

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: «Електрозабезпечення виробничого підприємства будівельних
конструкцій»

КРБ.141ЕЕбд_41.05.00.00.000 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_41
ЛАЗОРЕНКО Ігор

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БИЧКОВ Ярослав

Полтава – 2026 р

Полтавський державний аграрний університет

Кафедра механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 3 рисунків, 22 таблиці, 26 джерел посилання, 60 сторінок.

Об'єкт роботи – електротехнічне обладнання трансформаторної підстанції та комунікаційних мереж виробничого підприємства будівельних конструкцій.

Предмет роботи – технічні рішення щодо вибору схеми електропостачання, силового обладнання, засобів релейного захисту та компенсації реактивної потужності для забезпечення ефективної роботи підприємства.

Постановка актуальної технічної задачі – розробити шляхи удосконалення та оновлення системи живлення, релейного захисту та автоматики електрогосподарства підприємства з виробництва будівельних конструкцій.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – розроблення та обґрунтування системи електрозабезпечення підприємства з виробництва будівельних конструкцій, яка забезпечує необхідний рівень надійності, безпеки та економічності електропостачання виробничих процесів.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на виробничих підприємствах будівельних матеріалів.

У першому розділі визначено проектні електричні навантаження, враховуючи втрати потужності в виробничих трансформаторах, трансформаторах ГЗП та компенсацію реактивної потужності.

У другому розділі вибрано надійний спосіб живлення шляхом встановлення двох трансформаторів на підстанції, здійснено порівняння та вибір зовнішньої схеми живлення виробничого підприємства будівельних конструкцій.

У третьому розділі проведено вибір кількості та потужності виробничих трансформаторів з урахуванням питомого навантаження, проведено визначення необхідності встановлення компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ та 10 кВ. Проведено розрахунок та вибір кабельних ліній для живлення виробничих приміщень. Проведено розрахунок струмів короткого замикання та проведено

вибір комутаційного, розподільчого, вимірювального та захисного обладнання.

У четвертому розділі визначено обсяг капітальних інвестицій у будівництво енергетичних об'єктів використовуючи приблизні методи, засновані на збільшених показниках витрат. Розглянуто засоби та заходи безпеки у разі випадкової появи напруги на металевих корпусах електрообладнання, розраховано блискавкозахист. Розглянуто питання пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Практичні результати роботи – розроблено технічно обґрунтовану систему електрозабезпечення підприємства з виробництва будівельних конструкцій, проведено розрахунок струмів короткого замикання, виконано пошук та підбір елементів автоматизації електричної підстанції, розроблено схему підключення підстанції у мережу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження при розробці чи модернізації системи електропостачання виробничих підприємств.

Сфера застосування результатів роботи – система електрозабезпечення виробничого підприємства.

Ілюстраційна частина проекту становить: 5 аркушів.

Текст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи пройшов перевірку на плагіат за допомогою спеціалізованого сервісу "StrikePlagiarism" і є оригінальним. Унікальність тексту становить 90,02 %.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено систему електрозабезпечення підприємства з виробництва будівельних конструкцій, що забезпечує необхідний рівень надійності, безпеки та економічної ефективності електропостачання виробничих процесів. Виконано розрахунок електричних навантажень, обґрунтовано вибір схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання, визначено параметри трансформаторного обладнання і компенсуючих пристроїв.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання, вибір кабельних ліній,

комутаційного, розподільчого, вимірювального та захисного обладнання. Розглянуто питання економічної доцільності проєкту, електробезпеки, блискавкозахисту, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

За результатами роботи розроблено технічно обґрунтовану систему електрозабезпечення підприємства, схему підключення підстанції до електричної мережі. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування або модернізації систем електропостачання виробничих підприємств.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, КАБЕЛЬНІ ЛІНІЇ, ВИМИКАЧІ, КОМУТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ.

ANNOTATION

In the qualification work of the bachelor, the system of power supply of the enterprise for the production of building structures has been developed, which provides the necessary level of reliability, safety and economic efficiency of power supply of production processes. The calculation of electrical loads has been performed, the choice of the scheme of external and internal power supply has been substantiated, the parameters of transformer equipment and compensating devices have been determined.

The calculation of short-circuit currents, the selection of cable lines, switching, distribution, measuring and protective equipment was carried out. The issues of economic feasibility of the project, electrical safety, lightning protection, fire safety and safety in emergency situations are considered.

Based on the results of the work, a technically justified power supply system of the enterprise and a scheme for connecting the substation to the electrical network were developed. The results obtained can be used in the design or modernization of power supply systems of manufacturing enterprises.

POWER SUPPLY SYSTEM, CABLE LINES, SWITCHES, SWITCHING EQUIPMENT

Зміст

ВСТУП	8
1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИМОГ ДО НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	10
1.1 Визначення проєктних електричних навантажень	11
1.2 Визначення загального навантаження на підприємство	13
2 ПРОЄКТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ	16
2.1 Вибір номінальної напруги зовнішнього джерела живлення підприємства	16
2.2 Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП	17
2.3 Технічне порівняння варіантів зовнішнього енергопостачання	18
2.4 Вибір перерізу дроту	20
ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ВИБІР КОМПЕНСАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ	26
3.1 Вибір кількості та потужності виробничих трансформаторів	26
3.2 Вибір компенсуючих пристроїв (КП)	32
3.3 Вибір перерізу кабельної лінії	32
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання	37
3.5 Вибір обладнання	38
3.5.1 Вибір вимикачів і комутаційного обладнання для 10 кВ	36
3.5.2 Вибір шини розподільчих пристроїв	40
3.6 Вибір вимірювальних трансформаторів	43
3.7 Вибір запобіжників для трансформаторів ВН виробничих трансформаторів	45

					КРБ.141ЕЕ60_41.06.00.00.000 ПЗ				
ЗМ.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат.	Зміст	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Лазоренко І.Б.					н	6	60	
Перевір.	Бичков Я.М.								
						ПДАУ 2026			
Н.контр.	Бичков Я.М.								
Затв.	Попов С.В.							6	

3.8 Вибір автоматичних вимикачів та ВН виробничих трансформаторів	46
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ТА ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ	48
4.1 Розрахунок капітальних вкладень	48
4.2 Безпека та охорона праці	49
4.2.1 Захист від блискавки	49
4.2.2 Безпека під час експлуатації обладнання	52
4.2.3 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	58

ВСТУП

Система електропостачання – це комплекс пристроїв для виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Системи живлення промислових підприємств створюються для забезпечення електроенергією промислових приймачів електроенергії, до яких входять електродвигуни різних машин і механізмів, електропечі, електролізні установки, пристрої та машини для електричного зварювання, освітлювальні установки та інші приймачі електроенергії.

Наразі більшість споживачів отримують електроенергію з електромереж. Зі зростанням споживання електроенергії система електропостачання промислових підприємств стає дедалі складнішою. Деяких належать мережі високої напруги, розподільчі мережі, а в деяких випадках мережі промислових теплових електростанцій. Існує необхідність впровадження автоматизації систем електропостачання для промислових підприємств і виробничих процесів, здійснювати масштабне моніторингу виробничих процесів із використанням

КРБ.141ЕЕ6д 41.06.00.00.000 ПЗ

телесигналізації та дистанційного керування та активно працювати над економією електроенергії.

Проектування систем живлення здійснювалося централізовано в низці проектних організацій. Внаслідок загальнення досвіду дизайну з'явилися стандартні рішення. Наразі розроблено розрахунки та проектування мереж виробничих приміщень, вибір потужностей трансформаторів, методи визначення електричних навантажень, вибір напруги, перерізу проводів і кабельних жил, а також методи вибору електрообладнання.

Основні завдання, що необхідно вирішити в кваліфікаційній роботі:

- оптимізація параметрів системи електропостачання промислового заводу будівельних матеріалів шляхом правильного вибору зовнішньої напруги живлення;
- визначення електричних навантажень і вимог до безперебійного живлення;
- вибір раціональної кількості та потужності виробничих трансформаторів;
- раціональне проектування промислових мереж;
- вибір засобів компенсації реактивної потужності;
- розрахунок релейного захисту елементів системи електропостачання підприємства;
- розрахунок капітальних вкладень;
- розгляд питань безпеки проекту.

					КРБ.141EE6d_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИМОГ ДО НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Завод промислових будівельних конструкцій призначений для виробництва вискоефективних промислових легких конструкцій, продукції та матеріалів для будівництва сільськогосподарських промислових, цивільних і житлових будівель.

Нові типи житлових і цивільних будівель проєктуються з легких промислових споруд з високою готовністю до виробництва. Основні споруди будівель – це трищаблові панелі з несучим каркасом з дерев'яних брусів, з ізоляцією з мінеральних ватних плит і зовнішньою обшивкою з твердих ДСП (ЮСБ).

На заводі виконують шпаклівку та ґрунтовку поверхонь панелей, краї ДСП покривають покриттям для запобігання проникненню вологи. Остаточне оздоблення поверхні (фарбування чи обклеювання шпалер) виконується в будівельних умовах після монтажу.

Перевагою виробництва таких будівель є різке зниження витрат на робочу силу в умовах будівництва, що, в умовах існуючого дефіциту помешкань для ВПО у сільській місцевості, суттєво прискорить темпи будівництва та зменшить капіталовкладення. Завод забезпечує повний виробничий цикл – від отримання сировини до виробництва цільних будівель.

Номенклатура продукції та продуктивність за виробом компонентів наведено у завданні. Категорії електрозабезпечення будівель наведені в таблиці 1.1.

Електричні навантаження – це початкові дані для розв'язання складного набору технічних і економічних питань, що виникають при проєктуванні електропостачання сучасного промислового підприємства. Визначення електричних навантажень є першим етапом проєктування будь-якої системи живлення, яке виконується для вибору та перевірки активних елементів і трансформаторів з огляду на опалення та економічні міркування, розрахунку відхилень і коливань напруги, вибору компенсаційних установок, захисних пристроїв тощо.

					КРБ.141EE6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Рисунок 1.1 – Загальний план заводу

1.1 Визначення проєктних електричних навантажень

Таблиця 1.1 – Інформація про електричні навантаження в будівлях заводу

№ на плані	Назва електричного приймача	Категорія ел. забезп.	P_H , кВт	K_c	$\cos \varphi$
1	Головна будівля	II	2800	0,85	0,75
2	Адміністративна будівля	II	260	0,8	0,9
3	Склад продукції	III	250	0,6	0,9
4	Цех комплектації	II	230	0,7	0,7
5	Пилорама	II	220	0,6	0,75
6	Сушарка	II	200	0,5	0,7
7	Склад сировини	III	200	0,6	0,9
8	Водозабір	II	180	0,5	0,65
9	Цех зняття кори	II	120	0,7	0,7
10	Транспортна цех	II	700	0,7	0,75
11	Парова котельня	II	1200	0,7	0,75
12	Котельня для гарячої води	II	1200	0,7	0,75
13	Пожежна станція	II	60	0,8	0,5
14	Компресор	I	520	0,85	0,85
15	Склад палива та мастила	III	60	0,6	0,9
16	Центральне опалення	I	80	0,8	0,7
17	Насосна станція: 0,4 кВ; 10 кВ	I	180 2000	0,8	0,85 1
18	Цех комплектації виробів	II	3200	0,7	0,7

Для визначення проєктних електричних навантажень у таблицю 1.1 зведено вихідні дані встановленої потужності будівель заводу.

Розрахунок проводиться відповідно до встановленої потужності та коефіцієнта використання. Загальна встановлена потужність енергетичного обладнання в майстернях заводу наведена у початкових даних. Коефіцієнти $\cos\varphi$, K_s , K_{co} обираються за довідковими таблицями залежно від технологічного процесу та режиму роботи майстерні, цеху, будівлі [1, 2].

На даному підприємстві обладнання живиться від двох класів напруги. Силове навантаження обох класів визначається аналогічно, а на напругу 0,4 кВ потрібно розраховувати ще і освітлювальне навантаження.

Розраховане активне навантаження визначається формулою, кВт

$$P_p = K_{\Pi} \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (1.1)$$

де K_{Π} – коефіцієнт використання;

$P_{\text{НОМ}}$ – це загальна номінальна потужність електричних приймачів виробничого приміщення, кВт.

Розраховане реактивне навантаження визначається формулою:

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi, \quad (1.2)$$

де $\tan \varphi$ – це коефіцієнт реактивної потужності, що відповідає $\cos \varphi$ заданої групи приймачів.

Проєктне освітлення розраховується за формулою

$$P_{po} = P_{no} \cdot K_{vo}, \quad (1.3)$$

де K_{vo} – коефіцієнт використання на встановлення освітлення;

P_{no} – це сумарна номінальна потужність навантаження освітлення.

$$P_{pit} = P_{pit} \cdot F, \quad (1.4)$$

де P_{pit} – це питома густина навантаження на 1 м² виробничої площі, кВт/м²;

F – площа відповідного виробничого приміщення, м².

					КРБ.141ЕЕбд_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Загальна проєктна потужність виробничого приміщення, кВ • А

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\Sigma(0,4\text{кВ})})^2 + Q_p^2} \quad (1.5)$$

1.2 Визначення загального навантаження на підприємство

Проектна потужність підприємства визначається навантаженнями, враховуючи втрати потужності в виробничих трансформаторах, трансформаторах головної знижувальної підстанції (ГЗП) та компенсацію реактивної потужності. Оскільки трансформатори виробничих підстанцій і ГЗП ще не обрані, приблизні втрати потужності в них визначаються за такими співвідношеннями:

$$\Delta P_{\text{ц.т}} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma(0,4\text{кВ})}; \quad (1.6)$$

$$\Delta Q_{\text{ц.т}} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma(0,4\text{кВ})}, \quad (1.7)$$

де $S_{p\Sigma(0,4\text{кВ})}$ – це повна потужність усіх електричних приймачів 0,4 кВ, кВ•А

$$S_{p\Sigma(0,4\text{кВ})} = \sqrt{(\Sigma P_{p(0,4\text{кВ})} + \Sigma P_{po(0,4\text{кВ})})^2 + \Sigma Q_{p(0,4\text{кВ})}}; \quad (1.8)$$

$$S_{p\Sigma(0,4\text{кВ})} = \sqrt{16303,75^2 + 8655,08^2} = 18458,67.$$

У цьому випадку для виробничих трансформаторів втрати потужності становлять кВт, квар:

$$\Delta P_{\text{ц.т}} = 0,02 \cdot 18458,67 = 369,17 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{ц.т}} = 0,1 \cdot 18458,67 = 1845,87 \text{ квар.}$$

Приблизне значення реактивної потужності, що видається на підприємство енергетичною системою, квар:

$$Q_{\Sigma} = K_a \cdot P_{p\Sigma(0,4\text{кВ})}; \quad (1.9)$$

$$Q_E = 0,29 \cdot 16303,75 = 4728,09,$$

де $K_a = 0,29$ при $U = 10$ кВ.

					КРБ.141ЕЕбд_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв на підприємстві, квар:

$$Q_{\text{кп}} = \Sigma Q_{\text{p}(0,4\text{кВ})} + \Sigma Q_{\text{p}(10\text{кВ})} + \Delta Q_{\text{ц.т}} - Q_{\text{Е}}; \quad (1.10)$$

$$Q_{\text{кп}} = 8655,08 + 0 + 1845,87 - 4728,09 = 5772,86.$$

Некомпенсована реактивна потужність підприємства, що відноситься до шин 10 кВ головної знижувальної підстанції, квар:

$$Q = Q_{\text{p}\Sigma(10\text{кВ})} - Q_{\text{ку}}; \quad (1.11)$$

$$Q_{\text{p}\Sigma(10\text{кВ})} = (\Sigma Q_{\text{p}(0,4\text{кВ})} + \Sigma Q_{\text{p}(10\text{кВ})}) \cdot K_{\text{рм}} + \Delta Q_{\text{ц.т}}; \quad (1.12)$$

де $Q_{\text{p}\Sigma(10\text{кВ})}$ – це проєктна реактивна потужність установки, що відноситься до шин 10 кВ головної знижувальної підстанції з урахуванням коефіцієнта багаточасового максимального навантаження, квар.

$K_{\text{рм}}$ – це коефіцієнт нерівномірності максимумів (0,9 - 0,95),

$$Q_{\text{p}\Sigma(10\text{кВ})} = (8655,08 + 0) \cdot 0,95 + 1845,87 = 10068,20;$$

$$Q = 10068,20 - 5772,86 = 4295,34.$$

Як компенсаторні пристрої приймаються батареї статичних конденсаторів.

Втрати активної потужності у статичних конденсаторних батареях, кВт

$$\Delta P_{\text{кп}} = K_{\text{п}} \cdot Q_{\text{кп}}, \quad (1.13)$$

де $P_{\text{кп}}$ – це питома активна втрата потужності 0,2% від $Q_{\text{кп}}$,

$$\Delta P_{\text{кп}} = 0,002 \cdot 5772,86 = 11,55$$

Загальна активна потужність з урахуванням втрат у компенсуючих пристроях на шинах підстанції, кВт

$$P_{\Sigma} = P_{\text{p}\Sigma(10\text{кВ})} + \Delta P_{\text{кп}}, \quad (1.14)$$

де $P_{p\Sigma(10\text{кВ})}$ – це проєктна активна потужність установки кВт, пов'язана з шинами 10 кВ, з урахуванням коефіцієнта нерівномірності максимумів навантаження $K_{pm} = 0,95$,

$$P_{p\Sigma(10\text{кВ})} = (\Sigma P_{p(0,4\text{кВ})} + \Sigma P_{p(10\text{кВ})}) \cdot K_{pm} + \Sigma P_{po} + \Delta P_{ц.т}; \quad (1.15)$$

$$P_{p\Sigma(10\text{кВ})} = (9627 + 1600) \cdot 0,95 + 6676,75 + 369,17 = 17711,57;$$

$$P_{\Sigma} = 17711,57 + 11,55 = 17723,12.$$

Проєктне навантаження на шини ГЗП 10 кВ з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВт • А

$$S'_{p\Sigma(10\text{кВ})} = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (1.16)$$

$$S'_{p\Sigma(10\text{кВ})} = \sqrt{17723,12^2 + 4295,34^2} = 18236,20.$$

Втрати потужності в трансформаторах ГЗП орієнтовно визначаються:

$$\Delta P'_T = 0,02 \cdot S'_{p\Sigma(10\text{кВ})}; \quad (1.17)$$

$$\Delta Q'_T = 0,1 \cdot S'_{p\Sigma(10\text{кВ})}. \quad (1.18)$$

Підставляючи значення у формули (1.17) та (1.18), отримуємо кВт, квар

$$\Delta P'_T = 0,02 \cdot 18236,20 = 364,72;$$

$$\Delta Q'_T = 0,1 \cdot 18236,20 = 1823,62.$$

Орієнтовна активна та реактивна потужність на високовольтній стороні ГЗП, кВт, квар

$$P_p^{BH} = P + \Delta P'_T = 17723,12 + 364,72 = 18087,84;$$

$$Q_p^{BH} = Q + \Delta Q'_T = 4295,34 + 1823,62 = 6118,96.$$

Загальна проєктна потужність заводу на високовольтній стороні ГЗП – кВт • А

$$S_p^{BH} = \sqrt{P_p^{BH^2} + Q_p^{BH^2}}; \quad (1.19)$$

$$S_p^{BH} = \sqrt{18087,84^2 + 6118,96^2} = 19094,8.$$

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 ПРОЄКТУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

2.1 Вибір раціональної напруги зовнішнього джерела живлення підприємства

Електроенергія станції буде забезпечуватися від двох трансформаторів підстанції енергосистеми з напругою 110/10 кВ, відстань від підстанції до станції становить 4 км.

Вибір раціональної напруги зовнішнього джерела живлення підприємства здійснюється за формулою

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot P_{ВН}}, \quad (2.1)$$

де l – відстань від джерела живлення, км;

$P_{ВН}$ – це передана потужність, дорівнює проєктному навантаженню підприємства, що відноситься до шин ВН ГЗП, МВт.

Отже, напруга буде дорівнювати, кВ

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{4 + 16 \cdot 18,09} = 74,34.$$

Далі, на стандартній шкалі, приймають два найближчі значення номінальної напруги, кВ

$$U'_{ст} \leq U \leq U''_{ст}, \quad (2.2)$$

де $U'_{ст}$ і $U''_{ст}$ – стандартні значення номінальної напруги, кВ,

$$10 < 74,34 < 110$$

Станція може житися напругою 10 кВ або 110 кВ.

Варто вибрати кількість та потужність трансформаторів головної знижувальної підстанції.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.2 Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП

У системах живлення промислових підприємств потужність силових трансформаторів повинна забезпечувати живлення всіх приймачів за нормальних умов. Надійність електропостачання підприємства досягається шляхом встановлення двох трансформаторів на підстанції. У разі виходу з ладу одного трансформатора інший покриває всю потужність споживачів категорій I, II та, за необхідності, III, враховуючи резервну потужність трансформатора.

Потужність трансформаторів ГЗП обирається за формулою $\text{kB} \cdot \text{A}$

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{р}}^{\text{вн}}}{n_{\text{т}} \cdot K_3}, \quad (2.3)$$

де $S_{\text{р}}^{\text{вн}}$ – загальна проєктна потужність заводу на високовольтній стороні ГЗП, $\text{kB} \cdot \text{A}$,

K_3 – це коефіцієнт навантаження трансформаторів,

$n_{\text{т}}$ – кількість трансформаторів.

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{19,09}{2 \cdot 0,7} = 13,64.$$

Приймаємо трансформатори [3] на ГЗП для першого варіанту живлення електростанції: 110 кВ. Трифазні двообмоткові трансформатори ТДН -16000/110.

$$S_{\text{ном.т}} = 16000 \text{ kB} \cdot \text{A}.$$

Ми перевіримо вибраний трансформатор відповідно до оптимального коефіцієнта навантаження в нормальному та післяаварійному режимах

$$K_3^{\text{н.р}} = \frac{S_{\text{р}}^{\text{н.р}}}{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7, \quad (2.4)$$

де n_T – кількість працюючих трансформаторів;

$$K_3^{a.p} = \frac{S_p^{BH}}{n_T \cdot S_{ном.Т}} \leq 1,4. \quad (2.5)$$

Підставляємо значення у формулах (2.4) та (2.5), отримуємо

$$K_3^{н.п} = \frac{9,09}{2 \cdot 16} = 0,6 \leq 0,7;$$

$$K_3^{a.p} = \frac{19,09}{1 \cdot 16} = 1,2 \leq 1,4.$$

У надзвичайних ситуаціях трансформатор, що залишається в робочому стані, має бути перевірений на допустиме перевантаження, враховуючи можливе відключення споживачів III категорії надійності, $kB \cdot A$

$$K_3 \cdot n_T \cdot S_{ном.Т} \geq S_p^{BH}; \quad (2.6)$$

$$1,4 \cdot 1 \cdot 16 = 22,40 \geq 18,21.$$

У нормальній експлуатації вибраний трансформатор буде навантажений на 60% – це задовольняє умову вибору трансформатора, але відповідно до умови оптимального навантаження його можна завантажити на 70%, що має змогу розвивати установку в майбутньому.

Параметри трансформатора наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Паспортні дані трансформатора

Трансформатор	$S_{ном},$ МВ · А	$U_{ном}$ обмотки, кВ		Втрати, кВт		$\eta_k, \%$	$I_x, \%$
		ВН	НН	ΔP_{K3}	ΔP_{xx}		
ТДН-16000/110	16	115	11	85	19	10,5	0,7

2.3 Технічне порівняння варіантів зовнішнього енергопостачання

Залежно від встановленої потужності приймачів електроенергії розрізняються об'єкти великої, середньої та низької потужності. Підприємство, про

яке йдеться, належить до об'єктів середньої потужності, для яких, як правило, використовуються схеми електропостачання з однією точкою прийому електроенергії (ГЗП, ГРП). Якщо є споживачі категорії I, то розподіл шин приймальної точки та подача кожної секції через окрему лінію.

Мета технічного та економічного розрахунку – обрати вигідний варіант зовнішнього енергопостачання. Варіанти схем електропостачання можуть відрізнятися за надійністю, що розуміється як здатність безперервно забезпечувати споживачів електроенергією певної якості та кількості.

Відповідно до завдання, електроенергія може надходити з підстанції енергосистеми з двообмотковими трансформаторами 110/10 кВ. Для технічного порівняння ми обираємо два варіанти електропостачання: від шин 110 кВ підстанції електромережі через повітряну лінію з встановленням на території підприємства ГЗП з двома трансформаторами ТДН-16000/110 (варіант 1, див. рис. 2.1 1) та кабельну лінію 10 кВ з встановленням на території підприємства ГРП (варіант 2, див. рис. 2.1 2).

Найбільш відповідний варіант для схеми енергопостачання промислового підприємства обирається відповідно до умови мінімальних поточних витрат, розрахованих за формулою

$$Z = E_H \cdot K + I \geq \min \quad (2.7)$$

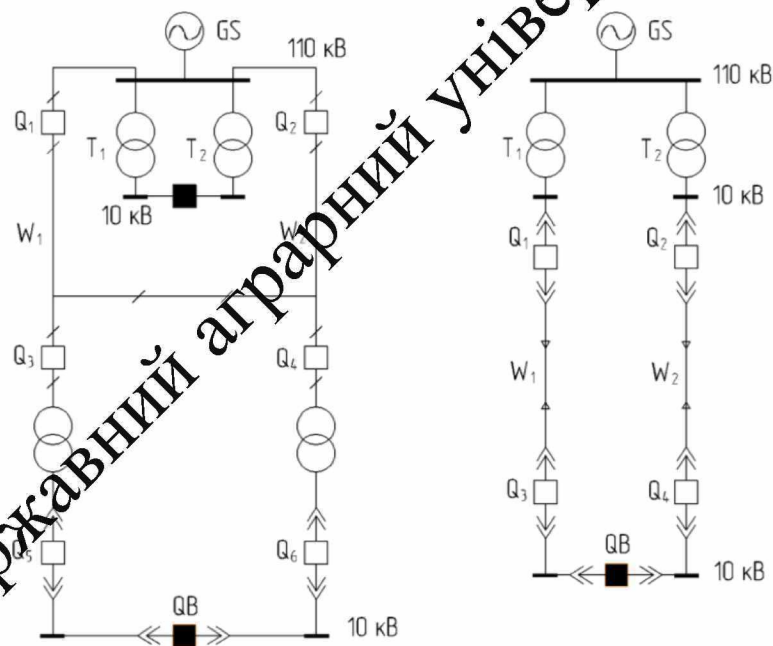
де K – капіталовкладення;

I – річні витрати (експлуатаційні витрати);

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який береться за ставкою дисконтування $= 0,12$ [4].

Схеми живлення відповідно до варіантів показані на рисунку 2.1

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



а) Варіант 1 (110 кВ)

б) Варіант 2 (10 кВ)

Рисунок 2.1 - Варіанти зовнішніх схем живлення

2.4 Вибір перерізу дроту

Він здійснюється з урахуванням надання електроенергії підприємству на одній лінії у разі аварійного пошкодження та відключення іншої.

Варіант 1 (110 кВ)

Перша версія зовнішньої схеми живлення представлена у вигляді схеми – 2 блоки з вимикачами та неавтоматичним перемикачем на боці ліній.

Враховуючи, що на станції є споживачі першої та другої категорій, необхідно забезпечити запас постачання електроенергії.

Визначаємо проєктний струм схеми двоконтурної високовольтної лінії в нормальному режимі, А

$$I_p = \frac{S_p^{вн}}{n \cdot U_{ном}}, \quad (2.8)$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга лінії живлення, кВ;

n – кількість кіл/ланцюгів живлення;

$S_p^{вн}$ – це проєктна потужність, кВ • А.

КРБ.141EE6d_41.06.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	20

$$I_p = \frac{19094,80}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 110} = 50,11.$$

Виходячи із значення розрахункового струму, ми розрахуємо нестандартний переріз дроту, мм²

$$S = \frac{I_p}{j}, \quad (2.9)$$

де $j = 1,1$ – нормоване значення густини струму, А/мм² для кількості годин використання максимального навантаження 3800 год/рік

$$S = \frac{50,11}{1,1} = 45,55.$$

Для паралельно працюючих ліній у якості розрахункового струму $I_{p.max}$ приймають струм післяаварійного режиму за умови, що одна лінія постачання вийшла з ладу.

$$I_{p.max} = \frac{S_p^{BH}}{\sqrt{3} \cdot (n - 1) \cdot U_{ном}}, \quad (2.10)$$

Визначимо максимальний робочий струм у лінії, А

$$I_{p.max} = \frac{19094,80}{\sqrt{3} \cdot 110} = 100,22.$$

Для визначеного перерізу ми обираємо найближчий стандартний переріз дроту для ліній електропередач 110 кВ – сталевий алюмінієвий дріт класу АС 70/11. [5]. Допустимий струм для цього дроту $I_{доп} = 265$ А.

Перевіримо вибраний дріт на допустимий струм А

$$I_{p.max} \leq I_{доп}, \quad (2.11)$$

$$100,22 \leq 265$$

Умова виконана, отже, дріт вибраний правильно.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Перевірка перерізу на допустиму втрату напруги в нормальному та післяаварійному режимі:

Втрата напруги у номінальному режимі, %

$$\Delta U^n \leq \Delta U_{\text{доп}}^n. \quad (2.12)$$

$$\Delta U^n = \frac{(P_{\text{р}}^{\text{вн}} \cdot r_0 + Q_{\text{р}}^{\text{вн}} \cdot x_0) \cdot l}{n \cdot U_{\text{ном}}^2} \cdot 100\%, \quad (2.13)$$

де $P_{\text{р}}^{\text{вн}}$ і $Q_{\text{р}}^{\text{вн}}$ – це проєктна активна та реактивна потужність на високовольтній стороні ГЗП, МВт, Мвар;

r_0, x_0 – активний і реактивний опір вибраного дроту [6], $\Omega/\text{км}$;

l – це довжина лінії, км.

$$\Delta U^n = \frac{(18,09 \cdot 0,428 + 6,12 \cdot 0,444) \cdot 4}{2 \cdot 110^2} \cdot 100\% = 0,17.$$

$$0,17\% \leq 8\%.$$

Втрати напруги в режимі після аварії, %

$$\Delta U^{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}}^{\text{п/а}}. \quad (2.14)$$

$$\Delta U^{\text{п/а}} = 2 \cdot \Delta U^n. \quad (2.15)$$

$$\Delta U^{\text{п/а}} = 2 \cdot 0,17 = 0,34;$$

$$0,34\% \leq 12\%.$$

Вибраний дріт відповідає всім умовам.

Варіант 2 (10 кВ)

Другий варіант зовнішньої схеми живлення представлений у вигляді схеми – одна робоча система шини, розділена автоматичним вимикачем [7, 8].

Визначимо розрахунковий струм кабельної лінії в нормальному режимі, А

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$I_p = \frac{19094,80}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 551,22.$$

Виходячи з значення розрахункового струму, ми розрахуємо нестандартний переріз дроту, мм²

$$S = \frac{551,22}{1,4} = 393,73,$$

де $j = 1,4$ – нормоване значення густини струму, А/мм² для кількості годин використання максимального навантаження 3800 год/рік.

Визначимо максимальний робочий струм у лінії, А

$$I_{p.max} = \frac{19094,80}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1102,44.$$

Вибираємо кабель із зшитого поліетилену, поперечним перерізом

$$S_{станд} = 400 \text{ мм}^2.$$

Перевіримо вибраний дріт на допустимий струм, А

$$I_{p.max} \leq I_{доп}, \quad (2.16)$$

$$1102,44 \geq 525$$

Перевірка дозволеного струму не відповідає умові, тому давайте заживимо установку через чотири кабельні лінії (Рисунок 2.2)

Для живлення мережі 10 кВ ми приймаємо кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену: АПвБв – силовий кабель з алюмінієвим провідником, броньованим шаром сталевих стрічок із зовнішньою оболонкою з полівінілхлоридного пластику, $S = 3 \times (1 \times 500)$, $I_{доп} = 587 \text{ А}$ [9, 10].

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

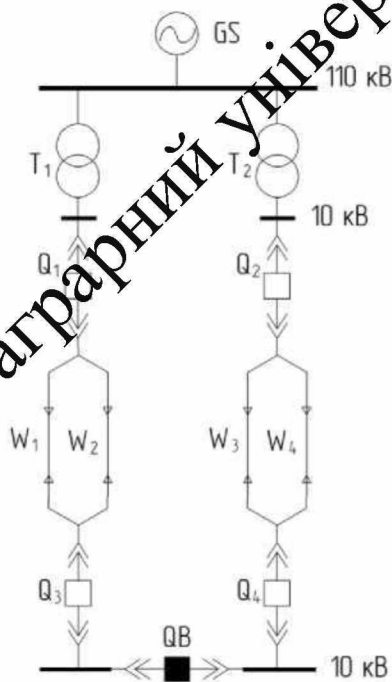


Рисунок 2.2 – Варіант 2 зовнішнього блоку живлення (10 кВ)

Максимальний робочий струм у лінії, А

$$I_{p.max} = \frac{19094,80}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 551,22.$$

Ми перевіряємо вибраний переріз на допустиме нагрівання, враховуючи допустиме навантаження в режимі після аварії та зменшення допустимого струму в нормальному режимі при прокладанні кабелів у одній траншеї. Беремо максимальний час усунення аварії (6 годин), і коефіцієнт навантаження ліній у нормальному режимі становить 0,6. Допустиме перевантаження $K_3 = 1,23$.

Коефіцієнт K_2 зниження навантаження струму вважається рівним 0,81. Коефіцієнт K_1 дорівнює 1, припускаючи, що температура відповідає розрахунковій температурі середовища, для якого таблиця для визначення $I_{доп}$.

Визначимо допустимий струм кабельних ліній за співвідношенням, А

$$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{доп} \geq I_{p.max} \quad (2.17)$$

$$1 \cdot 0,81 \cdot 1,23 \cdot 587 = 584,83 \geq 551,22.$$

Перевірка перерізу на допустимі втрати напруги в нормальному та післяаварійному режимах:

$$r_0 = 0,0605 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,148 \text{ Ом/км}.$$

$$\Delta U^n = \frac{(18,09 \cdot 0,0605 + 6,12 \cdot 0,148) \cdot 4}{4 \cdot 10^2} \cdot 100\% = 2,0.$$

$$2,0\% \leq 5\%.$$

Втрати напруги в режимі після аварії, %

$$\Delta U^n = \frac{(18,09 \cdot 0,0605 + 6,12 \cdot 0,148) \cdot 4}{2 \cdot 10^2} \cdot 100\% = 4,0.$$

$$4\% \leq 12\%.$$

Обраний кабель відповідає всім умовам.

Варто зазначити, що більш доцільним буде 2-й варіант який забезпечує необхідний рівень надійності та є більш раціональним через те, що має у складі на два трансформатора менше, кожен з яких коштує ≈ 19 млн.грн.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

3 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ВИБІР КОМПЕНСАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Підстанції з двома трансформаторами рекомендуються у таких випадках: з переважанням споживачів категорії I; для концентрованого навантаження майстерні; для виробничих приміщень з високою питомою густиною навантаження.

3.1 Вибір кількості та потужності виробничих трансформаторів

Орієнтовний вибір кількості та потужності виробничих трансформаторів здійснюється відповідно до питомої густини навантаження $\text{kB} \cdot \text{A}/\text{m}^2$

$$\sigma_H = \frac{S_p}{F}, \quad (3.1)$$

де S_p – це проєктне навантаження виробничого приміщення, $\text{kB} \cdot \text{A}$;

F – це площа виробничого приміщення, m^2 .

При $\sigma_H = 0,2$ використовуються трансформатори з потужністю до 1000 – 1600 kVA ;

при $0,2 < \sigma_H < 0,5$ – трансформатори з потужністю 1000 $\text{kB} \cdot \text{A}$;

при $\sigma_H > 0,5$ використовуються трансформатори з потужністю 1600 або 2500 kVA .

Результати розрахунку питомої густини навантаження виробничих приміщень подано у табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку питомої густини навантаження виробничих приміщень

№	Назва майстерні	$S_p, \text{kB} \cdot \text{A}$	F, m^2	σ_H
1.	Головна будівля	1881,10	125496	0,04
2.	Адміністративна будівля	303,00	4320	0,07
3.	Склад продукції	426,24	45000	0,01
4.	Цех комплектації	370,16	14976	0,02
5.	Пилорама	781,69	6264	0,12
6.	Сушарка	1630,20	45360	0,04
7.	Склад сировини	417,82	48960	0,01
8.	Водозабір	196,86	5616	0,04
9.	Цех зняття кори	130,70	1080	0,12
10.	Транспортна цех	698,48	4608	0,15
11.	Парова котельня	1159,05	4032	0,29
12.	Котельня для гарячої води	1144,29	2520	0,45
13.	Котельня станція	139,20	4680	0,03
14.	Компресор	531,10	900	0,59
15.	Склад палива та мастила	44,92	900	0,05
16.	Центральне опалення	99,80	900	0,11
17.	Насосна станція: 0,4 кВ; 10 кВ	183,34	1188	0,15
18.	Цех комплектації виробів	3639,04	41544	0,09

Вибір номінальної потужності трансформаторів здійснюється відповідно до проектної потужності нормального та аварійного режимів роботи на основі раціонального навантаження в нормальному режимі та з урахуванням мінімально необхідної резервності у післяаварійному режимі. Номінальна потужність трансформаторів становить $S_{\text{ном.т}}$ і визначається середнім навантаженням для максимального навантаженої зміни:

$$S_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{см}}}{N \cdot K_z} \quad (3.2)$$

де N – кількість трансформаторів;

K_z – це коефіцієнт навантаження трансформатора (для виробничих приміщень з переважанням навантажень категорії I $K_z = 0,75 - 0,8$; з переважанням навантажень категорії II $K_z = 0,8 - 0,9$; з переважанням навантажень категорії III $K_z = 0,95 - 1$).

При виборі кількості та потужності центральної опалювальної станції одночасно вирішується питання економічно доцільного значення реактивної потужності, що передається через трансформатори до мережі напруги до 1000 В.

Загальна проєктна потужність низьковольтних компесуючих пристроїв, встановлених у мережі виробничих приміщень, розраховується відповідно до мінімуму поточних витрат у два етапи:

Мінімальна кількість виробничих трансформаторів – N_{min} однакової потужності – $S_{ном.т}$ призначені для живлення технологічно пов'язаних навантажень, визначаються формулою:

$$N_{min} = \frac{P_{см}}{K_3 \cdot S_{ном.т}} + \Delta N, \quad (3.3)$$

де $P_{см}$ – середня активна потужність технологічно пов'язаних навантажень для найбільш навантаженої зміни;

K_3 – рекомендований коефіцієнт навантаження на трансформатор;

ΔN – це додавання до найближчого цілого числа.

Оптимальна кількість трансформаторів визначається формулою:

$$N_{опт} = N_{min} + m, \quad (3.4)$$

де m додатково встановлені трансформатори.

Розглянемо вибір трансформаторів для комплексних трансформаторних підстанцій ТПЗ, ТПЗа (виробничих приміщень 7, 14, 18):

Номінальна потужність трансформаторів, кВт · А

З встановленням двох трансформаторів

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_3} = \frac{4887,96}{2 \cdot 0,85} = 2698,80.$$

З встановленням 4 трансформаторів

КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	28

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_3} = \frac{4587,96}{4 \cdot 0,69} = 1349,40.$$

Враховуючи питоме навантаження $\sigma_H = 0,69$, ми обираємо трансформатори з номінальною потужністю 2500 кВ.

Мінімальна кількість трансформаторів у виробничих приміщеннях

$$N_{\min} = \frac{(P_{\Sigma} + P_{\text{ро}})}{S_{\text{ном.т}}} + \Delta N = \frac{3700,77}{0,85 \cdot 2500} = 1,74 + 2,26 = 4.$$

Оптимальна кількість трансформаторів

$$N_{\text{опт}} = N_{\min} + m = 4 + 0 = 4. \quad (3.5)$$

Для забезпечення виробничих приміщень: 7, 14, 18, ми обираємо чотири трансформатори ТМ-2500/10 [11, 12].

Коефіцієнт навантаження трансформатора в нормальному режимі

$$K_3^{\text{н.р}} = \frac{S_p}{n_T \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{4587,96}{4 \cdot 2500} = 0,5 \leq 0,8.$$

Коефіцієнт навантаження трансформатора в аварійному режимі

$$K_3^{\text{а.р}} = \frac{S_p}{(n_T - 1) \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{4587,96}{3 \cdot 2500} = 0,6 \leq 1,4.$$

Проведемо аналогічні розрахунки для інших виробничих приміщень (ВП).

Результати розрахунків узагальнено у Таблиці 3.2

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 3.2 – Результати обчислення оптимальної кількості трансформаторів

П/ст.	Місце	ВП (виробн. прим.)	$P_P + P_{PO}$, кВт	S_{p_2} , кВ·А	K_3	$S_{НОМ·T}$, кВ·А	N_{min} без ΔN	N_{min}	m	N_{Omm}	
ТП1, ТП1а, ТП1б	ВП 1	ВП 1, 3, 4, 13	5270,1	5874,7	0,10	0,85	1600	3,88	6	0	6
ТП2	ВП 6	ВП 2, 6, 16	1800,7	2032,9	0,22	0,85	1600	1,32	2	0	2
ТП3, ТП3а	ВП 18	ВП 7, 14, 18	3700,8	4587,9	0,69	0,85	2500	1,74	4	0	4
ТП4	ВП 10	ВП 8, 9, 10, 15	855,2	1070,9	0,36	0,85	1600	0,63	2	0	2
ТП5	ВП 5	ВП 5, 17	780,0	965,0	0,27	0,85	1600	0,57	2	0	2
ТП6	ВП 11	ВП 11	891,4	1159,0	0,29	0,85	1600	0,66	2	0	2
ТП7	ВП 12	ВП 12	872,1	1144,3	0,45	0,85	1600	0,64	2	0	2

Таблиця 3.3 – Дані про трансформатори виробничих приміщень

П/ст.	$S_{НОМ·Т}$, кВ·А	$N_{Оmm}$	Тип трансформатора	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_{K3} , кВт	u_K , %	I_{XX} , %
ТП1, ТП1а, ТП1б	1600	6	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3
ТП2	1600	2	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3
ТП3, ТП3а	2500	4	ТМ-2500/10	4,6	26,0	5,5	1,0
ТП4	1600	2	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3
ТП5	1600	2	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3
ТП6	1600	2	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3
ТП7	1600	2	ТМ-1600/10	3,3	16,5	5,5	1,3

3.2 Вибір компенсуючих пристроїв (КП)

Максимальна реактивна потужність, яка доцільна передавати через трансформатори до мережі з напругою 0,4 кВ, визначається формулою

$$Q_{max.г} = \sqrt{(N_{опт} \cdot K_3 \cdot S_{ном.г})^2 - (P_p + P_{po})^2}. \quad (3.6)$$

Загальна ємність компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ

$$Q_{нк1} = Q_p - Q_{max.г}. \quad (3.7)$$

Якщо $S_{нк1} < 0$, то встановлення компенсуючих пристроїв не потрібне.

Додаткове потужність компенсуючих пристроїв $S_{нк2}$ для цієї групи трансформаторів

$$Q_{нк2} = Q_p - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_{опт} \cdot S_{ном.г}, \quad (3.8)$$

де γ – це розрахунковий коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта питомих втрат.

Якщо в розрахунках виявиться, що $Q_{нк2} < 0$, то реактивна потужність цього трансформатора вважається нульовою.

Загальна потужність компенсуючих пристроїв цеху становить

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (3.9)$$

Проектна потужність компенсуючих пристроїв $Q_{нк}$ округлюється до найближчої потужності комплектних компенсуючих пристроїв стандартної ємності.

Для прикладу розрахуємо вибір компенсуючих пристроїв ТПЗ, ТПЗа (виробничих приміщень 7, 14, 18).

Давайте розрахуємо максимальну реактивну потужність за формулою (3.6), квар.

$$Q_{max.г} = \sqrt{(4 \cdot 0,85 \cdot 2500)^2 - 3700,77^2} = 7652,1.$$

$$Q_{нк1} = Q_p - Q_{max.г} = 2617,31 - 7652,1 = -5034,8.$$

Загальна ємність компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ, квар.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Оскільки $Q_{HK1} < 0$, налаштування компенсуючих пристроїв не потрібне при виборі трансформаторів (складова Q_{HK1} буде порівняна до нуля).

Додаткова потужність компенсуючих пристроїв для зменшення втрат живлення в трансформаторах відповідно до формули (3.8), квар.

$$Q_{HK2} = 2617,310 - 0,6 \cdot 4 \cdot 2500 = -3382,7,$$

Додаткова ємність компенсуючих пристроїв не потрібна.

Аналогічно робимо подібний розрахунок для решти ТР і зводимо його у Таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір потужності компенсуючих пристроїв

П/ст.	Споживачі електроенергії	Q_P , квар	$Q_{max.T}$, квар	Q_{HK1} , квар	γ	Q_{HK2} , квар	Q_{HK} , квар	$Q_{HK1.Ф}$ акт, квар	Кіл-ть КП	Тип блоків
ТР1, ТР1а, ТР1б	ВП 1, 3, 4, 13	2419,0	6229,9	-3810,9	0,53	1141,9	-2669,0	0	-	-
ТР2	ВП 2, 6, 16	931,2	2038,6	-1107,4	0,63	22,6	-1084,8	0	-	-
ТР3, ТР3а	ВП 7, 14, 18	2617,3	7652,1	-5034,8	0,6	1652,1	-3382,7	0	-	-
ТР4	ВП 8, 9, 10, 15	640,5	2582,1	-1941,6	0,63	566,1	-1375,5	0	-	-
ТР5	ВП 5, 17	565,5	2605,8	-2040,3	0,63	589,8	-1450,5	0	-	-
ТР6	ВП 11	740,8	2569,8	-1829,0	0,63	553,8	-1275,2	0	-	-
ТР7	ВП 12	740,8	2576,4	-1835,6	0,63	560,4	-1275,2	0	-	-

Загальна проектна потужність високовольтних компенсуючих пристроїв (ВКБ) для всього підприємства визначається на основі стану реактивного балансу потужності.

При виборі КП, припускаючи незначну довжину ліній на підприємстві, можна вважати все підприємство як вузол мережі 10 кВ, до якої підключено реактивне навантаження та три типи реактивних джерел живлення: синхронні двигуни на 10 кВ, енергосистема та високовольтні конденсаторні батареї.

Баланс реактивної потужності у вузлі 10 кВ підприємства виглядає так:

$$\Sigma Q_p^{10 \text{ кВ, грп}} - \Sigma Q_{\text{вк}} - \Sigma Q_{\text{сд}} - \Sigma Q_{\text{нк.факт}} = 0. \quad (3.10)$$

Кожен встановлений синхронний двигун є потенційним джерелом реактивної потужності, мінімальне значення якої, відповідно до умови стабільної роботи синхронного двигуна, визначається формулою, квар:

$$\Sigma Q_{\text{сд}} = \Sigma P_{\text{ном.сд}} \cdot K_{\text{сд}} \cdot \tan \varphi_{\text{ном}}, \quad (3.11)$$

де $K_{\text{сд}}$ – це коефіцієнт навантаження для активної потужності.

$$\Sigma Q_{\text{сд}} = 2000 \cdot 0,85 \cdot 0 = 0.$$

Вхідна реактивна потужність Q встановлюється енергосистемою як оптимальна реактивна потужність, яку можна передати підприємству під час періоду найбільшого навантаження енергосистеми, квар

$$Q = K_{\alpha} \cdot P_{\Sigma(0,4 \text{ кВ})} = 0,29 \cdot 16303,75 = 4728,09,$$

де $K_{\alpha} = 0,29$ при $U = 110 \text{ кВ}$.

Отже, потрібна потужність високовольтних компенсуючих пристроїв визначається за формулою

$$\Sigma Q_{\text{вк}} = \Sigma Q_p^{10 \text{ кВ, грп}} - \Sigma Q_{\text{сд}} - Q_{\Sigma} + \Sigma \Delta Q_{\text{ц.т}} - \Sigma Q_{\text{нк.факт}} \quad (3.12)$$

$$\Sigma Q_{\text{вк}} = 8655,08 - 0 - 4728,09 + 1845,87 - 0 = 5772,86.$$

Таблиця 3.5 – Вибір потужності високовольтних конденсаторів

Тип ВКП	Кількість	$Q_{\text{ФАКТ}}$, квар
УКРМ-10,5-2900		5800

УКРМ-10,5-2900 - це високовольтна конденсаторна установка для підвищення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ у мережах напругою 10,5 кВ. Число «2900» у маркуванні позначає номінальну потужність установки - 2900 квар [13].

3.3 Вибір перерізу кабельної лінії

Зовнішні мережі промислових підприємств (10 кВ і більше) спроектовані для передачі електроенергії від джерела живлення до приймальної точки промислового підприємства.

Для збільшення пропускної здатності та надійності кабельних ліній використовують кілька кабелів, підключених паралельно.

Пропускна здатність кабельних ліній має відповідати режимам після аварійного режиму роботи, які виникають у разі відмови одного з джерел живлення.

Визначимо проектний струм лінії подачі від головної розподільчої підстанції до ТП1, ТП1а, ТП1б у нормальному I_p та післяаварійному $I_{p.max}$ режимах, А

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном}} = \frac{1600 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 277,1.$$

$$I_{p.max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot (n - 1) \cdot U_{ном}} = \frac{1600 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 10} = 554,3,$$

де $U_{ном}$ – номінальна напруга кабельної лінії, кВ;

n – кількість паралельних кабелів;

S_p – проектна потужність, кВ · А.

Визначення нестандартного перерізу кабелю, мм²

$$S = \frac{I_p}{j} = \frac{277,1}{1,4} = 197,9.$$

де $j = 1,4$ – нормоване значення щільності струму, А/мм².

Найближчий переріз кабелю – 240 мм², $I_{доп} = 428$ А.

$$I_{доп} = 428 < 554,3 = I_{p.max}$$

Умова не виконана, виконаємо живлення ТП1, ТП1а, ТП1б через чотири кабельні лінії

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном}} = \frac{1600 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 10} = 138,6.$$

$$I_{p.max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot (n-2) \cdot U_{ном}} = \frac{1600 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 277,1.$$

Визначення нестандартного перерізу кабелю, мм²

$$S = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{138,6}{1,4} = 99,0.$$

Вибірємо кабель АПвПу 1х120/16-10 з ізоляцією з зшитого поліетилену перерізом 120 мм², $I_{дон} = 298$ А.

Ми перевіряємо вибраний переріз на допустиме нагрівання, враховуючи допустиме навантаження в режимі після аварії та зменшення допустимого струму в нормальному режимі при прокладанні кабелів у одній траншеї. Беремо максимальний час усунення аварії (6 годин), і коефіцієнт навантаження ліній в нормальному режимі становить 0,6. Допустиме перевантаження $K_3 = 1,23$.

Коефіцієнт зниження струмового навантаження K_2 вважається рівним 0,8. Вважається, що коефіцієнт K_1 дорівнює 1, за умови, що температура відповідає розрахунковій температурі середовища.

Значення довгострокового допустимого струму дорівнює А

$$I_{доп.р} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{доп}, \quad (3.13)$$

$$I_{доп.р} = 1 \cdot 0,8 \cdot 1,23 \cdot 298 = 293,2.$$

$$I_{доп.р} = 293,2 \geq 184,8 = I_{p.max}.$$

Так само ми зробимо розрахунки для решти цехів і занесемо дані до таблиці 3.6 і 3.7.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 3.6 – Кабельні лінії 10 кВ

Дільниця	S_p , кВ·А	n	I_p , А	$I_{p,max}$, А	S , мм ²	Марка	S_{CT} , мм ²	I_{don} , А	I_{don-p} , А
ТП1, ТП1а, ТП1б	9600	4	138,6	277,1	99,0	АПвПу	1(3x120)	298	293,2
ТП2	3200	2	92,4	184,8	66,0	АПвПу	1(3x70)	240	265,7
ТП3, ТП3а	10000	4	144,8	288,7	103,1	АПвПу	1(3x120)	298	293,2
ТП4	3200	2	92,4	184,8	66,0	АПвПу	1(3x70)	240	265,7
РУ1	4800	2	138,6	277,1	99,0	АПвПу	1(3x120)	298	329,9
ТП5	3200	2	92,4	184,8	66,0	АПвПу	1(3x70)	240	265,7
ТП6	6400	2	184,8	369,5	132,0	АПвПу	1(3x185)	371	410,7
ТП7	3200	2	92,4	184,8	66,0	АПвПу	1(3x70)	240	265,7

Для живлення мережі 10 кВ ми приймаємо кабелі марки АПвПу – кабель живлення з ізоляцією провідників із перехресного поліетилену, з алюмінієвим провідником, броньованим шаром сталевих стрічок із зовнішньою оболочкою з полівінілхлоридного пластику.

Таблиця 3.7 – Кабельні лінії напругою 0,4 кВ

Дільниця	S_p , кВ·А	n	I_p , А	$I_{p,max}$, А	S , мм ²	Марка	S_{CT} , мм ²	I_{don} , А	I_{don-p} , А
ТП1 - РП1	139,2	2	100,5	200,9	71,8	АПвБбШп	1(3x95)	255	263,9
ТП1 - РП2	426,2	1	615,2	-	439,4	АПвБбШп	3(1x630)	653	751,0
ТП1 - РП3	370,2	2	267,1	534,3	190,8	АПвБбШп	3(1x240)	465	481,3
ТП2 - РП4	303,0	2	218,7	437,3	156,3	АПвБбШп	3(1x240)	465	481,3
ТП2 - РП5	99,8	2	72,0	144,0	21,4	АПвБбШп	1(3x70)	210	217,4
ТП3 - РП6	417,8	1	603,1	-	430,8	АПвБбШп	3(1x630)	653	751,0

КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

Продовження табл. 3.7

ТП3 - РП7	531,1	4	191,6	255,5	136,9	АПвБШп	1(3x150)	329	302,7
ТП4 - РП8	44,9	1	64,8	-	46,3	АПвБШп	1(3x50)	175	201,3
ТП4 - РП9	327,5	2	236,4	472,8	198,9	АПвБШп	1(3x185)	385	398,5
РП9-РП10	130,70	2	94,3	188,9	67,4	АПвБШп	1(3x70)	210	217,4
ТП5 - РП11	183,34	2	132,3	264,6	94,5	АПвБШп	1(3x120)	295	305,3

Для живлення мережі 0,4 кВ ми приймаємо кабель АПвБШп – кабель силовий з алюмінієвими жилами, ізоляцією із зшитого поліетилену та захисним покриттям типу БШп [4].

Призначений для передачі і розподілу електроенергії у стаціонарних мережах та установках зі змінною напругою 0,66; 1 кВ частотою 50 Гц.

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Основною причиною порушення нормальної роботи системи живлення є виникнення короткого замикання в мережі або елементах електрообладнання через пошкодження ізоляції або неправильні дії експлуатаційного персоналу. Для зменшення пошкоджень, спричинених відмовою електрообладнання під час потоку короткого замикання, а також швидкого відновлення нормального режиму роботи системи живлення, необхідно правильно визначити струми короткого замикання та обрати захисне обладнання та засіб обмеження струмів короткого замикання на їх основі.

Для розрахунку струмів короткого замикання розробляється схема замикання, у якій всі магнітні зв'язки замінюються електричними, а всі елементи системи живлення представлені опорамі.

Початкова схема підстанції для розрахунку струмів короткого замикання з заданими точками короткого замикання показана на рисунку 3.1

Рисунок 3.1 - Схема обчислення та схема заміщення

Точка КЗ	I_{p0} , кА	$I_{пит}$, кА	W_K , кА ² ·с
К-1	6,220	15,834	8,125
К-2	5,783	14,722	7,024
К-3	5,851	14,893	7,188
К-4	32,89	65,122	223

3.5 Вибір обладнання

3.5.1 Вибір вимикачів і комутаційного обладнання для 10 кВ

Автоматичний вимикач — це пристрій для перемикання, призначений для вмикання та вимикання електричних ланцюгів у будь-яких режимах: тривале навантаження, перевантаження, коротке замикання, простій, несинхронна робота.

Вибір вхідних перемикачів на 10 кВ

Виберемо вакуумний автомат ВВ/ТВ-10-20-1600 для встановлення в КРУ-2-10 (Комплектний розподільний пристрій КРП 6(10) кВ). Перевірка автоматичного вимикача наведена в таблиці 3.9 [15].

Таблиця 3.9 - Перевірка вхідних комутаторів на 10 кВ

Параметри схеми	Технічні характеристики	Умови вибору
10 кВ	10 кВ	$U_{вст} < U_{ном}$
1200 А	1600 А	$I_{р.мах} < I_{ном}$
6,22 кА	20,0 кА	$I_{Пт} < I_{відх.ном}$
15,83 кА	20 кА	$i_{num} < i_{пр.скв}$
8,13 кА ² с	1200 кА ² с	$B_K < I_T^2 \cdot t_T$

Оскільки шафи серії КРУ-ТВ-10 застосовуються в закритих розподільних пристроях (ЗРУ) і електроустановках з вакуумними вимикачами, немає потреби перевіряти вибір роз'єднувачів [16].

Вибір секційних вимикачів і автоматичних вимикачів на 10 кВ для ліній живлення ТП, РП1, СД1 та СД2

Ми виберемо перемикачі секцій і перемикачі на вихідних лініях ВВ/TEL-10-20-630 [17].

Таблиця 3.10 - Перевірка автоматичних вимикачів на 10 кВ

Параметри схеми проектування	Технічні характеристики	Умови вибору
10 кВ	10 кВ	$U_{вст} < U_{ном}$
551.2 А	630 А	$I_{р.мах} < I_{ном}$
6,22 кА	20,0 кА	$I_{Пт} < I_{відх.ном}$
15,83 кА	20 кА	$i_{num} < i_{пр.скв}$
8,13 кА ² с	1200 кА ² с	$B_K < I_T^2 \cdot t_T$

3.5.2 Вибір шини розподільчих пристроїв

У закритих розподільчих пристроях 4-10 кВ збірні шини виготовляються з жорстких алюмінієвих пластин, мідні шини не використовуються навіть при високих струмових навантаженнях через їхню високу вартість. Для струмів до 3000 А використовуються одно- та двосмугові шини.

Вибір жорстких шин здійснюється за такими критеріями:

- 1) тривалому допустимому струму $I_{\text{доп}} > I_{p\text{-max}}$, де $I_{\text{доп}}$ – допустимий струм шини вибраного перерізу;
- 2) термічній стійкості $q > q_{\text{min}}$, де q_{min} – мінімальний переріз для термічної стійкості, мм²; q – вибраний переріз шин;
- 3) механічній міцності $\sigma_{\text{доп}} > \sigma_{\text{розр}}$, де $\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме механічне напруження в матеріалі.

Вибираємо алюмінієву шину прямокутним перерізом 60x10. Характеристики шини наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Характеристики прямокутної алюмінієвої шини

Розміри шин, мм	Переріз смуги, мм ²	Допустимий струм, А
60x10	600	1115

Перевіримо вибрані шини відповідно до наведених вище умов

- 1) $I_{\text{доп}} > I_{p\text{-max}}$: 1115 > 1102;
- 2) Щоб перевірити термічну стійкість, визначимо мінімальний переріз шини [18], мм²,

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \quad (3.13)$$

де $B_K = 5,583 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$;

$C = 91$;

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{5,583 \cdot 10^6}}{91} = 25,97;$$

отримуємо $q > q_{min}$: $600 > 25.97$;

3) Щоб перевірити механічну міцність, ми знайдемо питому силу при трифазному короткому замиканні, Н/м,

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{\Pi}^{(3)2}}{a}, \quad (3.14)$$

де $a = 0,5$ м – це відстань між сусідніми фазами шин;

$i_{\Pi}^{(3)2} = 13,125$ кА – це значення ударного струму.

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(13,125 \cdot 10^3)^2}{0,50} = 59,67;$$

згинаючий момент, Н/м,

$$M = \frac{f^{(3)} \cdot l^2}{10}; \quad (3.15)$$

де $l = 0,75$ – довжина прольоту між опорними ізоляторами конструкції шини

$$M = \frac{59,67 \cdot 0,75^2}{10} = 3,36.$$

Визначаємо момент опору шин відносно осі, см³,

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (3.16)$$

де b і h – висота та ширина шинної смуги відповідно, коли шини горизонтальні,

$$W = \frac{1 \cdot 6^2}{6} = 6,0$$

Визначаємо напругу в матеріалі шини, МПа

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3,36}{6,0} = 0,56,$$

Приймаємо $\sigma_{don} = 40$ МПа.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$\sigma_{\text{доп}} = 40 \geq 0,56 = \sigma_{\text{факт}}$$

Умова виконується.

Для РП1 ми вибираємо алюмінієву шину з прямокутним перерізом 30×4. Характеристики шини наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Характеристики прямокутної алюмінієвої шини для комутаційної техніки

Розміри шин, мм	Переріз смуги, мм ²	Допустимий струм, А
30×4	120	365

Перевіримо вибрані шини:

1) $I_{\text{доп}} > I_{p\text{-max}}: 365 > 277;$

2) Щоб перевірити термічний опір, визначимо мінімальний переріз шини, мм²,

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{c} = \frac{\sqrt{7,188 \cdot 10^6}}{91} = 29,46;$$

отримуємо $q > q_{\text{min}}: 120 > 29,46;$

3) Щоб перевірити механічну міцність, ми знайдемо питому силу при трифазному короткому замиканні згідно, Н/м,

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{\text{уд}}^{(3)2}}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(14,893 \cdot 10^3)^2}{0,56} = 76,83.$$

Момент згинання, Н/м,

$$M = \frac{f^{(3)} \cdot l^2}{10} = \frac{76,83 \cdot 0,75^2}{10} = 4,32.$$

Визначаємо момент опору шин відносно осі відповідно до [19], см³,

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,4 \cdot 3^2}{6} = 0,6.$$

Визначаємо напругу в матеріалі шини, МПа:

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{4,32}{0,6} = 7,2,$$

приймається $\sigma_{don} = 40$ МПа;

$$\sigma_{don} = 40 \geq 7,2 = \sigma_p$$

Умова виконана.

3.6 Вибір вимірювальних трансформаторів

Контроль режимів роботи основного та допоміжного обладнання на підстанції здійснюється за допомогою приладів керування та вимірювання. Ці пристрої належать до вторинних схем і підключені до первинних ланцюгів за допомогою трансформаторів вимірювання струму та напруги

Вибір ТС у комутаційному обладнанні на 10 кВ

Умови вибору трансформаторів струму:

- 1) залежно від напруги установки, $U_{вст} \leq U_{ном}$;
- 2) по максимальному току $I_{р-тах} < I_{ном}$;
- 3) з точки зору теплового опору $B_k \leq I^2_T \cdot t_T$;
- 4) за класом точності.

Таблиця 3.13 – Вторинне навантаження ТС на 10 кВ

Апарат	Тип	Клас точності	Фазове навантаження, ВА		
			I	B	3
Амперметр	E350 [20]	1,5	0,5	0,5	0,5
Лічильник активної та реактивної енергії	NIK 2303 ARTT.1400.МС.11 [21]	0,5	2,5	-	2,5
Разом			3	0,5	3

Розрахункові та каталожні дані ТС наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Вибір ТС 10 кВ

Умови відбору	Омнікові значення	Каталожні дані ТОЛ-10
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{р.мах} \leq I_{ном}$	1102 А	1500 А
$B_k \leq I^2_{т} \cdot t_{т}$	8,13 кА ² с	72,03 кА ² с
Клас точності	0,5	0,5

Вибір трансформаторів струму для інших з'єднань буде здійснюватися аналогічним способом. Результати розрахунків узагальнені у Таблиці 3.15

Таблиця 3.15 – Вибір трансформаторів струму для ГРП-10 кВ

№	Назва сполучення	$I_{р.мах}$	Тип струмового трансформатора
1	Вхід на 10 кВ	1102	ТОЛ-10-1-1500U2
2	ГРП - ТП1, ТП1а, ТП1б, РП1	277,1	ТОЛ -10-1-300U2
3	ГРП - ТП2, ТП4, ТП5	184,8	ТОЛ -10-1-200U2
4	ГРП - ТП3, ТП3а,	288,7	ТОЛ -10-1-300U2
5	ГРП - ТП6	369,5	ТОЛ -10-1-400U2
6	РП1 - СД 1, РП1 - СД 2	57,7	ТОЛ -10-1-75U2

Вибір трансформатора напруги на 10 кВ

Умови вибору трансформатора напруги:

- 1) Залежно від напруги установки, $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- 2) по вторинному навантаженню $S_2 \leq S_{2ном}$

Розрахункові навантаження вимірювального трансформатора на стороні ВН наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Розрахункові навантаження вимірювального ТН

Прилад	Тип	Собм, В·А	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$n_{тр}$	P, Вт	Q, квар
Вольтметр	Е335	2	1	0	1	2,0	-
Лічильник активної та реактивної енергії	NIK 2303 ARTT.1400.MC.11	1	1	0,38	1	0,38	0,925
Разом						2,38	0,925

Визначимо потужність пристроїв, підключених до VT, $V \cdot L$

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (3.17)$$

$$S_2 = \sqrt{4,28^2 + 5,52^2} = 6,98.$$

Ми обираємо трансформатор напруги НАМИ-1-6 (10) У2 [22].

Основними особливостями даних трансформаторів є те, що вони можуть тривалий час працювати в режимі при підвищеній напруги (до 3 $U_{ном}$), яке виникає на кожній із трьох фаз, що виникає внаслідок ферорезонансним явищ в мережі, а також невелика залежність похибок від потужності навантаження. Трансформатори НАМИ-1 виготовлені за сучасними технологіями з використанням технічних рішень, які спрямовані на підвищення міцності і ізоляційних характеристик, а також надійності трансформаторів. Розрахункові та каталожні дані ТН наведені в Таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Вибір ТН на стороні 10 кВ

Умова відбору	Оцінкові значення	Каталожні дані НАМИ-10У2
$U_{вст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$S_2 \leq S_{2ном}$	6.98 В·А	75 В·А

3.7 Вибір запобіжників для трансформаторів ВН виробничих трансформаторів

Запобіжник – це пристрій, призначений для автоматичного одноразового відключення електричного кола у разі короткого замикання або перевантаження. Схема від'єднується запобіжником шляхом розплавлення лінії запобіжника, який нагрівається струмом, що проходить через нього захищеного кола. Після від'єднання ланцюга потрібно замінити вручну.

Умови відбору:

- 1 За напругою установки $U_{вст} \leq U_{ном}$;

- 2 За максимальним струмом $I_{p.макс} \leq I_{ном}$;
- 3 За струмом вимкнення $I_{p0} \leq I_{відкл}$
- 4 За номінальним струмом плавкого запобіжника, $I_{p.макс} \leq I_{p.ном}$.

Таблиця 3.18 – Вибір запобіжників для трансформаторних підстанцій з трансформаторами 1600 кВ•А

Умова вибору	Значення	Каталожні дані запобіжника ПКТ-103-10-100-12,5-У3-КЕАЗ [23]
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{p.макс} \leq I_{ном}$	92 А	100 А
$I_{п0} \leq I_{відкл}$	5,78 кА	12,5 кА
$I_{p.макс} \leq I_{в.ном}$	92 А	150 А

Таблиця 3.19 – Вибір запобіжників для трансформаторних підстанцій з трансформаторами 2500 кВ•А

Умова вибору	Значення	Каталожні дані ПКТ-104-10-160-20-У3-КЕАЗ [24]
$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{p.макс} \leq I_{ном}$	144 А	160 А
$I_{п0} \leq I_{відкл}$	5,78 кА	50 кА
$I_{p.макс} \leq I_{в.ном}$	144 А	150 А

3.8 Вибір автоматичних вимикачів на НН виробничих трансформаторів

Автоматичний вимикач призначений для автоматичного розмикання електричних ланцюгів у аварійних режимах та для нечастих оперативних перемикачів у звичайних режимах роботи.

Автоматичні вимикачі виготовляються для схем змінного струму до 1000 В для номінальних струмів від 6,3 до 6300 А.

Умови вибору:

1. Відповідно до напруги установки, $U_{встм} \leq U_{ном}$;
2. За струмом $I_{p.макс} \leq I_{ном}$;
3. За струмом спрацювання $I_{p0} \leq I_{відкл}$

Через вплив струму, що обмежує електродинамічний опір, високошвидкісні автоматичні машини не перевіряються, і лише вибіркові автомати перевіряються на тепловий опір.

Результати вибраних автоматичних вимикачів типу ВА 59-35 [25], узагальнені у таблиці 3.20.

Таблиця 3.20 – Вибір автоматичних вимикачів на 0,4 кВ

Умова вибору	Значення	Каталожні дані
$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
$I_{р.мах} \leq I_{ном}$	615 А	630 А
$I_{пр} \leq I_{відкл}$	32,89 кА	135 кА

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ТА ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ

4.1 Розрахунок капітальних вкладень

Для оцінки обсягу капітальних інвестицій у будівництво енергетичних об'єктів використовуються приблизні методи, засновані на збільшених показниках витрат. Для орієнтовної оцінки витрат на основні засоби проведемо підрахунок витрат, показаний у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок капітальних вкладень

Обладнання та засоби автоматизації	Кількість обладнання Довжина лінії – м.	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4
Кабель АПвПу (2 кабелі на траншею)	2х4000 = 8000	3000	24000000
Кабель ВБбШв 3х185+1х50	4000	5 945	23780000
Вакуумні вимикачі (ВВ/TEL-10-20-1600)	5	75000	375000
Шафи серії КРУ-ТВ-10	5	15000	75000
Високовольтні конденсатори	2	977 500	1955000
Трансформатори ТМ-1600/10	16	1276000	20416000
ТМ-2500/10	4	1250000	5000000
Амперметр Е350	5	550	2750
Лічильник активної та реактивної енергії NIK 2303 ARTT.1400.MC.11	5	5200	26000
Запобіжник ПКТ-104-10-1600-20-УЗ-КЕАЗ	5	7000	35000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ

Арк.

48

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
Запобіжник ПКТ-103-10-100-12,5-УЗ-КЕАЗ	5	2500	12500
Вимикачі типу ВА 59-35	3	5000	25000
Разом			75702250

4.2 Безпека та охорона праці

Засоби та заходи безпеки у разі випадкової появи напруги на металевих корпусах електрообладнання.

Щоб запобігти випадковій напругі на металевих частинах, корпусах тощо, а також зменшити ступінь електричного удару, необхідно виконати наступне:

- ізоляцію провідників, тобто вимірювання опору при прийнятті після монтажу, періодично – в межах часових інтервалів, встановлених правилами та стандартами перевірки ізоляції;
- захисне (робоче) заземлення підстанцій і мобільного електрообладнання;
- релейний захист (диференціальний захист від коротких замикань між фазами; захист від струму перевантаження від зовнішніх коротких замикань, перевантажень і зовнішніх однофазних коротких замикань).;
- захист від блискавки в будівлі ГРП;

4.2.1 Захист від блискавки

Захист ГРП від блискавки здійснюється металевою сіткою, укладеною на дах, оскільки дах ГРП не засмолений. Ця сітка підключена до заземлювальних провідників для захисту від прямих ударів блискавки. Наявність металевої сітки, покладеної на дах будівлі, забезпечує захист від блискавки майже в будь-якій точці поверхні будівлі.

Для забезпечення безпеки людей, які працюють на установках з напругою до 1000 В і вище, необхідно встановити заземлювальні пристрої на металеві деталі

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

електрообладнання та електричних установок.

Давайте розрахуємо заземлення ГРП. Грунт на місці будівництва – суглинковий, кліматична зона – І, природне заземлення не використовується.

Планується побудувати заземлювальний електрод уздовж периметру гідророзривної зони. Сталеві стрижні діаметром 15 мм і довжиною 2 м, які заглиблюються в землю методом вкручування. Верхні кінці електродів розташовані на глибині 0,7 м від поверхні ґрунту. До них приварюють горизонтальні стержневі електроди – сталеві смуги товщиною не менше 4 мм.

Заздалегідь, враховуючи площу, яку займає об'єкт, ми окреслюємо розташування заземлювальних провідників уздовж периметру. Опір штучного заземлювального провідника за відсутності природних заземлюючих провідників вважається рівним допустимому опору заземлюючого пристрою $R_i = R_z = 4 \text{ Ом}$.

Заземлюючий пристрій виконаний у вигляді контуру смуги розміром 40х4 мм, укладеної на глибині 0,7 м навколо розподільчої станції на відстані 2 м від внутрішньої частини паркану. Площа ГРП становить 18х8 м², заземлюючий контур – 20х10 м. Загальна довжина смуги – 60 м. (Рисунок 4.1).

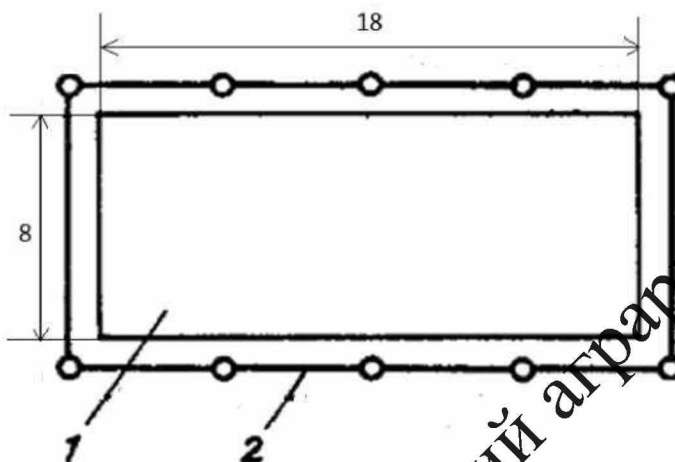


Рисунок 4.1 – План заземлюючого пристрою, 1 - площа, зайнята обладнанням (18х8 м²); 2 - заземлювальна петля (20х10 м).

На стороні низької напруги, відповідно до ПУЕ [26], опір заземлюючого пристрою для електричних установок з лінійною напругою 380 В не повинен перевищувати 4 Ом, тому ми беремо $R_z = 4 \text{ Ом}$ як розрахований.

Для мереж до 1 кВ з ізольованою нейтраллю опір заземлення також не

КРБ.141ЕЕбд_41.06.00.00.000 ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	50

повинен перевищувати 4 Ом.

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних і вертикальних заземлювальних провідників буде, Ом·м

$$\rho_{p.r} = \rho_{\Pi} \cdot k_{\Pi.r},$$

$$\rho_{p.v} = \rho_{\Pi} \cdot k_{\Pi.v},$$

де ρ_{Π} – це питомий опір ґрунту, Ом·м;

$k_{\Pi.v}$ та $k_{\Pi.r}$ – це коефіцієнти для горизонтальних і вертикальних електродів.

$$\rho_{p.r} = 100 \cdot 3,5 = 350, \quad (4.1)$$

$$\rho_{p.v} = 100 \cdot 1,5 = 150. \quad (4.2)$$

Опір розтікання одного вертикального електрода стрижневого типу

$$R_{ov} = \frac{\rho_{p.v}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right),$$

де l – довжина електрода, м;

d – діаметр електрода, м;

t – це відстань від поверхні землі до середини заземлюючого стрижня. (4.3)

$$R_{ov} = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 70,2$$

Приблизна кількість вертикальних заземлюючих провідників

$$N = \frac{R_{ov}}{k_{iv} \cdot R_i}, \quad (4.4)$$

де k_{iv} – це коефіцієнт використання заземлювальних провідників, враховуючи взаємне екранування стрижнів

$$N = \frac{70,2}{0,66 \cdot 4} = 26,6.$$

Приймаємо 27 вертикальних електродів.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Розрахунковий опір горизонтальних електродів

$$R_{pг.Е} = \frac{\rho_{p.г}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot a} \quad (4.5)$$

$$R_{pг.Е} = \frac{350}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 0,3} \cdot \ln \frac{2 \cdot 60^2}{0,015 \cdot 0,7} = 39,46.$$

де l – загальна довжина заземлюючої смуги стрічки, м.

Уточнюємо необхідний опір горизонтальних електродів, Ом

$$R_{в.Е} = \frac{R_{pг.Е} \cdot R_{и}}{R_{pг.Е} - R_{и}} = \frac{39,46 \cdot 4}{39,46 - 4} = 4,45.$$

Визначаємо кількість горизонтальних електродів з урахуванням коефіцієнту використання

$$k_{иВ} = 0,61, \text{ при } N = 20, \frac{a}{l} = 1,5,$$

де a – периметр контуру електрода, мт.

$$N = \frac{R_{ове}}{k_{иВ} \cdot R_{в.Е}} = \frac{70,2}{0,61 \cdot 4,45} = 25,9.$$

Приймаємо для встановлення 26 горизонтальних електродів, розташованих уздовж контуру ГРП.

4.2.2 Безпека під час експлуатації обладнання

Безпека під час експлуатації обладнання забезпечується:

- неможливістю увімкнути обладнання в робочому режимі за відсутності захисного устаткування або його несправності – за допомогою блокування різних типів;
- дія захисного обладнання до припинення дії небезпечного (шкідливого) виробничого фактора – доки несправності не будуть усунені, релейний захист не

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

дозволить увімкнути трансформатор;

- доступність для обслуговування та моніторингу – релейний захист і сигналізації розміщені в окремих шафах, доступних для обслуговування; захисне заземлення та огорожа розташовані зовні трансформатора і доступні для візуального огляду;

- неможливість випадкового зняття, відкриття та видалення захисних засобів – заземлення здійснюється за допомогою болтового з'єднання, ворота мають механічні замки;

- повідомлення персоналу у разі несправності або відсутності захисних засобів – для цього використовуються сигнальні засоби, які виготовляються і розміщуються так, щоб їхні сигнали були чітко розпізнавані та чутні у виробничому середовищі всіма особами, які перебувають у небезпеці.

4.2.3 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях

Для запобігання пожежам передбачені такі заходи:

- захисні реле (диференціальний захист, захист від струмів перевантаження та газовий захист).

- обладнання для моніторингу стану ізоляції;

- автоматичну пожежну сигналізацію та детектори;

- засоби ефективного охолодження електрообладнання під час експлуатації.

Важливим заходом пожежогасіння є правильний вибір і використання електродвигунів, стаціонарних і портативних ламп, стартового обладнання, з урахуванням умов навколишнього середовища (вологість, пил, небезпека пожежі та вибуху).

Існують такі методи пожежогасіння:

- за допомогою вогнегасників (порошок, вуглекислий газ);

- автоматична (аерозольні системи пожежогасіння);

- за допомогою пожежних машин.

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Для підвищення стабільності системи електропостачання підприємства в надзвичайних ситуаціях (вибухи, пожежі, технологічні порушення тощо) проводиться комплекс заходів, зокрема прогнозування або усунення можливих порушень системи електропостачання, посилення будівельних споруд, а також визначення пріоритетності робіт.

Для гасіння пожежі широко використовують різні хімічні речовини, які закидають у вогонь за допомогою вогнегасників.

Наприклад, вогнегасники: ВВ-5, 10, 80 – вогнегасник на вуглекислому газі, місткість 5, 10 або 80 кілограмів. Він використовується для гасіння загорянь та пожежі класів В (лише електричні установки під напругою до 1000 В). Перевага вогнегасників на вуглекислому газі полягає у здатності гасити електричні установки без відключення. Активною речовиною є вуглекислий газ.

ВП-5, 10, 100 - пороховий вогнегасник, призначений для гасіння загорянь горючих матеріалів, легкозаймистих рідин, газів та електричних установок під напругою не більше 1000 В на промислових підприємствах, складах для зберігання горючих матеріалів, а також на транспортних засобах. Об'єм 5 л;

На території РП 0,4 кВ встановлені пожежні щити, які розташовані настінні біля головного входу до приміщення та оснащені необхідним вогнегасним обладнанням:

- Гачок із дерев'яною ручкою;
- Лопату;
- скриня з піском 0,5 м³;
- ручні вогнегасники на вуглекислому газі ВВ-5 або ВВ-10;
- протипожежне покривало;
- пожежний лом;
- діелектричні ножиці;
- діелектричні чоботи;
- діелектричний килимок;

Згідно з ДБН В.1.1-7:2006, усі предмети фарбують у яскраво-червоний колір, оскільки червоний колір дуже помітний, особливо в задимленій кімнаті.

					КРБ.141EE6d_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто технологічний процес виробництва будівельних конструкцій та визначено вимоги до надійності електропостачання основних виробничих і допоміжних об'єктів підприємства.

2. На основі вихідних даних виконано аналіз складу електричних навантажень підприємства, визначено категорії надійності електропостачання окремих споживачів та проведено розрахунок активних, реактивних і повних навантажень, що становили відповідно 18087,84 кВ·А, 6118,96 кВ·А, 19094,8 кВ·А.

3. Виконано проектування зовнішньої системи електропостачання підприємства з виробництва будівельних конструкцій. На основі аналізу відстані до джерела живлення та величини розрахункового навантаження визначено можливість електропостачання підприємства від мереж напругою 10 кВ та 110 кВ.

4. Для забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання обґрунтовано встановлення на головній знижувальній підстанції двох силових трансформаторів типу ТДН-16000/110. Проведена перевірка показала, що вибрані трансформатори працюють з допустимим навантаженням в нормальному (60%) та післяаварійному (140%) режимах, за умови відключення споживачів III категорії 118% при допустимому для трансформатора 122,4% і забезпечують резерв потужності для подальшого розвитку підприємства.

5. Виконано технічне порівняння двох варіантів зовнішнього електропостачання: від мережі 110 кВ із будівництвом ГЗП та від мережі 10 кВ із встановленням ГРП. З урахуванням технічних характеристик і економічної доцільності для подальшого проектування прийнято другий варіант зовнішньої схеми електропостачання з живленням підприємства від мережі 10 кВ, який забезпечує необхідний рівень надійності та є більш раціональним через те, що має у складі на два трансформатора менше, кожен з яких коштує ≈ 19 млн.грн.

6. Для кожного варіанта проведено вибір перерізів проводів і кабелів, перевірку їх за допустимим струмовим навантаженням та втратами напруги в нормальному й післяаварійному режимах. За результатами розрахунків прийнято

					КРБ.141EE6d_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

чотири кабельні лінії силовим кабелем АПВБВ з алюмінієвим провідником, броньованим шаром сталевих стрічок з зовнішньою оболонкою з полівінілхлоридного пластику, $S = 3 \times (1 \times 500)$, $I_{доп} = 587$ А.

7. Вииконано вибір кількості та потужності виробничих трансформаторів на основі розрахованих електричних навантажень та питомої густини навантаження виробничих приміщень. За результатами розрахунків обрано трансформатори типів ТМ-1600/10 та ТМ-2500/10, а також визначено їх оптимальну кількість для кожної трансформаторної підстанції. Для електропостачання підприємства прийнято встановлення 10-ти двотрансформаторних підстанцій, що забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання споживачів.

8. Проведено розрахунок потреби в компенсації реактивної потужності. Встановлено, що застосування низьковольтних компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ є недоцільним, тоді як для забезпечення необхідного балансу реактивної потужності на стороні 10 кВ прийнято до встановлення дві високовольтні конденсаторні установки УКРМ-10,5-2900 сумарною потужністю 5800 квар.

9. На підставі розрахункових струмів навантаження та післяаварійних режимів виконано вибір кабельних ліній напругою 10 кВ та 0,4 кВ. Вибрано кабель АПвПу 1х120/16-10 з ізоляцією з зшитого поліетилену перерізом 120 мм², $I_{доп} = 298$ А, для 0,4 кВ ми приймаємо кабель АПвББШп що задовольняють вимоги щодо допустимого нагрівання, перевантажувальної здатності та надійності роботи.

10. Розраховано струми короткого замикання у характерних точках системи електропостачання, що стало основою для вибору комутаційного, захисного та вимірювального обладнання. Виконано вибір вакуумних вимикачів (ВВ/TEL-10-20-1600 для встановлення в КРУ-2-10), збірних шин, трансформаторів струму (ТОЛ -10-1) та напруги (НАМН-1-6), запобіжників (ПКТ-103-10-100-12,5-УЗ-КЕА3) і автоматичних вимикачів (ВА 59-35).

					КРБ.141ЕЕ6д_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

11. Отримані результати забезпечують надійну, безпечну та економічно обґрунтовану роботу системи електропостачання підприємства з виробництва будівельних конструкцій у нормальних та аварійних режимах експлуатації.

12. На основі укрупнених показників вартості визначено необхідні витрати на придбання та монтаж основного електротехнічного обладнання, кабельних ліній і засобів автоматизації. Загальний обсяг капітальних вкладень становить 75 702 250 грн, що дало змогу оцінити необхідні витрати на обладнання та кабельні лінії.

13. Розглянуто комплекс заходів з охорони праці та безпеки під час експлуатації електрообладнання. Передбачено застосування захисного заземлення, релейного захисту, контролю стану ізоляції, блокувань та засобів сигналізації. Виконано розрахунок заземлювального пристрою ГРП, який забезпечує нормативний рівень електробезпеки для персоналу та обладнання.

					КРБ.141EE6d_41.06.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57