					КРБ.141EE60_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

5 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Орієнтовна оцінка вартості запропонованого проєкту

Для орієнтовної оцінки вартості запропонованого проєкту варто скласти кошторис вартості основних електричних засобів, що використовуються на підстанції.

За вибраними елементами автоматики та трансформаторами складемо таблицю сумарної вартості (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Сумарна вартість елементів автоматики та трансформаторів

№	Назва/модель	Кількість шт./м	Орієнтовна вартість, грн	Загальна сума, грн
	2	3	4	5
1.	ДПП 11У-36-002 У3 36Вт IP65	9	820	7380
2.	Автомат ВА-47-29-1	4	70	280
3.	Трансформатор ТСЛ 100/6	1	142000	142000
4.	Кабель ВВГ 3х2,5	14	40	560
5.	Кабель ВВГ 4х2,5	50	100	5000
6.	Кабель ВВГ 5х4	40	200	8000
7.	Кабель ВВГ 4х4	20	150	3000
8.	Кабель ВВГ 5х2,5	100	150	15000
9.	Кабель ВВГ 4х35	15	1500	22500
10.	Кабель ВВГ 1х16	15	135	2025
11.	Захисні пристрої засобів власних потреб S2X80	12	405	4860
12.	Контактор АВВ АХ18-30	2	625	1250
13.	Теплового реле перевантаження АВВ ТА25ДУ14М	1	1500	1500
14.	Трансформатори типу ТДН- 10000/35/6.6	2	10000000	20000000
15.	Вакуумний вимикач ОVB-VBF 40.5	1	120000	120000
16.	Роз'єднувач NRB-52	1	100000	100000
17.	Вимірювальний трансформатор струму ТРО 7 від фірми АВВ	1	15000	15000

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5
18.	Обмежувач перенапруги нелінійний (ОПН) POLIM-D-35 від ABB.	1	1500	1500
19.	Комутатори UniGear ZS1-12 кВ	1	120000	120000
20.	Вакуумний вимикач VD4-12 від ABB	1	125000	125000
21.	Заземлювальний електрод одного типу ЕК6 компанії ABB	4	2500	10000
22.	Вимірювальний трансформатор струму TPU 45.13	2	1500	3000
23.	Вимірювальний трансформатор напруги TJP 4.2	2	10000	10000
24.	Трансформатори струму з нульовою послідовністю типу KOLMA 06D1	2	20000	40000
25.	Нелінійний обмежувач MVD-7 від ABB	2	15000	30000
26.	Низьковольтний розподільчий пристрій MNS	2	90000	180000
27.	Захисний комплекс REF-545	1	140000	140000
28.	Захисний комплекс REF-541	1	140000	140000
	Разом			21 247 855

В переважній більшості ціна встановлюється при конкретному замовленні у спілкуванні з представником компанії в Україні.

5.2. Загальні положення з охорони праці при експлуатації підстанції 35/6 кВ

Підстанції напругою 35/6 кВ належать до об'єктів підвищеної небезпеки, оскільки в процесі їх експлуатації персонал піддається дії електричного струму високої напруги, електромагнітних полів, шуму, а також ризику виникнення пожежі чи аварійних ситуацій. Тому під час проєктування електричної частини

підстанції необхідно передбачити комплекс технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці.

Основними нормативними документами, що регламентують вимоги охорони праці на електроустановках, є:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок;
- ІБП та ДСТУ, що регламентують пожежну безпеку та електробезпеку.

До обслуговування електроустановок допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, перевірку знань з охорони праці та мають відповідну групу з електробезпеки. Для роботи в установках напругою понад 1000 В працівники повинні мати групу з електробезпеки не нижче III, а керівники робіт — IV або V групу.

На підстанції повинні бути розроблені:

- інструкції з охорони праці;
- плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій;
- схеми евакуації;
- журнали реєстрації інструктажів;
- графіки проведення перевірок та випробувань засобів захисту.

Під час експлуатації підстанції 35/6 кВ на персонал можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

5.2.1 Дія електричного струму

Найбільш небезпечним фактором є ураження електричним струмом. Дотик до струмовідних частин або металевих елементів, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, може призвести до:

- електричних опіків;
- фібриляції серця;

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- порушення дихання;
- летальних наслідків.

Особливо небезпечними є електроустановки напругою понад 1000 В, де можливе ураження навіть без безпосереднього контакту через електричну дугу або пробій повітряного проміжку.

5.2.2 Електромагнітне випромінювання

Поблизу силових трансформаторів, шин та комутаційного обладнання виникають електромагнітні поля промислової частоти 50 Гц. Тривалий вплив підвищених рівнів електромагнітного поля може негативно впливати на нервову та серцево-судинну системи людини.

Для зниження впливу електромагнітних полів необхідно:

- дотримуватися нормативних відстаней;
- обмежувати час перебування персоналу в небезпечних зонах;
- застосовувати екранування та захисні огороження.

5.2.3 Пожежна безпека

На підстанції можливе виникнення пожежі через:

- короткі замикання;
- перегрів контактних з'єднань;
- пошкодження ізоляції;
- витік трансформаторного масла.

Особливу небезпеку становлять масляні трансформатори, оскільки трансформаторне масло є горючою речовиною. При виникненні електричної дуги можливе займання масла та поширення пожежі.

5.2.4 Шум та вібрація

Силові трансформатори під час роботи створюють шум та вібрацію. Основними джерелами шуму є магнітострикційні явища в осерді трансформатора

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

та робота систем охолодження. Тривалий вплив шуму може призводити до зниження працездатності та погіршення стану здоров'я працівників.

5.2.5 Заходи забезпечення електробезпеки

Для забезпечення безпечної експлуатації підстанції у проєкті передбачено комплекс заходів електробезпеки.

Усі металеві неструмовідні частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, підлягають обов'язковому заземленню.

Заземлювальний пристрій підстанції виконується у вигляді замкнутого контуру із сталевих горизонтальних та вертикальних електродів. Опір заземлювального пристрою для підстанцій напругою 35 кВ не повинен перевищувати нормативних значень, установлених ПМЕ.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику та забезпеченні спрацювання релейного захисту при виникненні замикання на корпус.

Для швидкого вимкнення пошкодженої ділянки мережі застосовуються:

- релейний захист;
- автоматичні вимикачі;
- струмові відсічки;
- диференційний захист трансформаторів.

Час спрацювання захисту повинен забезпечувати мінімальний вплив струму короткого замикання на людину та обладнання.

Усі струмовідні частини електроустановок повинні мати надійну ізоляцію, що відповідає класу напруги. Необхідно регулярно проводити:

- вимірювання опору ізоляції;
- випробування підвищеною напругою;
- тепловізійний контроль контактних з'єднань.

Під час виконання робіт в електроустановках персонал повинен використовувати:

- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- ізолювальні штанги;
- показчики напруги;
- захисні каски;
- переносні заземлення.

Усі засоби захисту повинні проходити періодичні електричні випробування згідно з установленими термінами.

Роботи в електроустановках поділяються на:

- роботи зі зняттям напруги;
- роботи без зняття напруги;
- роботи поблизу струмовідних частин.

Основною організаційною формою виконання робіт є наряд-допуск. У наряді зазначаються:

- місце виконання робіт;
- склад бригади;
- заходи безпеки;
- відповідальні особи;
- час початку та завершення робіт.

Перед початком робіт необхідно:

1. Вимкнути обладнання.
2. Вивісити заборонні плакати.
3. Перевірити відсутність напруги.
4. Встановити переносні заземлення.
5. Огородити робоче місце.

Особлива увага приділяється роботам на відкритих розподільчих пристроях у несприятливих погодних умовах. Під час грози, сильного туману або ожеледиці виконання робіт на струмовідних частинах забороняється.

Пожежна безпека підстанції забезпечується організаційними та технічними заходами.

На території підстанції повинні бути:

- первинні засоби пожежогасіння;

					КРБ.141EE6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

- пожежні щити;
- системи пожежної сигналізації;
- засоби зв'язку для виклику пожежної служби.

Для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, застосовують:

- вуглекислотні вогнегасники;
- порошкові вогнегасники.

Використання водяних та пінних вогнегасників для електроустановок під напругою забороняється.

Силові трансформатори обладнуються:

- маслоприймальниками;
- системами аварійного зливу масла;
- протипожежними перегородками.

Для запобігання пожежам необхідно регулярно виконувати:

- огляд контактних з'єднань;
- перевірку стану ізоляції;
- очищення обладнання від пилу та бруду;
- контроль температурного режиму.

Для забезпечення нормальних умов праці на підстанції необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату:

- температуру повітря;
- вологість;
- швидкість руху повітря;
- рівень освітленості.

у приміщеннях закритих розподільчих пристроїв передбачається:

- природна та штучна вентиляція;
- робоче та аварійне освітлення;
- опалення у холодний період року.

Освітленість робочих місць повинна відповідати вимогам ДБН. Для аварійного освітлення використовуються незалежні джерела живлення або акумуляторні батареї.

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Рівень шуму від роботи трансформаторів не повинен перевищувати допустимі санітарні норми. Для його зменшення застосовуються:

- вібропоглинаючі основи;
- шумозахисні екрани;
- раціональне розташування обладнання.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано світлотехнічний розрахунок системи робочого та аварійного освітлення приміщень підстанції 35/6 кВ. На основі аналізу призначення приміщень і вимог чинних нормативних документів обґрунтовано вибір світлодіодних світильників типу LED. Отримані значення освітленості в контрольних точках перевищують мінімально допустимі нормативні величини.

2. Виконано розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі, визначено розрахункові струми групових і живильних ліній, а також здійснено вибір автоматичних вимикачів для захисту мережі освітлення.

3. На підставі розрахунків втрат напруги, допустимих струмових навантажень та умов механічної міцності обрано кабелі типу ВВГ 3×4 мм² для живильних ліній та ВВГ 3×2,5 мм² для групових ліній.

4. Виконано вибір силових трансформаторів живлення підстанції 35/6 кВ та проведено розрахунок струмів короткого замикання для характерних точок електричної мережі.

5. На підставі результатів розрахунку електричних навантажень визначено необхідну потужність трансформаторного обладнання та обґрунтовано встановлення двох силових трансформаторів типу ТДН-10000/35/6,6 потужністю по 10 МВА кожний.

6. Для визначення параметрів аварійних режимів проведено розрахунок струмів короткого замикання у відносних одиницях із використанням схеми заміщення мережі. Для розрахункових точок короткого замикання визначено діючі значення періодичної складової струму короткого замикання, ударні струми та імпульси квадратичного струму.

7. Отримані результати дають змогу виконати обґрунтований вибір кабельних ліній, струмопровідних частин, комутаційних апаратів, вимірювальних трансформаторів та пристроїв релейного захисту. Проведені розрахунки підтверджують працездатність прийнятої схеми електропостачання та забезпечують необхідну основу для подальшого проєктування електричної частини

					КРБ.141EE6d_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

підстанції відповідно до вимог надійності, безпеки та чинних нормативних документів.

8. Проведено перевірку повітряної лінії 35 кВ з проводом АС 150/24 за умовами тривалого струмового навантаження та термічної стійкості. Результати розрахунків підтвердили відповідність обраного проводу розрахунковим режимам роботи та аварійним впливам.

9. На стороні 35 кВ виконано вибір комутаційного обладнання, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, а також пристроїв захисту від перенапруг. Для цього прийнято сучасні технічні рішення на базі вакуумного вимикача OVB-VBF 40.5, роз'єднувача NRB-52, трансформаторів струму ТРО 7 та трансформаторів напруги ТЮ 7. Перевірка показала відповідність їхніх технічних характеристик номінальним параметрам мережі та вимогам щодо електродинамічної і термічної стійкості.

10. Для розподільчого пристрою 6 кВ обрано комплектний розподільчий пристрій UniGear ZS1 із вакуумними вимикачами серії VD4, вимірювальними трансформаторами ТРУ 45.13 і ТРН 4.2, заземлювальними пристроями ЕК6 та обмежувачами перенапруг MVD 5. Усе обладнання успішно пройшло перевірку за номінальними параметрами, струмами короткого замикання та умовами експлуатації.

11. Також розглянуто побудову системи релейного захисту та автоматики із застосуванням цифрових терміналів серії REF-545 та REF-541. Передбачено комплекс захистів для ввідних, секційних і трансформаторних приєднань, що забезпечує селективне виявлення пошкоджень, надійне резервування та швидке відключення аварійних режимів.

12. Складено кошторис основних витрат на реалізацію проєкту. Загальна орієнтовна вартість обладнання становить 21 247 855 грн. Проведений розрахунок дає змогу оцінити обсяг необхідних капіталовкладень і підтверджує можливість практичної реалізації запропонованих технічних рішень. Використання сучасного обладнання забезпечує підвищення надійності електропостачання, зменшення експлуатаційних витрат та покращення техніко-економічних показників роботи

					КРБ.141EEбд_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

підстанції.

13. У частині охорони праці проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації підстанції 35/6 кВ, зокрема дію електричного струму, електромагнітних полів, шуму, вібрації та пожежонебезпечних ситуацій. Визначено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки персоналу.

14. Проєктом передбачено виконання захисного заземлення, застосування сучасних засобів релейного захисту та автоматики, використання засобів індивідуального захисту, організацію безпечного виконання робіт за нарядом-допуском, а також впровадження заходів пожежної безпеки.

					КРБ.141ЕЕ6д_31[1].11.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66