

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

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем

(назва кафедри)

к.т.н., доц.

Євген АНТИПОВ

(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **“Вибір електричної схеми електропостачання та розрахунок її параметрів аграрного комплексу з використанням джерел сонячної енергії”**

Спеціальність 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

ОПП “Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами”

02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 005 ПЗ

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Світлана МАКАРЕВИЧ

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Валерій КРИВОНОСОВ

(ПІБ)

Виконав

(Підпис)

Василь МАЛЕЙЧИК

(ПІБ студента)

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

затверджую

Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем

(назва кафедри)

к.т.н., доц. _____ Євген АНТИПОВ

(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Малейчику Василю Олександровичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка". Освітньо професійна програма: «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Вибір електричної схеми електропостачання та розрахунок її параметрів аграрного комплексу з використанням джерел сонячної енергії»

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

Термін подання завершеного проекту на кафедру "01" травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: 1) Провести аналіз електричних навантажень аграрного комплексу та визначити розрахункові параметри електроспоживання. 2) Визначити центр електричних навантажень та обґрунтувати місце розташування джерел живлення. 3) Виконати вибір кількості та потужності силових трансформаторів системи електропостачання. 4) Провести розрахунок і вибір засобів компенсації реактивної потужності. 5) Розробити схему електропостачання аграрного комплексу з інтеграцією джерел сонячної енергії та визначити параметри фотоелектричної установки. 6) Виконати вибір основного електротехнічного обладнання та провести техніко-економічне обґрунтування запропонованого рішення. 7) Розглянути питання охорони праці та електробезпеки під час експлуатації систем електропостачання з відновлюваними джерелами енергії.

Перелік графічних документів: презентація виконана в Microsoft PowerPoint

Дата видачі завдання: _____

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Професор, к.т.н.

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Валерій КРИВОНОСОВ

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Василь МАЛЕЙЧИК

(прізвище та ініціали студента)

АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 81 сторінка., 7 рисунків, 21 таблицю, 19 джерел інформації.

Об'єкт проектування – система електропостачання аграрного підприємства.

Мета роботи – розроблення системи електропостачання на аграрному підприємстві.

Результатом роботи є вибрана схема електропостачання аграрного підприємства і конструктивне виконання електричної мережі напругою понад 1 кВ, які отримано на підставі розрахунку електричних навантажень, визначення центру електричних навантажень та місця розташування головної понижувальної підстанції, вибору кількості та потужності трансформаторів головної понижувальної підстанції і цехових підстанцій, компенсувальних пристроїв напругою до і понад 1 кВ та перерізу кабельних ліній напругою понад 1 кВ, розрахунку струмів коротких замикань, вибору електричних апаратів напругою понад 1 кВ.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ, ПЕРЕРІЗ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, РОЗПОДІЛЬНА МЕРЕЖА, ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ, ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ, КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ, ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, КОНДЕНСАТОРНА УСТАНОВКА, КОМПЕНСУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ, СТРУМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СИЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ БУДІВЕЛЬ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА	10
1.1. Визначення розрахункових силових навантажень будівель аграрного підприємства.....	10
1.2. Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення цехів	11
1.3 Визначення розрахункового навантаження компресорної станції.....	13
1.4 Визначення розрахункового навантаження аграрного підприємства.....	15
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.....	17
РОЗДІЛ 3. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ	20
РОЗДІЛ 4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ	24
РОЗДІЛ 5. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	26
У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	26
5.1 Визначення реактивної потужності компенсувальних пристроїв споживачів електроенергії промислового заводу.....	26
5.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ	27
5.3 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 10,5 кВ	29
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	31
ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	31
РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ ТРИФАЗНОГО КОРОТКОГО	34
ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	34
НАПРУГОЮ ПОНАД 1 кВ	34
7.1 Розрахункова схема для максимального режиму	34

					02.03 – КР. 2606 “С” 2025.10.30 005 ПЗ												
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	“Вибір електричної схеми електропостачання та розрахунок її параметрів аграрного комплексу з використанням джерел сонячної енергії”					Літера		Аркуш		Аркушів			
Розробив		Малейчик В. О.												5			
Перевірив		Кривоносов В. Е.															
Н. контр.																	
Затвердив		Антипов Е. О.															

7.2 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання на шинах низької напруги головної понижувальної підстанції для максимального режиму	35
7.3 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання на шинах розподільного пункту	44
РОЗДІЛ 8. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 10 КВ ДО ЦЕХУ № 2.....	50
8.1 Вибір перерізу провідників в електричній мережі напругою 10 кВ до цеху № 2	50
8.2 Вибір електричних апаратів в електричній мережі напругою 10 кВ.....	58
8.2.1 Вибір високовольного вимикача.....	59
8.2.2 Вибір трансформатора струму	60
8.2.3 Вибір трансформатора струму нульової послідовності	65
8.2.4 Вибір електричних апаратів шафи високовольного вводу	66
8.2.4.1 Вибір високовольного вимикача навантаження.....	66
8.2.4.2 Вибір високовольного запобіжника	68
РОЗДІЛ 9 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	71
9.1 Розрахунок потужності СЕС та вибір кількості панелей.....	71
10.1 Вибір АВР та інтеграція СЕП з СЕС	73
10.2 Захист силових трансформаторів ГПП	73
10.3 Захист збірних шин.....	75
10.4 Захист відгалужувальних ліній 10 Кв	76
10.5 Вибір пристроїв автоматики АПВ, АЧР	77
ВИСНОВКИ.....	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВР	—	автоматичне вмикання резерву
ВН	—	висока напруга
ВКУ	—	високовольтна конденсаторна установка
ГПП	—	головна понижувальна підстанція
ДЖ	—	джерело живлення
ДРЛ	—	дугова ртутна лампа
ДРП	—	джерело реактивної потужності
ЕА	—	електричний апарат
ЕД	—	електродвигун
ЕП	—	електроприймач
ЕРС	—	електрорушійна сила
ЕУ	—	електроустановка
ЗШ	—	збірна шина
КЗ	—	коротке замикання
ККД	—	коефіцієнт корисної дії
ККУ	—	комплектна конденсаторна установка
КЛ	—	кабельна лінія
КП	—	компенсувальний пристрій
КРП	—	комплектний розподільний пристрій
КТП	—	комплектна трансформаторна підстанція
КУ	—	конденсаторна установка
ЛЛ	—	люмінесцентна лампа
МСЗ	—	максимальний струмовий захист
НКУ	—	низьковольтна конденсаторна установка
НН	—	низька напруга
ПЛ	—	повітряна лінія
ПС	—	підстанція
ПУЕ	—	правила улаштування електроустановок

РЗ	—	релейний захист
РП	—	розподільний пункт
РПН	—	регулювання під навантаженням
СД	—	синхронний двигун
СЕП	—	система електропостачання
ТН	—	трансформатор напруги
ТП	—	трансформаторна підстанція
ТС	—	трансформатор струму
ТСНП	—	трансформатор струму нульової послідовності
ЦЕН	—	центр електричних навантажень
ШВВ	—	шафа високовольтна вводу
ШНВ	—	шафа низьковольтна ввідна
ШНЛ	—	шафа низьковольтна лінійна
ШНС	—	шафа низьковольтна секційна
ЯЕ	—	якість електроенергії

ВСТУП

Успішна виробнича діяльність промислового підприємства багато в чому залежить від якості електропостачання, яке, в основному, визначається трьома складовими, а саме: надійністю, економічністю і електромагнітною сумісністю приймачів електроенергії з мережею живлення. Актуальним завданням є вдосконалення методик розрахунку втрат електроенергії в заводських мережах і розроблення дієвих заходів, спрямованих на їх скорочення. Питомі норми електроспоживання, на яких засновані існуючі методи, не відображають реальні втрати в заводських мережах, не сприяють об'єктивній оцінці ефективності заходів з енергозбереження.

Метою курсової роботи являється розроблення системи електропостачання (СЕП) аграрного підприємства .

Під СЕП розуміють сукупність електроустановок (ЕУ) для забезпечення споживачів електроенергією.

СЕП промислових підприємств призначені для забезпечення роботи електроприймачів (ЕП) цього підприємства: електродвигунів (ЕД), електротехнологічних пристроїв, освітлення та інших технологічних установок промислового призначення.

Основними вимогами до СЕП є безпека та зручність в експлуатації, надійність, економічність, гнучкість (перспектива розвитку). Реалізація цих вимог забезпечує зниження електричних втрат та витрат грошових при спорудженні та експлуатації усіх елементів СЕП, високу якість електроенергії (ЯЕ).

Для забезпечення зручності експлуатації на всіх ступенях СЕП слід забезпечити можливість здійснення ремонтних та експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми без вимкнення сусідніх приєднань з мінімальною кількістю операцій комутаційної апаратури. Надійність СЕП повинна відповідати характеру ЕП, які від неї живляться. За надійністю електропостачання всі ЕП поділяються на три категорії: першу, другу та третю. Із першої категорії виділяють особливу групу ЕП. Реалізація всіх цих вимог забезпечує зниження електричних витрат та витрат грошових при спорудженні та експлуатації усіх елементів СЕП, високу якість електропостачання.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛІ

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СИЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ БУДІВЕЛЬ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1. Визначення розрахункових силових навантажень будівель аграрного підприємства

Розрахункове силове активне навантаження для окремого цеху при напрузі 0,38/0,22 кВ визначається за формулою

$$P_{p.c.i} = K_{п.i} P_{уст.i}, \text{ кВт} \quad (1.1)$$

де $K_{п.i}$ – коефіцієнт попиту i -го цеху, в. о (таблиця В.3 [1]);

$P_{уст.i}$ – установлена активна потужність i -го цеху, кВт (таблиця В.2 [1]).

Розрахункове силове реактивне навантаження i -го цеху визначається як

$$Q_{p.c.i} = P_{p.c.i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (1.2)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_i$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_i$ i -го цеху.

Розрахункове силове повне навантаження i -го цеху визначається так:

$$S_{p.c.i} = \sqrt{P_{p.c.i}^2 + Q_{p.c.i}^2}, \text{ кВА} \quad (1.3)$$

За формулами (1.1) – (1.3) визначаються розрахункові силові активне, реактивне та повне навантаження кожного цеху підприємства.

Так, для механічного цеху за формулами (1.1) – (1.3) відповідно

$$P_{p.c.2} = 0,2 \cdot 6100 = 1220 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.c.2} = 1220 \cdot 1,3 = 1586 \text{ квар},$$

$$S_{p.c.2} = \sqrt{1220^2 + 1586^2} = 2000,9 \text{ кВА}.$$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						10
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Результати розрахунків для інших цехів наводяться в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Визначення розрахункового силового навантаження цехів

№ цеху	Назва цеху	$P_{уст},$ кВт	$K_{п},$ в. о	$\cos\varphi /$ $\operatorname{tg}\varphi$	Результати розрахунків		
					$P_{р.с},$ кВт	$Q_{р.с},$ квар	$S_{р.с},$ кВА
1	Цех дрібного помелу	5500	0,1 5	0,69/1,05	825	866,3	1196,3
2	Цех транспортування зерна	6100	0,2	0,61/1,3	1220	1586	2000,9
3	Цех зберігання	6600	0,1 5	0,64/1,2	990	1188	1546,4
4	Вторинної переробки	6400	0,1	0,66/1,14	640	729,6	970,5
5	Цех сушіння	6600	0,1 4	0,59/1,4	924	1293,6	1589,7
6	Цех навантаження	6200	0,1 1	0,69/1,05	682	716,1	988,9
7	Компресорна станція	1200	0,1 7	0,64/1,2	204	244,8	318,7
Усього					5485	6624,4	8611,4

1.2. Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення цехів

Установлене (номінальне) активне навантаження приладів освітлення i -го цеху визначається як

$$P_{уст.о.i} = k p_{п.о.i} F_i \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (1.4)$$

де k – коефіцієнт, що враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла (для ламп розжарювання (ЛР) приймається $k = 1,0$; для дугових ртутних ламп

(ДРЛ) $k = 1,1$; для люмінесцентних ламп (ЛЛ) низького тиску стартерних $k = 1,2$, безстартерних $k = 1,35$);

$P_{п.о.i}$ – питоме навантаження загального освітлення i -го цеху, Вт/м²;

F_i – площа i -го цеху, що підлягає освітленню, м².

Розрахункове активне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається так:

$$P_{п.о.i} = K_{п.о} P_{уст.о.i}, \text{ кВт}, \quad (1.5)$$

де $K_{п.о}$ – коефіцієнт попиту загального освітлення (у курсовій роботі приймається $K_{п.о} = 0,95$ незалежно від виду джерела світла).

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається за формулою

$$Q_{п.о.i} = P_{п.о.i} \operatorname{tg} \varphi_{о.i}, \text{ квар}, \quad (1.6)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{о.i}$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{о.i}$ i -го цеху залежно від типу джерела світла.

Розрахункове повне навантаження загального освітлення i -го цеху визначається як

$$S_{п.о.i} = \sqrt{P_{п.о.i}^2 + Q_{п.о.i}^2}, \text{ кВА}. \quad (1.7)$$

Установлене активне навантаження приладів загального освітлення розраховується за формулою (1.4), розрахункові активне, реактивне та повне навантаження загального освітлення кожного цеху підприємства – за формулами (1.5) – (1.7).

Так, для механічного цеху за формулами (1.4) – (1.7) відповідно

$$P_{уст.о.2} = 1,2 \cdot 11 \cdot 2304 \cdot 10^{-3} = 30,4 \text{ кВт},$$

$$P_{п.о.2} = 0,95 \cdot 30,4 = 28,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{п.о.2} = 28,9 \cdot 0,33 = 9,5 \text{ квар},$$

$$S_{p.o.2} = \sqrt{28,9^2 + 9,5^2} = 30,4 \text{ кВА.}$$

Результати розрахунків для інших цехів наводяться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2/

Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення цехів

№ цеху	Площа цеху F , м ²	Тип ламп	$P_{п.о.}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Результати розрахунків			
				$P_{уст.о.}, \text{кВт}$	$P_{p.o.}, \text{кВт}$	$Q_{p.o.}, \text{квар}$	$S_{p.o.}, \text{кВА}$
1	2304	Розжарювання	35	36,9	35	0	35
2	2304	ЛЛ низького тиску	28,9	30,4	28,9	9,5	30,4
3	2304	ДРЛ високого тиску	45,7	48,2	45,7	79,1	91,4
4	1140	Розжарювання	21,9	23	21,9	0	21,9
5	2808	ЛЛ низького тиску	38,4	40,4	38,4	12,7	40,5
6	2592	ДРЛ високого тиску	43,3	45,6	43,3	75	86,6
7	648	Розжарювання	11,1	11,7	11,1	0	11,1
Усього				236,2	224,3	176,3	316,9

1.3 Визначення розрахункового навантаження компресорної станції

Кількість робочих ЕД визначається за формулою

$$N_p = N - 2, \text{ шт.} \quad (1.8)$$

де N – задана кількість ЕД, шт.;

2 – кількість резервних ЕД, шт.

За формулою (1.8)

$$N_p = 4 - 2 = 2 \text{ шт.}$$

Розрахункова активна потужність синхронних двигунів (СД) напругою 10 кВ визначається як

$$P_{p.СД} = N_p \beta_{СД} P_{ном.СД}, \text{ кВт} \quad (1.9)$$

де N_p – кількість робочих ЕД, які працюють одночасно, шт.;

$\beta_{СД}$ – коефіцієнт завантаження СД активною потужністю (приймається $\beta_{СД} = 0,8$);

$P_{ном.СД}$ – номінальна активна потужність СД, кВт.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

За формулою (1.9)

$$P_{p.CD} = 2 \cdot 0,8 \cdot 1250 = 2000 \text{ кВт.}$$

Мінімальна реактивна потужність, що генерується СД, визначається за формулою

$$Q_{\text{мін.СД}} = N_p \beta_{\text{СД}} Q_{\text{ном.СД}} = N_p \beta_{\text{СД}} P_{\text{ном.СД}} \text{tg}\varphi_{\text{ном.СД}}, \text{ квар,} \quad (1.10)$$

де $Q_{\text{ном.СД}}$ – номінальна реактивна потужність СД, квар;

$\text{tg}\varphi_{\text{ном.СД}}$ – відповідає значенню номінального коефіцієнта потужності СД $\cos\varphi_{\text{ном.СД}}$ і для двигуна СДНЗ-2-19-34-20 приймається рівним $\cos\varphi_{\text{ном.СД}} = 0,9$.

Розрахункова реактивна потужність, що генерується СД визначається так:

$$Q_{p.CD} = P_{p.CD} \text{tg}\varphi_{\text{ном.СД}}, \text{ квар,} \quad (1.11)$$

$$Q_{p.CD} = 2000 \cdot 0,48 = 960 \text{ квар.}$$

Загальне розрахункове активне навантаження компресорної станції з СД визначається за формулою

$$P_{p.k.c} = P_{p.c} + P_{p.o} + P_{p.CD}, \text{ кВт} \quad (1.12)$$

де $P_{p.c}$ – розрахункове силове навантаження;

$P_{p.o}$ – розрахункове навантаження загального електричного освітлення.

За формулою (1.12)

$$P_{p.k.c} = 204 + 11,1 + 2000 = 2215,1 \text{ кВт.}$$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Загальне розрахункове реактивне навантаження компресорної станції з СД визначається як

$$Q_{p.к.с} = Q_{p.с} + Q_{p.о} - Q_{p.СД}, \text{ квар} \quad (1.13)$$

$$Q_{p.к.с} = 244,8 + 0 - 960 = -715,2 \text{ квар.}$$

Загальне розрахункове повне навантаження компресорної станції з СД визначається так:

$$S_{p.к.с} = \sqrt{P_{p.к.с}^2 + Q_{p.к.с}^2}, \text{ кВА} \quad (1.14)$$

$$S_{p.к.с} = \sqrt{2215,1^2 + (-715,2)^2} = 2327,7 \text{ кВА.}$$

1.4 Визначення розрахункового навантаження аграрного підприємства

Для визначення розрахункового навантаження промислового підприємства необхідно обчислити загальне розрахункове навантаження цехів. При розрахунку загального розрахункового навантаження цеху з урахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_0 = 1$.

Загальне розрахункове активне навантаження i -го цеху визначається за формулою

$$P_{p.ц.i} = P_{p.с.i} + P_{p.о.i}, \text{ кВт.} \quad (1.15)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження i -го цеху визначається як

$$Q_{p.ц.i} = Q_{p.с.i} + Q_{p.о.i}, \text{ квар.} \quad (1.16)$$

Загальне розрахункове повне навантаження i -го цеху визначається так:

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{P_{p.ц.i}^2 + Q_{p.ц.i}^2}, \text{ кВА.} \quad (1.17)$$

Так, для механічного цеху № 2 за формулами (1.15) – (1.17)

$$P_{p.ц.2} = 1220 + 28,9 = 1248,9 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.ц.2} = 1586 + 9,5 = 1595,5 \text{ квар},$$

$$S_{p.ц.2} = \sqrt{1248,9^2 + 1595,5^2} = 2026,2 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунків для інших цехів наводяться в таблиці 1.3.

Загальні розрахункові активне та реактивне навантаження кількох груп або цехів усього підприємства визначають з урахуванням коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження K_o цих груп або цехів як

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^m P_{p.ц.i}, \text{ кВт}, \quad (1.18)$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^m Q_{p.ц.i}, \text{ квар}, \quad (1.19)$$

де m – кількість розрахункових груп (цехів підприємства), шт.

Коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження приймається рівним $K_o = 0,85$.

Розрахункова повна потужність визначається за формулою

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}. \quad (1.20)$$

Результати розрахунків для підприємства наводяться в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Визначення розрахункового навантаження підприємства

№ цеху	Назва цеху		$P_{p.ц}$, кВт	$Q_{p.ц}$, квар	$S_{p.ц}$, кВА
1	Цех дрібного помелу		860	866,3	1220,7
2	Цех транспортування зерна		1248,9	1595,5	2026,2
3	Цех зберігання		1035,7	1267,1	1636,6
4	Вторинної переробки		661,9	729,6	985,1
5	Цех сушіння		962,4	1306,3	1622,6
6	Цех навантаження		725,3	791,1	1073,3
7	Компресорна станція	навантаження	215,1	244,8	325,9
		СД	2000	–960	–
		усього	2215,1	–715,2	2327,7
Усього			7709,3	5840,7	10892,2
Усього з урахуванням $K_o = 0,85$			6552,9	4964,6	9258,4

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Розташування джерела живлення (ДЖ) проектованої СЕП повинно сприяти досягненню мінімуму витрат на всю СЕП. Для цього необхідно звести до мінімуму довжину мереж, у наслідок чого вартість втрат енергії та напруги в живильних і розподільних мережах СЕП промислового підприємства також будуть мінімальними. З цією метою визначається умовна точка на плані підприємства, що відповідає центру ваги площини підприємства, на якій електричні навантаження умовно замінені на еквівалентні ваги. Ця умовна точка називається центром електричних навантажень (ЦЕН).

Для наочності визначення ЦЕН на генеральний план підприємства наноситься картограма електричних навантажень. ЦЕН цеху визначається приблизно, вважаючи, що його навантаження розподілені рівномірно по всій території. В цьому випадку ЦЕН цеху збігається з його геометричним центром.

Радіус кола i -го цеху визначається як

$$r_{ц.i} = \sqrt{\frac{S_{р.ц.i}}{\pi m}}, \text{ см}, \quad (2.1)$$

де $S_{р.ц.i}$ – розрахункове повне навантаження i -го цеху, кВА;

m – масштаб (приймається $m = 100 \text{ кВА/см}^2$).

Так, для механічно-складального цеху за формулою (2.1)

$$r_{ц.2} = \sqrt{\frac{2026,2}{3,14 \cdot 100}} = 2,5 \text{ см}.$$

Аналогічні розрахунки для інших цехів підприємства наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Координати та радіуси кіл картограм окремих цехів

№ цеху	Назва цеху	Координати		$r_{ц.і}$, см
		$X_{ц.і}$, см	$Y_{ц.і}$, см	
1	Цех дрібного помелу	27	32,5	2
2	Цех транспортування зерна	27	37,3	2,5
3	Цех зберігання	27	18,7	2,3
4	Вторинної переробки	27	22,6	1,8
5	Цех сушіння	9,1	13	2,3
6	Цех навантаження	27	9,4	1,8
7	Компресорна станція	10	21,7	1

Координати ЦЕН підприємства визначаються так:

$$X_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.і} X_{ц.і}}{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.і}}, \text{ см}, \quad (2.2)$$

$$Y_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.і} Y_{ц.і}}{\sum_{i=1}^n S_{р.ц.і}}, \text{ см}, \quad (2.3)$$

де $X_{ц.і}$, $Y_{ц.і}$ – координати ЦЕН i -го цеху, см;

n – кількість цехів підприємства.

За формулами (2.2) і (2.3) відповідно

$$X_{ц} = \frac{1220,7 \cdot 27 + 2026,2 \cdot 27 + 1636,6 \cdot 27 + 985,1 \cdot 27 + 1622,6 \cdot 9,1}{1220,7 + 2026,2 + 1636,6 + 985,1 + 1622,6 + 1073,3 + 325,9} + \dots \rightarrow$$

$$\dots \leftarrow + \frac{1073,3 \cdot 27 + 325,9 \cdot 10}{1220,7 + 2026,2 + 1636,6 + 985,1 + 1622,6 + 1073,3 + 325,9} = 23,1 \text{ см},$$

$$Y_{\text{ц}} = \frac{1220,7 \cdot 32,5 + 2026,2 \cdot 37,3 + 1636,6 \cdot 18,7 + 985,1 \cdot 22,6}{1220,7 + 2026,2 + 1636,6 + 985,1 + 1622,6 + 1073,3 + 325,9} + \dots \rightarrow$$

$$\dots \leftarrow + \frac{1622,6 \cdot 13 + 1073,3 \cdot 9,4 + 325,9 \cdot 21,7}{1220,7 + 2026,2 + 1636,6 + 985,1 + 1622,6 + 1073,3 + 325,9} = 23,2 \text{ см}.$$

Зміщення головної понижувальної підстанції (ГПП) виконується від ЦЕН в сторону живильних мереж зовнішнього ДЖ підприємства. ГПП розташовується на території підприємства.

Цехові трансформаторні підстанції (ТП) виконуються вбудованими і розташовуються якомога ближче до ЦЕН відповідного цеху. Це дозволяє зменшити довжину мереж напругою до 1 кВ, що призводить до зниження капітальних витрат, втрат енергії та напруги в цих мережах. В якості цехової ТП застосовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП).

РОЗДІЛ 3

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Враховуючи, що на підприємстві є ЕП 1 та 2-ї категорій надійності електропостачання, то за умовами надійного електропостачання вибирається двотрансформаторна ГПП.

Величина економічної реактивної потужності на 5-му рівні електропостачання визначається за формулою

$$Q_{e.5} = 0,25P_{p.5}, \text{ квар}, \quad (3.1)$$

де $P_{p.5}$ – розрахункова активна потужність підприємства на 5-му рівні електропостачання (дані з таблиці 1.3), кВт.

Це обумовлено тим, що згідно з «Методикою розрахунків плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами», щоб складова Π_2 (надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності плати Π за споживання і генерацію реактивної електроенергії) дорівнювала нулю ($\Pi_2 = 0$), нормативний коефіцієнт K_ϕ повинен бути $K_\phi = 1$ (це можливо при $\text{tg}\phi_r \leq 0,25$, що відповідає $\cos\phi_r \geq 0,97$).

Розрахункове повне навантаження у нормальному режимі роботи з урахуванням режиму електропередавальної організації за реактивною потужністю визначається за формулою

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.5}^2 + Q_{e.5}^2}, \text{ кВА}. \quad (3.2)$$

Так як на ГПП два трансформатори, номінальна потужність $S_{\text{ном.т}}$ кожного з них має відповідати двом умовам.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						20
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

По-перше, номінальна потужність одного з трансформаторів не повинна бути менше половини розрахункового повного навантаження підстанції (ПС) $S_{p.n.}$, тому що в разі аварійного вимикання одного з них релейним захистом (РЗ) і автоматичного вмикання секційного вимикача пристроєм автоматичного вмикання резерву (АВР) у розподільному пристрої низької напруги (НН) інший трансформатор бере на себе все навантаження ПС.

Перша умову можна записати так:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{p.n.}}{2}. \quad (3.3)$$

По-друге, повинна також виконуватись умова

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{p.n.a}}{K_{2ав}}, \quad (3.4)$$

де $S_{p.n.a}$ – розрахункове повне навантаження в післяаварійному режимі, яке визначається з урахуванням сезонної зміни навантаження та можливого обмеження навантаження в такому режимі, кВА;

$K_{2ав}$ – коефіцієнт, який визначає величину допустимого аварійного перевантаження залежно від тривалості перевантаження, температури охолоджувального повітря та величини попереднього навантаження.

Виконання другої вимоги перевіряється для зимової та літньої температур охолоджувального повітря при відповідних навантаженнях за формулами

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{p.n.a}}{K_{2ав.з}}, \quad (3.5)$$

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{KS_{\text{р.н.а}}}{K_{2\text{ав.л}}}, \quad (3.6)$$

де $K_{2\text{ав.з}}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження в зимовий період;

$K_{2\text{ав.л}}$ – коефіцієнт допустимого аварійного перевантаження в літній період;

K – коефіцієнт відношення літнього розрахункового навантаження до зимового (таблиця В.7 [1]).

Величина економічної реактивної потужності на 5-му рівні електропостачання визначається за формулою (3.1)

$$Q_{\text{е.5}} = 0,25 \cdot 6552,9 = 1638,2 \text{ квар.}$$

Розрахункове повне навантаження у нормальному режимі роботи з урахуванням режиму електропередавальної організації за реактивною потужністю визначається за формулою (3.2)

$$S_{\text{р.н}} = \sqrt{6552,9^2 + 1638,2^2} = 6754,6 \text{ кВА.}$$

Мінімальна номінальна потужність трансформаторів ГПП за першою умовою визначається за формулою (3.3)

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{6754,6}{2} = 3377,3 \text{ кВА.}$$

Попередньо вибираються трансформатори типу ТМН-4000/35.

Виконується перевірка за другою умовою, враховуючи що тривалість перевантаження трансформатора ГПП в післяаварійному режимі становить 1 год. За формулами (3.5), (3.6) відповідно

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{6754,6}{2} = 3377,3 \text{ кВА},$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{0,85 \cdot 6754,6}{2} = 2870,7 \text{ кВА}.$$

Остаточно вибираються трансформатори типу ТМН-4000/35. Технічні дані трансформаторів ГПП наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні дані трансформаторів головної понижувальної підстанції

Тип	Номинальна потужність, кВА	Поеднання напруг, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМН-4000/35	4000	35	11	6,7	33,5	7,5	1,0

РОЗДІЛ 4

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

При виборі кількості та потужності трансформаторів цехових ПС враховують такі фактори: категорію надійності електропостачання ЕП, розрахункове навантаження на 3-му рівні електропостачання, компенсацію реактивних навантажень при напрузі до 1 кВ, навантажувальну спроможність трансформаторів в нормальному та післяаварійному режимах, шкалу стандартних номінальних потужностей трансформаторів.

При трьох і менше трансформаторах їх стандартну номінальну потужність вибирають за формулою

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.3}}}{N_{\text{т}} \beta_{\text{т}}}, \quad (4.1)$$

де $S_{\text{ном.т.р}}$ – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора, кВА;

$P_{\text{р.3}}$ – розрахункове активне навантаження на 3-му рівні електропостачання (розрахункове активне навантаження цеху $P_{\text{р.ц}}$ за таблицею 1.3), кВт;

$N_{\text{т}}$ – кількість трансформаторів ПС, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора цехової ПС.

Так, для механічного цеху з ЕП 2-ї категорій надійності, де застосовують двотрансформаторні ПС, номінальна потужність трансформаторів цехової ПС за формулою (4.1)

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1248,9}{2 \cdot 0,8} = 780,6 \text{ кВА}.$$

Згідно з розрахунком для цехової ТП вибираються два трансформатори типу ТМЗ-1000/10 напругою 10/0,4 кВ. Для цих ПС також необхідний складський резерв на випадок пошкодження одного трансформатора.

Аналогічні розрахунки для вибору номінальної потужності трансформаторів цехових ПС інших цехів наводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Вибір кількості та номінальної потужності трансформаторів цехових підстанцій

№ ц е х у	Назва цеху	$P_{р.ц}$, кВт	N , шт.	$\beta_{т, в.о}$	$S_{ном.т.р}$, кВА	Трансформа тор
1	Цех дрібного помелу	860	2	0,8	537,5	ТМЗ-630/10
2	Цех транспортування зерна	1248,9	2	0,8	780,6	ТМЗ-1000/10
3	Цех зберігання	1035,7	2	0,7	739,8	ТМЗ-1000/10
4	Вторинної переробки	661,9	1	0,95	696,7	ТМЗ-1000/10
5	Цех сушіння	962,4	2	0,7	687,4	ТМЗ-1000/10
6	Цех навантаження	725,3	1	0,95	763,5	ТМЗ-1000/10
7	Компресорна станція	215,1	2	0,7	153,6	ТМФ-160/10

Технічні дані трансформаторів цехових ПС наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Технічні дані трансформаторів цехових підстанцій

Тип	Номінальн а потужність , кВА	Номінальн а напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруг а КЗ, %	Стру м ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМФ-160/10	160	10	0,4	0,51	3,1	4,5	2,4
ТМЗ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	1,8
ТМЗ-1000/10	1000	10	0,4	1,90	10,8	5,5	1,2

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ПОТУЖНОСТІ КОМПЕНСУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

5.1 Визначення реактивної потужності компенсувальних пристроїв споживачів електроенергії промислового заводу

Потужність компенсувальних пристроїв (КП) заводу визначається так:

$$Q_{\text{КП}} = Q_{\text{р.5}} - Q_{\text{е.5}}, \text{ квар}, \quad (5.1)$$

де $Q_{\text{р.5}}$ – розрахункова реактивна потужність підприємства на 5-му рівні електропостачання (береться з таблиці 1.3 з урахуванням коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження), квар.

За формулою (5.1)

$$Q_{\text{КП}} = 4964,6 - 1638,2 = 3326,4 \text{ квар}.$$

Загальна встановлена потужність КП підприємства при наявності СД визначається як

$$Q_{\text{КП}} = Q_{\text{НКУ}} + Q_{\text{ВКУ}}, \text{ квар}, \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{НКУ}}$ – реактивна потужність низьковольтних конденсаторних установок (НКУ) споживача з напругою конденсаторів до 1 кВ, квар;

$Q_{\text{ВКУ}}$ – реактивна потужність високовольтних конденсаторних установок (ВКУ) споживача з напругою конденсаторів понад 1 кВ, квар.

В якості додаткових джерел реактивної потужності (ДРП) в СЕП підприємства приймаються комплектні конденсаторні установки (ККУ) виробництва ЗАТ «СІЛКОН-КВАР» (м. Київ). Основними комплектуючими виробами конденсаторних установок (КУ) є косинусні конденсатори. До основних переваг КУ відносять:

- більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД) порівняно з іншими ДРП (малі питомі втрати активної потужності);
- простоту монтажу, конструкції та експлуатації;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						26
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- відсутність частин, що обертаються;
- відсутність шуму під час роботи;
- відсутність необхідності безперервного нагляду та обслуговування;
- порівняно невисокі капітальні витрати;
- широкі можливості підбору необхідної потужності;
- можливість установа в будь-якій точці СЕП.

До основних недоліків КУ відносять:

- наявність залишкового заряду;
- залежність реактивної потужності від напруги;
- ступеневе регулювання реактивної потужності.

5.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ

Максимальна реактивна потужність, яку доцільно передавати через трансформатор 10/0,4 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта його завантаження β_T визначається за формулою

$$Q_T = \sqrt{(N_T \beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_{\text{р.3}}^2}, \text{ квар}, \quad (5.3)$$

де N_T – кількість трансформаторів ТП, шт.;

$S_{\text{ном.Т}}$ – повна номінальна потужність трансформатора цехової ПС, кВА;

$P_{\text{р.3}}$ – розрахункова активна потужність навантаження на 3-му рівні електропостачання (розрахункова активна потужність цеху $P_{\text{р.ц}}$ з таблиці 1.3), кВт.

Потужність НКУ із конденсаторами номінальною напругою до 1 кВ визначається як

$$Q_{\text{НКУ}} = Q_{\text{р.3}} - Q_T, \text{ квар}, \quad (5.4)$$

де $Q_{\text{р.3}}$ – розрахункова реактивна потужність на 3-му рівні електропостачання, яка дорівнює розрахунковій реактивній потужності цеху $Q_{\text{р.ц}}$ за таблицею 1.3, квар.

Для застосування приймається найближча стандартна величина потужності ККУ $Q_{\text{НКУ}}$, яка вибирається зі спеціальної технічної літератури, за таблицями П.1 і П.2. [1]

Кількість ККУ для двотрансформаторних цехових ПС повинна бути парною, ККУ мають бути однакової потужності.

Так, для механічного цеху № 2 за формулами (5.3) і (5.4) відповідно

$$Q_{т2} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1000)^2 - 1248,9^2} = 1000,1 \text{ квар},$$

$$Q_{НКУ2} = 1595,5 - 1000,1 = 595,4 \text{ квар}.$$

За таблицею П.1 [1] вибираються дві ККУ УКРП-0,4-300-20УЗ виробництва ЗАТ «СІЛКОН-КВАР» (м. Київ). Розшифровка типу та номіналу цих ККУ така:

УКРП – установка конденсаторна з регулюванням за потужністю;

0,4 – номінальна напруга, кВ;

300 – сумарна реактивна потужність, квар;

20 – реактивна потужність ступеня, квар;

У – для помірного клімату;

З – для внутрішньої установки.

Низьковольтні ККУ приєднуються до розподільного пристрою НН КТП через автомати, які установлені в шафі низьковольтній лінійній (ШНЛ), або в шафі низьковольтній ввідній (ШНВ), або в шафі низьковольтній секційній (ШНС) при двотрансформаторній КТП.

Аналогічні розрахунки для вибору потужності ККУ номінальною напругою 0,4 кВ для цехових ПС інших цехів наводяться в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

**Визначення потужності комплектних конденсаторних установок
номінальною напругою 0,4 кВ**

№ цеху	Q_t , квар	$Q_{НКУ}$, квар	Тип і номінал	Потужність, квар	Кількість ККУ
1	525,8	340,5	УКРП-0,4-160-20УЗ	160	2
2	1000,1	595,4	УКРП-0,4-300-20УЗ	300	2
3	1219,6	47,5	УКРП-0,4-25-5УЗ	25	2
4	1456,7	-727,1	–	–	–
5	1278,2	28,1	УКРП-0,4-25-5УЗ	25	2
6	1426,2	-635,1	–	–	–
7	138,8	105,9	УКРП-0,4-50-10УЗ	50	2

5.3 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 10,5 кВ

Потужність КУ номінальною напругою 10,5 кВ визначається за формулою

$$Q_{\text{ВКУ}} = Q_{\text{КП}} - \sum Q_{\text{НКУ.ст}}, \text{квар}, \quad (5.5)$$

де $\sum Q_{\text{НКУ.ст}}$ – сумарна потужність встановлених низьковольтних ККУ, квар.

За формулою (5.5)

$$Q_{\text{ВКУ}} = 3326,4 - (2 \cdot 160 + 2 \cdot 300 + 2 \cdot 25 + 2 \cdot 25 + 2 \cdot 50) = 2206,4 \text{ квар.}$$

З таблиці П.4 вибираються дві нерегульовані ККУ ТИПУ УКРВ-10/1000 УЗ КСО-306 виробництва ТОВ «ВАЛОН-А» (м. Хмельницький).

Величина некомпенсованої реактивної потужності визначається як

$$Q_{\text{неск}} = Q_{\text{ВКУ}} - Q_{\text{ВКУ.ст}}, \text{квар}, \quad (5.6)$$

де $Q_{\text{ВКУ.ст}}$ – сумарна потужність встановлених високовольтних ККУ, квар.

$$Q_{\text{неск}} = 2206,4 - 2 \cdot 1000 = 206,4 \text{ квар.}$$

Цю некомпенсовану реактивну потужність можливо компенсувати за рахунок збільшення потужності низьковольтних ККУ на одній із цехових ПС. Тому на КТП № 1 замість ККУ типу УКРП-0,4-160-20УЗ слід установити ККУ типу УКРП-0,4-240-20УЗ, а на КТП № 7 замість ККУ типу УКРП-0,4-50-10УЗ слід установити ККУ типу УКРП-0,4-70-10УЗ.

За формулою (5.6)

$$Q_{\text{неск}} = 2006,4 - 2 \cdot 1000 = 6,4 \text{ квар.}$$

Скореговані значення потужностей ККУ напругою 0,4 кВ наводяться в таблиці 5.2.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

**Скореговані потужності комплектних конденсаторних
установок номінальною напругою 0,4 кВ**

№ цеху	Q_T , квар	$Q_{НКУ}$, квар	Тип і номінал	Потужність, квар	Кількість ККУ
1	525,8	340,5	УКРП-0,4-240-20У3	240	2
2	1000,1	595,4	УКРП-0,4-300-20У3	300	2
3	1219,6	47,5	УКРП-0,4-25-5У3	25	2
4	1456,7	-727,1	—	—	—
5	1278,2	28,1	УКРП-0,4-25-5У3	25	2
6	1426,2	-635,1	—	—	—
7	138,8	105,9	УКРП-0,4-70-10У3	70	2

РОЗДІЛ 6
РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Схема електропостачання показує зв'язок між ДЖ та споживачами електроенергії підприємства. Розроблення схеми електропостачання промислових підприємств здійснюється з урахуванням наступних принципів:

- максимальне наближення ДЖ високої напруги (ВН) до ЕУ споживачів, що призводить до мінімізації кількості мережних ланок та кількості проміжних трансформацій та комутацій;
- резервування живлення для різних категорій надійності має бути передбачене в схемі електропостачання (відмова від «холодного» резерву);
- наскрізне секціонування усіх ланок СЕП з установкою на секційних апаратах пристроїв автоматичного вмикання резерву;
- вибір режиму роздільної роботи ліній та трансформаторів, що призводить до зниження струмів короткого замикання (КЗ).

ДЖ для проектованої СЕП виступає енергосистема, а приймальним пунктом – ГПП, яка розміщується на території підприємства біля його огорожі. Проектована ГПП відгалужувального типу, тому її живлення від ДЖ (енергосистеми) здійснюється двома радіальними повітряними лініями (ПЛ) напругою 35 кВ. Серед споживачів підприємства переважають споживачі 1 та 2-ї категорії надійності електропостачання, тому на ГПП встановлюються 2 трансформатори $T1$ та $T2$ типу ТМН-4000/35, кожен з яких живиться від окремої ПЛ напругою 35 кВ. Трансформатори $T1$ та $T2$ працюють роздільно і кожен з них живить окрему секцію збірних шин (ЗШ). Трансформатори ГПП обладнані пристроями регулювання під навантаженням (РПН). Первинні обмотки трансформаторів з'єднані за схемою «зірка», а вторинні – за схемою «трикутник». Для захисту від атмосферних та комутаційних перенапруг на виводах трансформатора, зі сторони ВН, встановлюються розрядники $FV1-FV2$.

Для захисту трансформаторів ГПП встановлюється диференційний захист трансформатора (в якості основного захисту), максимальний струмовий захист (МСЗ) (в якості резервного захисту), газовий захист та захист від перевантажень.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

На стороні ВН застосовується спрощена схема розподільного пристрою – схема «блок лінія – трансформатор з вимикачем» без перемички. Доцільність використання блочної схеми без перемички визначається її простотою, надійністю та зменшенням габаритних розмірів ПС. Однак при ушкодженні на живильний ПЛ автоматично вимикаються і лінія, і трансформатор, який живиться від цієї лінії, на весь час ремонтних робіт, що є суттєвим недоліком.

В якості комутаційних апаратів на стороні ВН застосовуються високовольтні вимикачі $Q1$ та $Q2$. Між ПЛ напругою 35 кВ та високовольтними вимикачами $Q1$ та $Q2$ встановлюються лінійні роз'єднувачі $QS1$ та $QS2$, в яких виконується механічне блокування головних контактних та заземлюючих ножів.

Розподільна мережа внутрішньозаводського електропостачання виконується двоступеневою. Розподільний пункт (РП) розташовується у будівлі компресорної станції (цех № 7). Внутрішньозаводський розподіл електроенергії здійснюється при напрузі 10 кВ за змішаною схемою. ГПП та РП виконуються із комірок КРП). В якості комутаційних апаратів застосовуються вакуумні вимикачі.

Розподільний пристрій 10 кВ ГПП виконується за схемою з одиночною секціонованою системою збірних шин. Секція $B1$ розподільного пристрою 10 кВ ГПП живиться від трансформатора $T1$ через ввідний вимикач $Q3$ (комірка № 7), а секція $B2$ – від трансформатора $T2$ через ввідний вимикач $Q4$ (комірка № 8). Секціонування здійснюється за допомогою секційного вимикача $QB1$ (комірка № 1) та секційного роз'єднувача (комірка № 2). Від комірок № 13 та № 14 за радіальною схемою за допомогою кабельних ліній (КЛ) отримує живлення одностансформаторна цехова ТП № 4 і ТП № 6. Від комірок № 3 – № 6 за радіальною схемою отримують живлення двотрансформаторні цехові ТП № 5 та ТП № 3. Від комірок №17 та № 18 за подвійною магістральною схемою двома КЛ отримують живлення РП, ТП №1 та № 2.

У комірках відхідних ліній встановлюються трансформатори струму (ТС), трансформатори струму нульової послідовності (ТСНП), вимірювальні пристрої (амперметри, лічильники активної і реактивної енергії) та пристрої РЗ.

Схеми з'єднання обмоток трансформаторів напруги (ТН) аналогічні схемам з'єднання обмоток ТН ГПП. У комірках ТН встановлюються вольтметри та пристрої РЗ (неселективна сигналізація від однофазних замикань на землю).

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

Від комірок № 7 – № 10 за радіальною схемою за допомогою шести КЛ отримують живлення 4 СД (*М1–М4*) типу СДНЗ-2-19-34-20. ЕД *М3* та *М4*, які приєднуються до комірок № 9 та № 10 відповідно, знаходяться у резерві.

Двотрансформаторні цехові ТП № 1 та ТП № 2, які живляться від ЗШ РП за подвійною магістральною схемою, приєднуються до магістралі через вимикачі навантаження та високовольтні запобіжники, які необхідні для селективного вимикання трансформатора при його пошкодженні. Первинні обмотки трансформаторів цехових ТП з'єднані за схемою «трикутник», а вторинні – за схемою «зірка з нульовим проводом». Секціонування ЗШ НН двотрансформаторних цехових ТП здійснюється секційними автоматичними вимикачами, на яких встановлюється пристрій АВР. Шини 0,38/0,22 кВ одотрансформаторних ТП та секції шин 0,38/0,22 кВ двотрансформаторних ТП живляться від відповідних цехових трансформаторів через ввідні автоматичні вимикачі. До шин НН цехових ТП через захисні автоматичні вимикачі приєднуються низьковольтні ККУ типу УКРП.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ ТРИФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ПОНАД 1 кВ

7.1 Розрахункова схема для максимального режиму

На рисунку 7.1 наведена розрахункова схема для максимального режиму при наявності РП компресорної станції, на якій встановлено чотири СД (два знаходяться в резерві). Точка К – задана величина початкового струму трифазного КЗ від енергосистеми зі сторони ВН трансформатора ГПП, точка К1 – за вимикачем 10 кВ, що відходить від шин ГПП. У розрахунковій схемі нумеруються ступені напруги: 1 – сторона ВН трансформатора ГПП і 2 – сторона НН ГПП. За основний ступінь приймається ступінь 2, де знаходиться точка КЗ – К1.

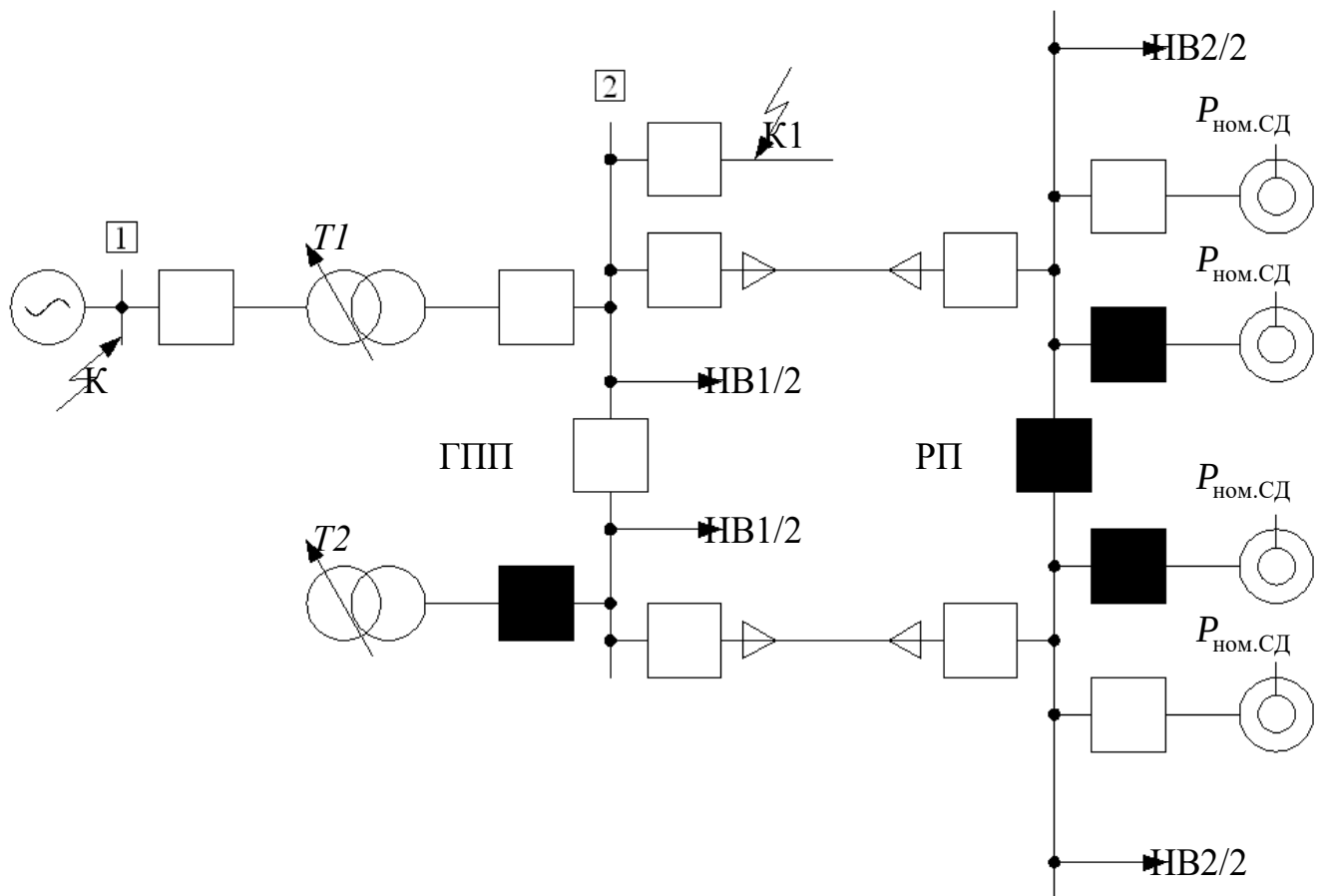


Рис. 7.1 – Розрахункова схема для максимального режиму

На рисунку 7.2 наведена схема заміщення для максимального режиму.

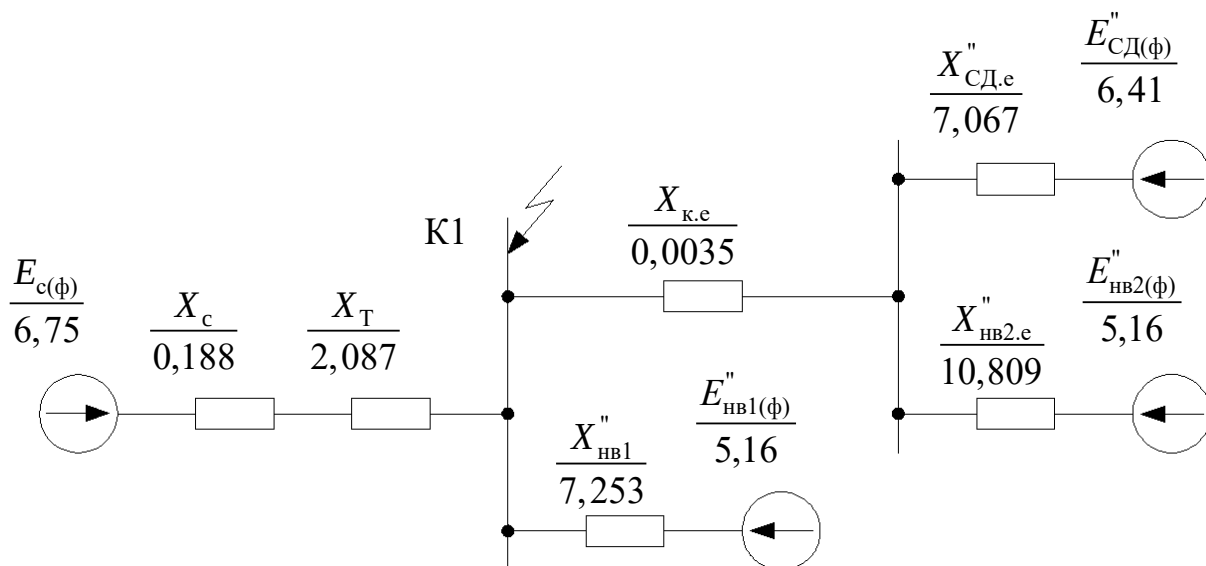


Рис. 7.2 – Схема заміщення для максимального режиму

7.2 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання на шинах низької напруги головної понижувальної підстанції для максимального режиму

Розрахунок виконується в іменованих одиницях при точному зведенні до основного ступеня 2.

Для розрахунку використовуються вихідні дані до курсової роботи та розрахункові дані, які отримані в попередніх розділах.

Вихідні дані системи:

- напруга в максимальному режимі $U_{с.макс} = 33,5 \text{ кВ}$;
- величина початкового струму трифазного КЗ від системи на стороні ВН трансформатора ГПП у максимальному режимі $I_{п0.с.макс} = 12,5 \text{ кА}$.

Вихідні дані трансформаторів ГПП:

- два трансформатори ТМН-4000/35;
- номінальна потужність трансформаторів $S_{ном.т} = 4 \text{ МВА}$;
- номінальна напруга регульованої обмотки ВН на середньому відгалуженні $U_{ном.ВН} = 35 \text{ кВ}$;

- номінальна напруга обмотки НН $U_{\text{ном.НН}} = 11 \text{ кВ}$;
- діапазон РПН $\Delta U_{\text{РПН}} = \pm 10\%$;
- напруга КЗ для крайнього відгалуження «–РО» $u_{\text{к}}^{-\text{РО}} = 6,9\%$.

Вихідні дані кабелів, що відходять від шин ГПП до РП:

- середній індуктивний питомий опір $x_{\text{л.к}} = 0,08 \text{ Ом/км}$;
- довжина кабелю $l_{\text{к}} = 0,086 \text{ км}$.

Вихідні дані високовольтних СД:

- тип СДНЗ-2-19-34-20;
- номінальна напруга $U_{\text{ном.СД}} = 10 \text{ кВ}$;
- кількість двигунів $N = 4 \text{ шт.}$;
- номінальна активна потужність $P_{\text{ном.СД}} = 1250 \text{ кВт}$;
- номінальний ККД $\eta_{\text{ном.СД}} = 0,953 \text{ в. о}$;
- подовжній надперехідний індуктивний опір при номінальних умовах роботи

машини $X_{*d(\text{ном})}'' = 0,206 \text{ в. о}$;

- номінальний коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном.СД}} = 0,9$.

Вихідні дані навантаження:

- надперехідна електрорушійна сила (ЕРС) навантаження у відносних одиницях

$E_{* \text{нв}}'' = 0,85$;

- надперехідний індуктивний опір навантаження у відносних одиницях

$X_{* \text{нв}}'' = 0,35$.

ЕРС та опір навантаження приведені до потужності навантаження і до середньої номінальної напруги ступеня, на якому воно приєднано.

1-й етап. Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

1) Повне узагальнене навантаження, яке приєднане до шин НН ГПП, визначається за формулою

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$S_{\text{нв1}} = S_{\text{р.ТП3}} + S_{\text{р.ТП4}} + S_{\text{р.ТП5}} + S_{\text{р.ТП6}}, \text{кВА}, \quad (7.1)$$

$$S_{\text{нв1}} = 1636,6 + 985,1 + 1622,6 + 1073,3 = 5317,6 \text{кВА}.$$

Приймається $S_{\text{нв1}} = 5,32 \text{МВА}$.

2) Повне узагальнене навантаження, яке приєднане до шин РП, визначається як

$$S_{\text{нв2}} = S_{\text{р.ТП1}} + S_{\text{р.ТП2}} + S_{\text{р.ТП7}}, \text{кВА}, \quad (7.2)$$

$$S_{\text{нв2}} = 1220,7 + 2026,2 + 325,9 = 3572,8 \text{кВА}.$$

Приймається $S_{\text{нв2}} = 3,57 \text{МВА}$.

3) Величина номінальної напруги обмотки ВН трансформатора в максимальному режимі при роботі на крайньому відгалуженні регульованої обмотки «-РО» визначається так:

$$U_{\text{ном.ВН}}^{-\text{РО}} = \left(1 - \Delta U_{* \text{РПН}}\right) U_{\text{ном.ВН}}, \text{кВ}, \quad (7.3)$$

де $\Delta U_{* \text{РПН}}$ – відносна максимальна величина діапазону РПН в один із боків від середнього відгалуження регульованої обмотки, в. о.

За формулою (7.3)

$$U_{\text{ном.ВН}}^{-\text{РО}} = (1 - 0,1) \cdot 35 = 31,5 \text{кВ}.$$

4) Коефіцієнт трансформації трансформатора ГПП у максимальному режимі (з урахуванням того, що за основний ступінь прийнято ступінь 2) визначається за формулою

$$K_T = \frac{U_{\text{ном.НН}}}{U_{\text{ном.ВН}}^{\text{РО}}}, \quad (7.4)$$

$$K_T = \frac{11}{31,5} = 0,349.$$

5) ЕРС та опір системи визначаються як

$$E_{\text{с(ф)}} = U_{\text{с.макс}} K_T \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}, \text{ кВ}, \quad (7.5)$$

$$X_{\text{с}} = \frac{U_{\text{с.макс}}}{\sqrt{3} I_{\text{п0.с.макс}}} K_T^2, \text{ Ом}. \quad (7.6)$$

За формулами (7.5) та (7.6) відповідно

$$E_{\text{с(ф)}} = 33,5 \cdot 0,349 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{11,69}{\sqrt{3}} \text{ кВ},$$

$$X_{\text{с}} = \frac{33,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} \cdot 0,349^2 = 0,188 \text{ Ом}.$$

6) Індуктивний опір трансформатора розраховується так:

$$X_T = \frac{u_{\text{к}}^{\text{РО}} U_{\text{ном.НН}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном.Т}}}, \text{ Ом}, \quad (7.7)$$

$$X_T = \frac{6,9 \cdot 11^2}{100 \cdot 4} = 2,087 \text{ Ом.}$$

7) Параметри кабелю для схеми заміщення (рисунок 7.2) визначаються за формулою

$$X_K = x_{\text{п.к}} l_K, \text{ Ом,} \quad (7.8)$$

$$X_{\text{к.е}} = \frac{X_K}{2}, \text{ Ом.} \quad (7.9)$$

За формулами (7.8) та (7.9) відповідно

$$X_K = 0,08 \cdot 0,086 = 0,0069 \text{ Ом,}$$

$$X_{\text{к.е}} = \frac{0,0069}{2} = 0,0035 \text{ Ом.}$$

8) При розрахунках струмів КЗ для максимального режиму вважають, що в попередньому до КЗ режимі СД працюють з номінальною напругою, номінальним струмом і номінальним коефіцієнтом потужності. Ці параметри подаються у відносних одиницях $U_{*0(\text{ном})} = 1$, $I_{*0(\text{ном})} = 1$, $\cos \varphi_0 = \cos \varphi_{\text{ном}}$.

ЕРС СД для попереднього номінального режиму їх роботи та опір розраховуються як

$$E_{* \text{СД}0(\text{ном})}'' = \sqrt{\left(U_{*0(\text{ном})} \cos \varphi_0 \right)^2 + \left(U_{*0(\text{ном})} \sin \varphi_0 - I_{*0(\text{ном})} X_{*d(\text{ном})}'' \right)^2}, \quad (7.10)$$

$$E_{\text{СД}(\varphi)}'' = E_{* \text{СД}0(\text{ном})}'' U_{\text{ном.СД}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}, \text{ кВ,} \quad (7.11)$$

$$X_{\text{CD.е}}'' = X_{*d(\text{НОМ})}'' \frac{U_{\text{НОМ.СД}}^2 \cos \varphi_{\text{НОМ.СД}} \eta_{\text{НОМ.СД}}}{N_{\text{р}} P_{\text{НОМ.СД}} \cdot 10^{-3}}, \text{ Ом.} \quad (7.12)$$

За формулами (7.10) – (7.12) відповідно

$$E_{* \text{СД0(НОМ)}}'' = \sqrt{(1 \cdot 0,9)^2 + (1 \cdot 0,436 + 1 \cdot 0,206)^2} = 1,11,$$

$$E_{\text{СД(Ф)}}'' = 1,11 \cdot 10 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{11,1}{\sqrt{3}} \text{ кВ,}$$

$$X_{\text{СД.е}}'' = 0,206 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,9 \cdot 0,953}{2 \cdot 1250 \cdot 10^{-3}} = 7,067 \text{ Ом.}$$

9) Параметри узагальненого навантаження розраховуються так:

$$E_{\text{НВ(Ф)}}'' = E_{* \text{НВ}}'' U_{\text{сер.НОМ}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}, \text{ кВ,} \quad (7.13)$$

$$X_{\text{НВ}}'' = X_{* \text{НВ}}'' \frac{U_{\text{сер.НОМ}}^2}{S_{\text{НВ}}}, \text{ Ом,} \quad (7.14)$$

де $U_{\text{НОМ.сер}}$ – середня номінальна напруга ступеня, кВ.

За формулами (7.13) та (7.14) відповідно

$$E_{\text{НВ1(Ф)}}'' = 0,85 \cdot 10,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{8,93}{\sqrt{3}} \text{ кВ,}$$

$$X_{\text{НВ1}}'' = 0,35 \cdot \frac{10,5^2}{5,32} = 7,253 \text{ Ом.}$$

ЕРС узагальненого навантаження, приєднаного до шин РП визначається за формулою (7.13)

$$E_{\text{нв2}(\phi)}'' = 0,85 \cdot 10,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{8,93}{\sqrt{3}} \text{ кВ.}$$

Еквівалентний опір узагальненого навантаження, приєднаного до шин РП визначається як

$$X_{\text{нв2}}'' = X_{* \text{ нв}}'' \frac{2U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{нв2}}}, \text{ Ом,} \quad (7.15)$$

$$X_{\text{нв2.с}}'' = \frac{X_{\text{нв2}}''}{2} = X_{* \text{ нв}}'' \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{нв2}}}, \text{ Ом.} \quad (7.16)$$

За формулою (7.16)

$$X_{\text{нв2.с}}'' = 0,35 \cdot \frac{10,5^2}{3,57} = 10,809 \text{ Ом.}$$

2-й етап. Перетворення схеми заміщення до елементарного вигляду відносно точки короткого замикання К1.

На рисунку 7.3 наведено перетворену схему заміщення відповідно до вихідної схеми заміщення (рисунок 7.2).

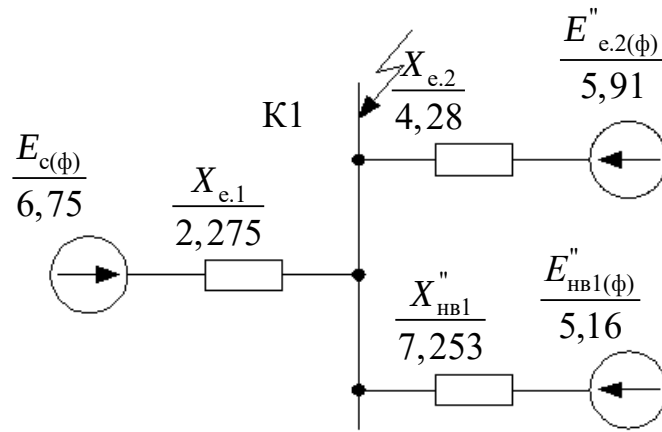


Рис. 7.3 – Перетворена схема заміщення

Параметри для перетвореної схеми заміщення визначаються так:

$$X_{e.1} = X_C + X_T, \text{ Ом}, \quad (7.17)$$

$$X_{e.2} = X_{к.е} + \frac{X''_{CD.е} X''_{нв2.е}}{X''_{CD.е} + X''_{нв2.е}}, \text{ Ом}, \quad (7.18)$$

$$E_{e.2(φ)} = \frac{E''_{CD(φ)} X''_{нв2.е} + E''_{нв2(φ)} X''_{CD.е}}{X''_{CD.е} + X''_{нв2.е}}, \text{ кВ}. \quad (7.19)$$

За формулами (7.17) – (7.19) відповідно

$$X_{e.1} = 0,188 + 2,087 = 2,275 \text{ Ом},$$

$$X_{e.2} = 0,0035 + \frac{7,067 \cdot 10,809}{7,067 + 10,809} = 4,28 \text{ Ом},$$

$$E_{e.2(φ)} = \frac{11,1 \cdot 10,809 + 8,93 \cdot 7,067}{7,067 + 10,809} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{10,24}{\sqrt{3}} \text{ кВ}.$$

3-й етап. Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового надперехідного струму) у точці К1.

Діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент у точці К1 визначається за формулою

$$I_{п0.K1} = \frac{E_{с(ф)}}{X_{е.1}} + \frac{E_{с.2(ф)}}{X_{е.2}} + \frac{E''_{нв1(ф)}}{X''_{нв1}}, \text{ кА}, \quad (7.20)$$

$$I_{п0.K1} = \frac{11,69}{\sqrt{3} \cdot 2,275} + \frac{10,24}{\sqrt{3} \cdot 4,28} + \frac{8,93}{\sqrt{3} \cdot 7,253} = 5,06 \text{ кА}.$$

4-й етап. Визначення ударного струму в точці К1.

Ударний коефіцієнт на шинах 10 кВ ГПП приймається $K_{уд.С} = 1,85$, для СД $K_{уд.СД} = 1,8$, для узагальненого навантаження $K_{уд.НВ} = 1$.

Ударний струм у точці К1 визначається як

$$i_{уд.K1} = \sqrt{2} \left(\frac{E_{с(ф)}}{X_{е.1}} K_{уд.С} + \frac{E''_{СД(ф)}}{X''_{СД.е} + X_{к.е}} K_{уд.СД} + \dots \rightarrow \right. \\ \left. \dots \leftarrow + \frac{E''_{нв2(ф)}}{X''_{нв2.е} + X_{к.е}} K_{уд.НВ} + \frac{E''_{нв1(ф)}}{X''_{нв1}} K_{уд.НВ} \right), \text{ кА}, \quad (7.21)$$

$$i_{уд.K1} = \sqrt{2} \left(\frac{11,69}{\sqrt{3} \cdot 2,275} \cdot 1,85 + \frac{11,1}{\sqrt{3}(7,067 + 0,0035)} \cdot 1,8 + \dots \rightarrow \right.$$

$$\dots \leftarrow + \frac{8,93}{\sqrt{3}(10,809 + 0,0035)} \cdot 1 + \frac{8,93}{\sqrt{3} \cdot 7,253} \cdot 1 = 11,75 \text{ кА.}$$

7.3 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання на шинах розподільного пункту

На рисунку 7.4 наведена розрахункова схема для максимального режиму. Точка К – задана величина початкового надперехідного струму трифазного КЗ на стороні ВН трансформатора ГПП, точка К2 – за вимикачем 10 кВ, що відходить від шин РП. У розрахунковій схемі нумеруються ступені напруги: 1 – сторона ВН трансформатора ГПП і 2 – сторона НН ГПП. За основний ступінь приймається ступінь 2, де знаходиться точка короткого замикання – К2.

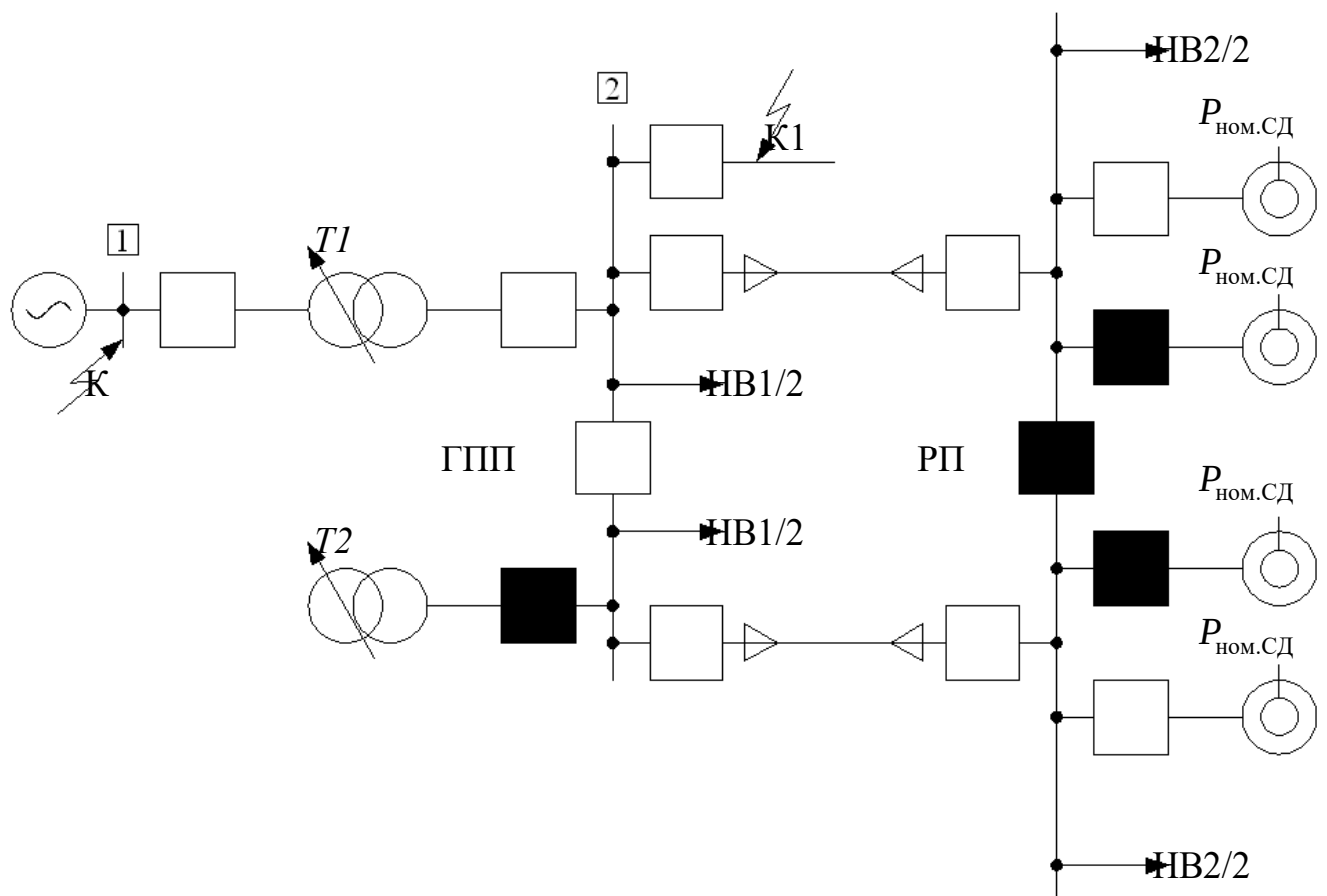


Рис. 7.4. – Розрахункова схема для максимального режиму

Розрахунок виконується в іменованих одиницях при точному зведенні до основного ступеня 2. На рисунку 6.5 наведена схема заміщення для максимального режиму, яка відповідає розрахунковій схемі (рисунк 6.4).

Для розрахунку використовуються вихідні дані до курсової роботи та розрахункові дані, які отримані в попередніх розділах.

1-й етап. Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

Параметри системи, трансформатора, КЛ, узагальненого навантаження, приєднаного до шин НН ГПП, а також ЕРС СД та ЕРС узагальненого навантаження, приєднаного до шин РП, були визначені під час розрахунку струму трифазного КЗ на шинах НН ГПП (точка К1).

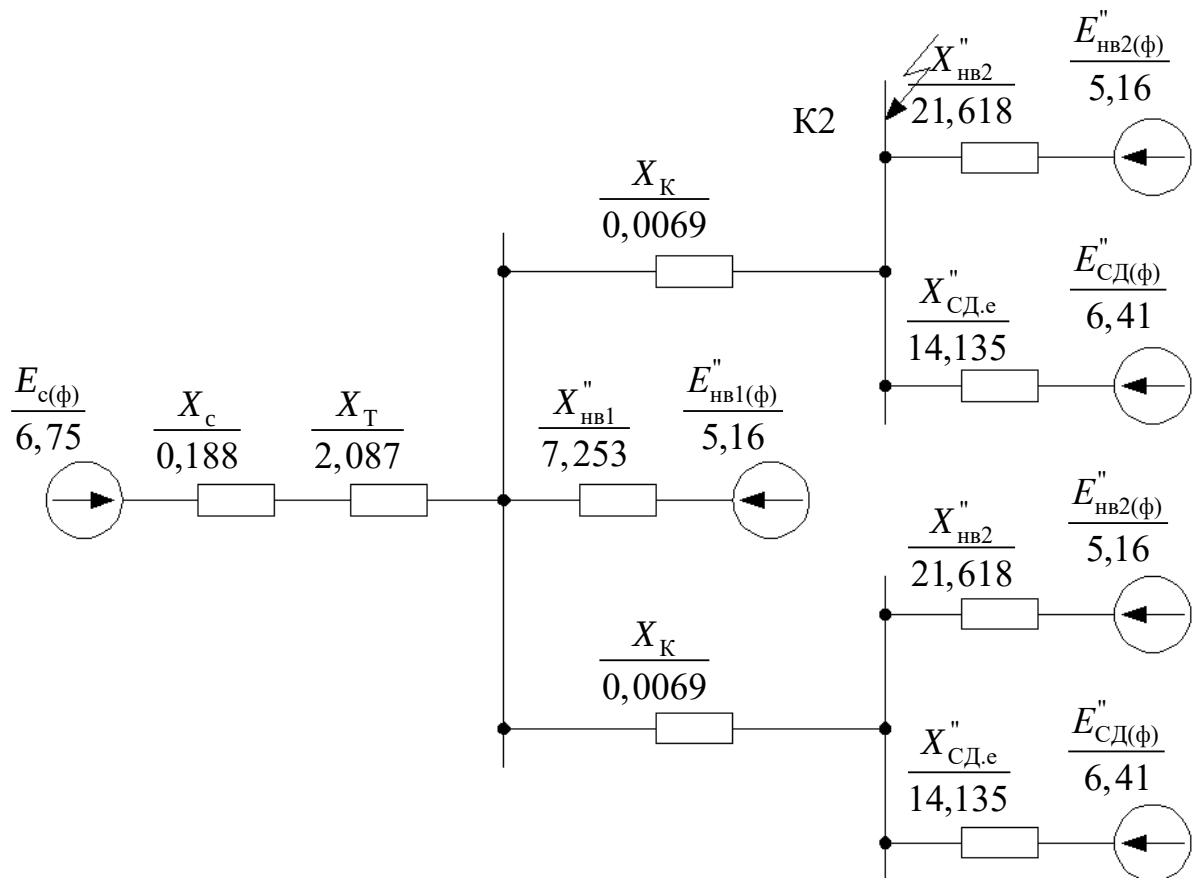


Рис. 7.5. – Схема заміщення для максимального режиму

Еквівалентний опір узагальненого навантаження, приєднаного до шин РП визначається так:

$$X_{\text{нв2}}'' = X_{\text{нв}}'' \frac{2U_{\text{ном.сеп}}^2}{S_{\text{нв2}}}, \text{ Ом}, \quad (7.22)$$

$$X_{\text{нв2}}'' = 0,35 \cdot \frac{2 \cdot 10,5^2}{3,57} = 21,618 \text{ Ом.}$$

Визначається надперехідний опір СД

$$X_{\text{сд}}'' = X_{\text{д(ном)}}'' \frac{U_{\text{ном.сд}}^2 \cos \varphi_{\text{ном.сд}} \eta_{\text{ном.сд}}}{P_{\text{ном.сд}} \cdot 10^{-3}}, \text{ Ом}, \quad (7.23)$$

$$X_{\text{сд}}'' = 0,206 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,9 \cdot 0,953}{1250 \cdot 10^{-3}} = 14,135 \text{ Ом.}$$

2-й етап. Перетворення схеми заміщення до елементарного вигляду відносно точки короткого замикання К2.

На рисунку 7.6 та рисунку 6.7 наведено перетворені схеми заміщення відповідно до вихідної схеми заміщення (рисунок 7.4).

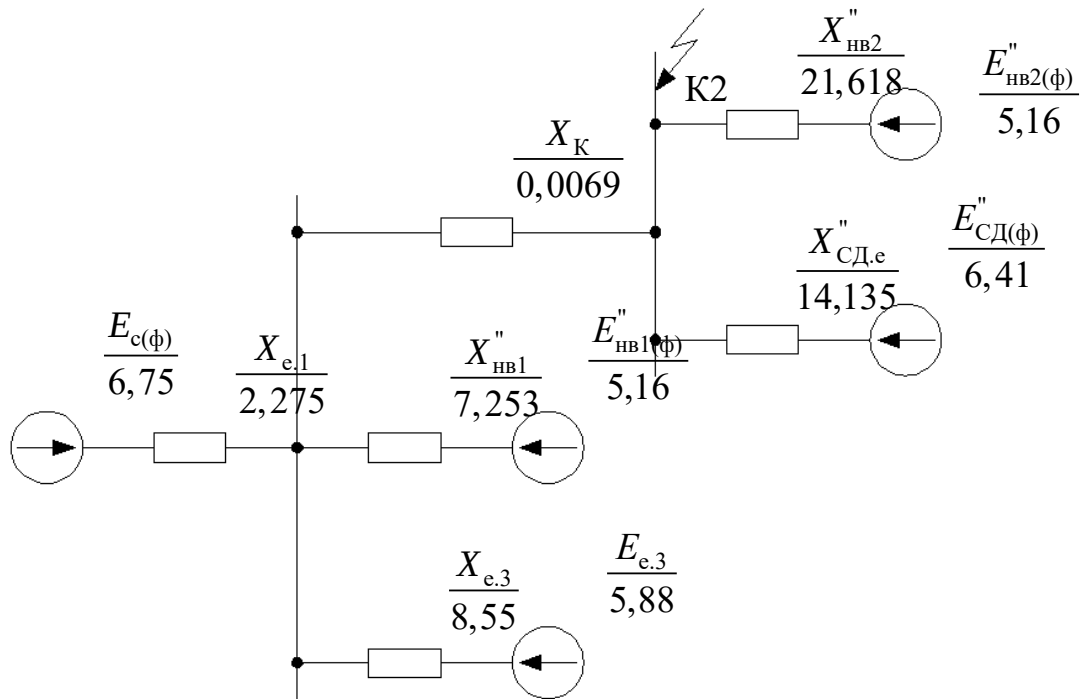


Рис. 7.6 – Перетворена схема заміщення (перший етап перетворення)

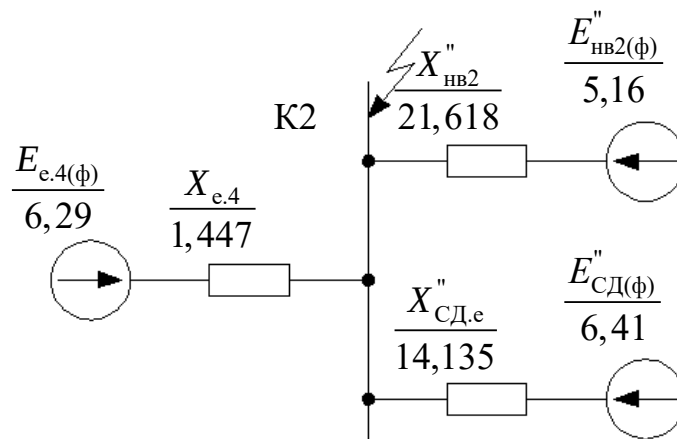


Рис. 7.7 – Перетворена схема заміщення (другий етап перетворення)

Параметри для перетворених схем заміщення визначаються так:

$$X_{е.3} = X_K + \frac{X_{CD}'' X_{HB2}''}{X_{CD}'' + X_{HB2}''}, \text{ Ом}, \quad (7.24)$$

$$E_{е.3(ф)} = \frac{E_{CD(ф)}'' X_{HB2}'' + E_{HB2(ф)}'' X_{CD}''}{X_{CD}'' + X_{HB2}''}, \text{ кВ}, \quad (7.25)$$

$$X_{e.4} = \frac{X_{e.1} X_{HB1}'' X_{e.3}}{X_{e.1} X_{HB1}'' + X_{HB1}'' X_{e.3} + X_{e.1} X_{e.3}} + X_K, \text{ Ом}, \quad (7.26)$$

$$E_{e.4(\phi)} = \frac{E_{c(\phi)} X_{HB1}'' X_{e.3} + E_{HB1(\phi)}'' X_{e.1} X_{e.3} + E_{e.3} X_{e.1} X_{HB1}''}{X_{e.1} X_{HB1}'' + X_{HB1}'' X_{e.3} + X_{e.1} X_{e.3}}, \text{ кВ}. \quad (7.27)$$

За формулами (7.24) – (7.27) відповідно

$$X_{e.3} = 0,0069 + \frac{14,135 \cdot 21,618}{14,135 + 21,618} = 8,55 \text{ Ом},$$

$$E_{e.3(\phi)} = \frac{11,1 \cdot 21,618 + 8,93 \cdot 14,135}{\sqrt{3}(14,135 + 21,618)} = \frac{10,19}{\sqrt{3}} \text{ кВ},$$

$$X_{e.4} = \frac{2,275 \cdot 7,253 \cdot 8,55}{2,275 \cdot 7,253 + 7,253 \cdot 8,55 + 2,275 \cdot 8,55} + 0,0069 = 1,447 \text{ Ом},$$

$$E_{e.4(\phi)} = \frac{11,69 \cdot 7,253 \cdot 8,55 + 8,93 \cdot 2,275 \cdot 8,55 + 10,19 \cdot 2,275 \cdot 7,253}{\sqrt{3}(7,253 \cdot 8,55 + 2,275 \cdot 8,55 + 2,275 \cdot 7,253)} = \frac{10,89}{\sqrt{3}} \text{ кВ}.$$

3-й етап. Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового надперехідного струму) у точці К2.

Визначається діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент у точці К2

$$I_{п0.К2} = \frac{E_{e.4(\phi)}}{X_{e.4}} + \frac{E_{HB2(\phi)}''}{X_{HB2}''} + \frac{E_{CD(\phi)}''}{X_{CD}''}, \text{ кА}, \quad (7.28)$$

$$I_{п0.K2} = \frac{10,89}{\sqrt{3} \cdot 1,447} + \frac{8,93}{\sqrt{3} \cdot 21,618} + \frac{11,1}{\sqrt{3} \cdot 14,135} = 5 \text{ кА.}$$

4-й етап. Визначення ударного струму в точці К2.

Приймається ударний коефіцієнт на шинах 10 кВ ГПП $K_{уд.с} = 1,85$, для СД – ударний коефіцієнт $K_{уд.СД} = 1,8$, для узагальненого навантаження – ударний коефіцієнт $K_{уд.нв} = 1$.

Визначається ударний струм у точці К2

$$i_{уд.K2} = \sqrt{2} \left(\frac{E_{с(ф)}}{X_{е.1} + X_K} K_{уд.с} + \frac{E''_{нв1(ф)}}{X''_{нв1} + X_K} K_{уд.нв} + \frac{E''_{нв2(ф)}}{X''_{нв2} + 2X_K} K_{уд.нв} + \right. \\ \left. + \frac{E''_{СД(ф)}}{X''_{СД} + 2X_K} K_{уд.СД} + \frac{E''_{СД(ф)}}{X''_{СД}} K_{уд.СД} + \frac{E''_{нв2(ф)}}{X''_{нв2}} K_{уд.нв} \right), \text{ кА,} \quad (7.29)$$

$$i_{уд.K2} = \sqrt{2} \left(\frac{11,69}{\sqrt{3}(2,275 + 0,0069)} \cdot 1,85 + \frac{8,93}{\sqrt{3}(7,253 + 0,0069)} \cdot 1 + \right. \\ \left. + \frac{8,93}{\sqrt{3}(21,618 + 2 \cdot 0,0069)} \cdot 1 + \frac{11,1}{\sqrt{3}(14,135 + 2 \cdot 0,0069)} \cdot 1,8 + \right. \\ \left. + \frac{11,1}{\sqrt{3} \cdot 14,135} \cdot 1,8 + \frac{8,93}{\sqrt{3} \cdot 21,618} \cdot 1 \right) = 11,7 \text{ кА.}$$

РОЗДІЛ 8

ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 10 КВ ДО ЦЕХУ № 2

8.1 Вибір перерізу провідників в електричній мережі напругою 10 кВ до цеху № 2

Для системи внутрішньозаводського електропостачання машинобудівного заводу в якості провідників застосовуються кабелі. Величини перерізів кабелів вибираються так, щоб забезпечити для електричної мережі:

- а) у нормальному режимі – задану пропускну здатність, допустимі для цього режиму відхилення напруги, економічність;
- б) у форсованому режимі – необхідну пропускну здатність, допустимі для цього режиму відхилення напруги;
- в) в аварійному режимі – електробезпечність, непошкоджуваність («живучість»).

Двотрансформаторна цехова ТП № 2 живиться від РП за подвійною магістральною схемою.

Вибір перерізу КЛ проводиться у три етапи:

- 1) Вибір перерізу за нормальним режимом навантаження.

У нормальному режимі роботи трансформатори двотрансформаторної цехової ТП № 1 працюють роздільно; секційний вимикач РП знаходиться у вимкненому стані.

Переріз кабелів напругою понад 1 кВ вибирається за економічною густиною струму. Економічно вигідний переріз кабелю визначається за формулою

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{ек}}}, \text{ мм}^2, \quad (8.1)$$

де $I_{\text{норм}}$ – струм нормального режиму, А;

$j_{ек}$ – нормоване значення економічно вигідної густини струму (згідно додатку П [1] для кабелів з алюмінієвими жилами та паперовою ізоляцією при $T_{макс} = 3500$ год/рік приймається $j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$).

За значенням економічно вигідного перерізу кабелю вибирається найближче стандартне значення перерізу $S_{ст}$.

Визначається номінальний струм трансформатора цехової ТП

$$I_{ном.Т.ВН} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} U_{ном.Т.1}}, \text{ А}, \quad (8.2)$$

де $S_{ном.Т}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{ном.Т.1}$ – номінальна первинна напруга трансформатора, кВ.

За формулою (8.2)

$$I_{ном.ТП1} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А},$$

$$I_{ном.ТП2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А}.$$

За таблицею 1.3 розрахункові навантаження РП такі: $P_{р.ц1} = 860 \text{ кВт}$, $Q_{р.ц1} = 866,3 \text{ квар}$ для механічного цеху (ТП № 1); $P_{р.ц2} = 1248,9 \text{ кВт}$, $Q_{р.ц2} = 1595,5 \text{ квар}$ для механічного цеху (ТП № 2); $P_{р.ц7} = 215,1 \text{ кВт}$, $Q_{р.ц7} = 244,8 \text{ квар}$ для компресорної станції (ТП № 7); $P_{р.СД} = 2000 \text{ кВт}$, $Q_{р.СД} = -960 \text{ квар}$ для двох робочих високовольтних СД.

Загальне розрахункове активне навантаження РП визначається

$$P_{р.РП} = P_{р.ц1} + P_{р.ц7} + P_{р.ц2} + P_{р.СД}, \text{ кВт}, \quad (8.3)$$

$$P_{p.РП} = 860 + 215,1 + 1248,9 + 2000 = 4324 \text{ кВт.}$$

Загальне розрахункове активне навантаження РП визначається як

$$Q_{p.РП} = Q_{p.ц1} + Q_{p.ц7} + Q_{p.ц2} + Q_{p.СД}, \text{ квар,} \quad (8.4)$$

$$Q_{p.РП} = 866,3 + 244,8 + 1595,5 - 960 = 1746,6 \text{ квар.}$$

Загальне розрахункове повне навантаження РП з урахуванням коефіцієнту одночасності збігання максимумів $K_0 = 0,85$ визначається так:

$$S_{p.РП} = K_0 \sqrt{P_{p.РП}^2 + Q_{p.РП}^2}, \text{ кВА,} \quad (8.5)$$

$$S_{p.РП} = 0,85 \sqrt{4324^2 + 1746,6^2} = 3963,9 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм кожної секції РП *B1* та *B2* в нормальному режимі роботи за рівномірного розподілення навантаження за секціями

$$I_{p.B1} = I_{p.B2} = \frac{S_{p.РП}}{2\sqrt{3} U_{ном}}, \text{ А,} \quad (8.6)$$

$$I_{p.B1} = I_{p.B2} = \frac{3963,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 114,4 \text{ А.}$$

Визначаються перерізи кабелів у нормальному режимі роботи:

а) на ділянці від шин НН ГПП до шин РП (ділянка 1)

$$S_{ек.1.1} = \frac{I_{p.B1}}{J_{ек}}, \text{ мм}^2, \quad (8.7)$$

$$S_{\text{ек.1.1}} = \frac{114,4}{1,4} = 81,7 \text{ мм}^2.$$

Вибирається стандартне значення перерізу жили кабелю $S_{\text{ст.1.1}} = 70 \text{ мм}^2$.

б) на другій ділянці від шин РП до трансформатора ТП № 1 (ділянка 2)

$$S_{\text{ек.1.2}} = \frac{I_{\text{ном.ТП1}} + I_{\text{ном.ТП2}}}{J_{\text{ек}}}, \text{ мм}^2, \quad (8.8)$$

$$S_{\text{ек.1.2}} = \frac{36,4 + 57,7}{1,4} = 67,2 \text{ мм}^2.$$

Вибирається стандартне значення перерізу жили кабелю $S_{\text{ст.1.2}} = 70 \text{ мм}^2$.

в) на третій ділянці від трансформатора ТП № 1 до трансформатора ТП № 2 (ділянка 3)

$$S_{\text{ек.1.3}} = \frac{I_{\text{ном.ТП2}}}{J_{\text{ек}}}, \text{ мм}^2, \quad (8.9)$$

$$S_{\text{ек.1.3}} = \frac{57,7}{1,4} = 41,2 \text{ мм}^2.$$

Вибирається стандартне значення перерізу жили кабелю $S_{\text{ст.1.3}} = 35 \text{ мм}^2$.

2) Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом.

Переріз провідника, вибраний за економічною густиною струму, перевіряється на нагрівання за величиною його максимального навантаження

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном}}, \text{ А}, \quad (8.10)$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження для провідника, який приймається рівним $K_{\text{пер}} = 1$;

$I'_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм провідника з урахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх тривалому характері, А;

$I_{\text{ф}}$ – струм форсованого режиму, А;

$K_{\text{рез}}$ – коефіцієнт резервування, який для двотрансформаторних ПС приймається рівним $K_{\text{рез}} = 1,4$;

$I_{\text{норм}}$ – струм нормального режиму, який визначається для конкретного елемента СЕП та ЕУ.

Допустимий тривалий струм з урахуванням відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов визначається за формулою

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} K_{\text{сер}} I_{\text{доп}}, \text{ А}, \quad (8.11)$$

де $K_{\text{пр}}$ – поправковий коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч у землі;

$K_{\text{сер}}$ – поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відрізняється від стандартної;

$I_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов (для однієї окремої лінії; стандартних температур для землі та води $+15^{\circ}\text{C}$ і $+25^{\circ}\text{C}$ – для повітря) залежно від матеріалу жил, їхньої ізоляції та способу прокладення, А.

Для РП у форсованому режимі при виході з ладу одного із кабелів

$$I_{\text{ф}} = I_{\text{р.РПС}} = \frac{S_{\text{РПС}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}, \text{ А}, \quad (8.12)$$

$$I_{\phi} = I_{p.P\Pi\Sigma} = \frac{3963,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 228,9 \text{ А.}$$

За додатком Т [1] при відстані між шістьма працюючими кабелями 100 мм, що лежать поруч у землі, поправковий коефіцієнт $K_{\text{пр}} = 0,75$. Температура землі ($t_z = +15^\circ \text{C}$) не відрізняється від нормованої, то приймається $K_{\text{сер}} = 1$.

За додатком Т [1] для трижильних кабелів марки ААШв напругою 10 кВ і перерізом жили 70 мм² допустимий тривалий струм $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$, 70 мм² допустимий тривалий струм $I_{\text{доп}} = 165 \text{ А}$, а для перерізу жили 35 мм² – $I_{\text{доп}} = 115 \text{ А}$.

Виконується перевірка кабелів за умовою (8.10):

а) на ділянці від шин НН ГПП до шин РП

$$1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 165 = 123,8 \text{ А} < 228,9 \text{ А.}$$

Умова не виконується, тому приймається два кабелі з перерізом жили кабелю 185 мм² з допустимим тривалим струмом $I_{\text{доп}} = 310 \text{ А}$. Тоді за формулою (8.10)

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 310 = 279 \text{ А} > 268,6 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Таким чином, приймається переріз жили кабелю 185 мм².

б) на другій ділянці від шин РП до трансформатора ТП № 1

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ А} > 1,4 \cdot (36,4 + 57,7) = 131,7 \text{ А.}$$

Умова виконується. Кабель з перерізом жили 70 мм² може працювати в форсованому режимі без перегріву ізоляції.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						55
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

в) на третій ділянці від трансформатора ТП № 1 до трансформатора ТП № 2

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 115 = 103,5 \text{ А} > 1,4 \cdot 57,7 = 80,8 \text{ А}.$$

Умова виконується. Кабель з перерізом жили 35 мм² може працювати в форсованому режимі без перегріву ізоляції.

3) Перевірка перерізу провідників на термічну стійкість при аварійному режимі.

Критерієм термічної стійкості провідників є кінцева температура їх нагрівання при проходженні по них струму КЗ, яка не повинна перевищувати короткотривалої допустимої нормованої температури. Для спрощення розрахунків термічна здатність може бути оцінена найменшим перерізом провідника, термостійким до струмів КЗ

$$S_{\text{тер.мін}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{I_k^2 t}}{C_T} = \frac{I_k \sqrt{t}}{C_T}, \text{ мм}^2, \quad (8.13)$$

де B_k – тепловий імпульс струму КЗ (інтеграл Джоуля), А²с;

$I_k = I_{\text{п}(0)}$ – початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ на початку провідника, А;

t – розрахункова тривалість КЗ для визначення інтеграла Джоуля, с;

C_T – температурний коефіцієнт, який враховує обмеження допустимої температури провідника (наводиться в [1]), Ас^{1/2}/мм².

За таблицею Т.8 додатка Т [1] приймається $C_T = 94 \text{ Ас}^{1/2}/\text{мм}^2$.

Величина розрахункової тривалості КЗ визначається так:

$$t = t_{\text{зах}} + t_{\text{в.вимк}} + T_a, \text{ с}, \quad (8.14)$$

де $t_{\text{зах}}$ – час дії основного РЗ, с;

$t_{\text{в.вимк}}$ – час вимикання вимикача;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						56
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

T_a – стала часу аперіодичної складової струму КЗ ($T_a = 0,06$ с).

Для магістральних схем живлення ТП від РП, якщо прийняти час дії МСЗ $t_{МСЗ} = 0,5$ с, повний час вимкнення вимикача серії ВВ/TEL $t_{в.вимк} = 0,09$ с, значення сталої часу аперіодичної складової струму КЗ $T_a = 0,06$ с, то розрахункова тривалість КЗ для визначення інтеграла Джоуля за формулою (8.14) становить

$$t = (0,9 + 0,3) + 0,09 + 0,06 = 1,35 \text{ с.}$$

Найменший переріз кабелю, який відповідає умові термічної стійкості до струмів КЗ, визначається за формулою (8.13)

$$S_{\text{тер.мін}} = \frac{5060 \sqrt{1,35}}{94} = 62,5 \text{ мм}^2,$$

Результати вибору перерізів КЛ наводяться в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1.

Результати вибору перерізів кабельних ліній

Ділянка	Переріз жили кабелю, мм ²			
	Нормальний режим ($S_{\text{ст}}$, мм ²)	Форсований режим ($S_{\text{ст}}$, мм ²)	Аварійний режим ($S_{\text{тер.мін}}$, мм ²)	Остаточний ($S_{\text{ст}}$, мм ²)
W _{1.1}	70	185	62,5	185
W _{1.2}	70	70	42,9	70
W _{1.3}	35	35	42,9	50

Таким чином, остаточно вибираються на першій ділянці від шин НН ГПП до шин РП – кабелі ААШв–10(3х185), на другій ділянці від шин РП до трансформаторів ТП № 1 – кабелі ААШв–10(3х70) та на третій ділянці від трансформаторів ТП № 1 до трансформаторів ТП № 2 – кабелі ААШв–10(3х50).

8.2 Вибір електричних апаратів в електричній мережі напругою 10 кВ

Розподільні пристрої НН ГПП та РП складаються із комірок КРП. У склад комірки входять комутаційні та захисні апарати, ТС, вимірювальні прилади та ін.

Вибір електричних апаратів (ЕА) напругою понад 1 кВ здійснюють за такими умовами:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та при короткочасних перенапругах

$$U_{\text{ном.ЕА}} \geq U_{\text{ном.м}}, \quad (8.15)$$

де $U_{\text{ном.ЕА}}$ – номінальна напруга ЕА;

$U_{\text{ном.м}}$ – номінальна напруга мережі, в якій знаходиться ЕА.

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі

$$I_{\text{ном.ЕА}} \geq I_{\text{ф}}, \quad (8.16)$$

де $I_{\text{ном.ЕА}}$ – номінальний струм ЕА;

$I_{\text{ф}}$ – струм форсованого режиму (максимальний робочий струм).

3) відповідності навколишньому середовищу (нормальне, пожежонебезпечне, вибухонебезпечне та ін.), виду установки (зовнішня, внутрішня), її конструктивному виконанню (стаціонарна, висувна) та ін.;

4) параметрів основної функціональної характеристики: для комутаційних ЕА це струм вимикання (вмикання) при КЗ (комутаційна здатність), для ЕА захисту – номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи вставка розчеплювача автомата, для ТС – це опір навантаження вторинного ланцюга.

5) струм електродинамічної стійкості

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (8.17)$$

де $i_{\text{дин}}$ – струм електродинамічної стійкості ЕА;

$i_{\text{уд}}$ – розрахунковий ударний струм.

б) перевірка на термічну стійкість при КЗ

$$I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} \geq I_{\text{К}}^2 t, \quad (8.18)$$

де $I_{\text{К}}$ і t – розрахункові параметри струму КЗ і розрахункової тривалості вимикання КЗ.

8.2.1 Вибір високовольтного вимикача

За результатами розрахунків для комірок № 5 та № 6 РП за таблицею Р.1 додатка Р [1] вибираються високовольтні вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10-12,5/630-У2 (виробник – «Таврида Електрик Україна», м. Дніпро). Розрахункові та каталожні дані вимикачів наводяться в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2.

Розрахункові та каталожні дані високовольтного вимикача

Умови вибору та перевірки	Каталожні дані вимикача ВВ/TEL-10-12,5/630-У2	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.В}} \geq U_{\text{ном.М}}$	$U_{\text{ном.В}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.М}} = 10 \text{ кВ}$
За номінальним струмом $I_{\text{ном.В}} \geq I_{\text{ф}}$	$I_{\text{ном.В}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{ф}} = 131,7 \text{ А}$
Вид установки, відповідність навколишньому середовищу	У2	Для роботи в районах з помірним кліматом в приміщеннях з вільним доступом зовнішнього повітря

Умови вибору та перевірки	Каталожні дані вимикача ВВ/TEL-10-12,5/630-У2	Розрахункові дані
За здатністю вимикання $I_{\text{ном.вимк}} \geq I_{\text{п0}}$	$I_{\text{ном.вимк}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{п0.К2}} = 5 \text{ кА}$
За динамічною стійкістю $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд.К2}}$	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.К2}} = 11,7 \text{ кА}$
За термічною стійкістю $B_{\text{тер.доп}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{тер.норм}}^2 t_{\text{вимк}} = 12,5^2 \cdot 0,59 = 92,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}} = 5^2 \cdot 0,65 = 16,3 \text{ кА}^2\text{с}$

Умовні позначення:

В – вимикач;

В – вакуумний;

TEL – найменування серії;

10 – номінальна напруга, кВ;

12,5 – номінальний струм вимикання, кА;

630 – номінальний струм, А;

У – для роботи в районах з помірним кліматом;

2 – для роботи в приміщеннях з вільним доступом зовнішнього повітря.

8.2.2 Вибір трансформатора струму

ТС встановлюються у відсіку кабельного вводу комірки КРП (у фазах А та С). Згідно [3] вибираються ТС ТОЛ-СЭЩ-10-11-0,5S/10P-10/15-150/5-У2 (виробник – ВАТ ГК «Электрощит», м. Харків, Україна).

Умовне позначення:

Т – трансформатор;

О – опорний;

Л – з литою ізоляцією;

10 – номінальна напруга, кВ;

11 – конструктивне виконання;

0,5S/10P – номінальний клас точності (для вимірювань/для захисту);

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

де $P_{2A\Sigma}$ – сумарне вторинне активне навантаження фази А, Вт;

$Q_{2A\Sigma}$ – сумарне вторинне реактивне навантаження фази А, вар.

За формулою (7.19)

$$S_{2A\Sigma} = \sqrt{2^2 + 4^2} = 4,47 \text{ ВА.}$$

Визначається загальний опір вимірювальних приладів, які живляться від ТС фази А, як

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{2A\Sigma}}{I_{2\text{ном}}^2}, \text{ Ом,} \quad (8.20)$$

де $I_{2\text{ном}}$ – номінальний вторинний струм ТС, А.

За формулою (7.20)

$$Z_{\text{прил}} = \frac{4,47}{5^2} = 0,179 \text{ Ом.}$$

Визначається номінальний опір навантаження вторинного ланцюга ТС

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2}, \text{ Ом,} \quad (8.21)$$

де $S_{2\text{ном}}$ – номінальне вторинне навантаження обмотки вимірювань ТС, ВА.

За формулою (8.21)

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Визначається максимально допустимий опір з'єднувальних проводів

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{2ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}}, \quad (8.22)$$

де $R_{\text{к}}$ – опір контактів, приймається $R_{\text{к}} = 0,05 \text{ Ом}$.

За формулою (8.22)

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 - 0,179 - 0,05 = 0,171 \text{ Ом}.$$

Визначається переріз жили з'єднувальних проводів

$$S_{\text{пр}} = \frac{\rho l_{\text{р}}}{Z_{\text{пр}}} = \frac{\rho \sqrt{3} l}{Z_{\text{пр}}}, \text{мм}^2 \quad (8.23)$$

де ρ – питомий опір провідника (для міді $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$);

$l_{\text{р}}$ – розрахункова довжина (при схемі з'єднання ТС «неповний трикутник»

$l_{\text{р}} = \sqrt{3} l$), м;

l – довжина з'єднувальних проводів, приймається $l = 4 \text{ м}$.

За формулою (8.23)

$$S_{\text{пр}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 4}{0,171} = 0,71 \text{ мм}^2.$$

Вибирається стандартний провід з перерізом жили $S_{\text{пр.ст}} = 1,5 \text{ мм}^2$.

Визначається вторинне навантаження ТС

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$Z_{2\text{розр}} = \frac{\rho\sqrt{3}l}{S_{\text{пр.ст}}} + Z_{\text{прил}} + R_{\text{к}}, \quad (8.24)$$

$$Z_{2\text{розр}} = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 4}{1,5} + 0,179 + 0,05 = 0,31 \text{ Ом.}$$

Виконується перевірка ТС за вторинним навантаженням (опором навантаження вторинного кола)

$$Z_{2\text{ном}} \geq Z_2, \quad (8.25)$$

$$0,4 \text{ Ом} > 0,31 \text{ Ом.}$$

Умова виконується, отже ТС працює в заданому класі точності.

Результати вибору та перевірки трансформаторів струму за іншими умовами наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 8.4.

Каталожні та розрахункові дані трансформатора струму

Умови вибору	Каталожні дані трансформатора струму ТОЛ-СЭЩ-10-11-0,5S/10P-10/15-150/5-Y2	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.ТС}} \geq U_{\text{ном.м}},$	$U_{\text{ном.ТС}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$
За номінальним струмом $I_{\text{ном.ТС}} \geq I_{\text{ф}},$	$I_{\text{ном.ТС}} = 150 \text{ А}$	$I_{\text{ф}} = 131,7 \text{ А}$

Умови вибору	Каталожні дані трансформатора струму ТОЛ-СЭЩ-10-11-0,5S/10P-10/15-150/5-Y2	Розрахункові дані
Вид установки, відповідність навколишньому середовищу	Y2	Для роботи в районах з помірним кліматом в приміщеннях з вільним доступом зовнішнього повітря
За вторинним навантаженням $Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$	$Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$	$Z_2 = 0,31 \text{ Ом}$
За динамічною стійкістю $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд.К2}}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.К2}} = 11,7 \text{ кА}$
За термічною стійкістю $B_{\text{тер.доп}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{тер.норм}}^2 t_{\text{тер.норм}} = 16^2 \cdot 1 = 256 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}} = 5^2 \cdot 0,65 = 16,3 \text{ кА}^2\text{с}$

8.2.3 Вибір трансформатора струму нульової послідовності

В якості ТСНП вибирається ТЗЛМ-I (виробник – ВАТ «Хмельницький завод трансформаторів струму», м. Хмельницький, Україна) [7]. ТСНП ТЗЛМ-I призначені для живлення схем РЗ від замикань на землю окремих жил трифазного кабелю шляхом трансформації струмів нульової послідовності. ТЗЛМ-I встановлюється на кабель діаметром до 70 мм.

8.2.4 Вибір електричних апаратів шафи високовольтного вводу

Так як цехова ТП № 2 живиться за подвійною магістральною схемою, то КТП має ШВВ типу ШВВ-5. У шафі типу ШВВ-5 вибирають високовольтний вимикач навантаження та високовольтний запобіжник.

8.2.4.1 Вибір високовольтного вимикача навантаження

Високовольтний вимикач навантаження застосовується самостійно як комутаційний апарат для вмикання і вимкнення струму навантаження робочого режиму. У цьому випадку його вибирають за пунктами 1) – 3) і перевіряють на стійкість при наскрізних струмах КЗ за пунктами 5) та 6), а вибір комутаційної здатності за пунктом 4) полягає у виконанні умов

$$I_{\text{ном.вимк}} \geq I_{\text{вимк.розр}}, \quad (8.26)$$

$$I_{\text{ном.вимк}} \geq I_{\text{вимк.розр}}, \quad (8.27)$$

де $I_{\text{ном.вимк}}$ і $I_{\text{ном.вимк}}$ – номінальні струми вимкнення і вмикання відповідно;

$I_{\text{вимк.розр}}$ і $I_{\text{вимк.розр}}$ – розрахункові струми вимкнення і вмикання відповідно.

Вибираються вимикачі навантаження типу ВНР, якими комплектується шафа високовольтного вводу ШВВ-5 КТП – двотрансформаторної ТП № 2 з трансформаторами номінальної потужності 1000 кВА кожний.

За результатом розрахунку по формулі (7.2) номінальний струм трансформатора становить $I_{\text{ном.т}} = 36,4$ А. Для трансформаторної ПС $K_{\text{рез}} = 1,4$, тому форсований струм

$$I_{\phi} = K_{\text{рез}} I_{\text{ном.т}} \text{ А,} \quad (8.28)$$

$$I_{\phi} = 1,4 \cdot 57,7 = 80,8 \text{ А.}$$

Для ТП № 2 вибираються вимикачі навантаження.

Каталожні дані цих високовольтних вимикачів навантаження (таблиця Р.7 додатку Р [1]) та їх розрахункові дані наведені в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5.

Розрахункові та каталожні дані вимикачів навантаження

Умови вибору	Каталожні дані вимикача ВНРП-10/400-10 з п УЗ	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.в.н}} \geq U_{\text{ном.м}},$	$U_{\text{ном.в.н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$
За номінальним струмом $I_{\text{ном.в.н}} \geq I_{\phi},$	$I_{\text{ном.в.н}} = 400 \text{ А}$	$I_{\phi} = 80,8 \text{ А}$
Вид установки, відповідність навколишньому середовищу	УЗ	Для роботи в районах з помірним кліматом в закритих приміщеннях з природною вентиляцією
За вторинним навантаженням $I_{\text{ном.вимк}} \geq I_{\text{вимк.розр}}$ $I_{\text{ном.вимк}} \geq I_{\text{вимк.розр}}$	$I_{\text{ном.вимк}} = 400 \text{ А},$ $I_{\text{ном.вимк}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{вимк.розр}} = 80,8 \text{ А},$ $I_{\text{вимк.розр}} = 5 \text{ кА}$
За динамічною стійкістю $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд.К2}}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.К2}} = 11,7 \text{ кА}$
За термічною стійкістю $B_{\text{тер.доп}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{тер.норм}}^2 t_{\text{тер.норм}} = 16^2 \cdot 1 =$ $= 256 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}} = 5^2 \cdot 0,65 =$ $= 16,3 \text{ кА}^2\text{с}$

Розшифрування умовного позначення вимикача навантаження типу ВНР, які виготовляються групою компаній «Електросервіс» [8], таке:

В – вимикач;

Н – навантаження;

Р – вид приводу – ручний;

п – зі вбудованими запобіжниками;

10 – номінальна напруга, кВ;

400 – номінальний струм, А;

10 – номінальна періодична складова наскрізного струму, кА;

з – з заземлюючими ножами;

п – заземлюючі ножі розташовані за запобіжниками;

У – для роботи в районах з помірним кліматом;

З – для роботи в закрити приміщеннях з природною вентиляцією.

8.2.4.2 Вибір високовольтного запобіжника

Високовольтний запобіжник має струмообмежувальну дію, тому на стійкість до наскрізних струмів КЗ за пунктами 5) та 6) перевіряти його не потрібно, але згідно з пунктом 4) перевіряється умова (8.26) і (8.27).

Номінальний струм плавкої вставки $I_{\text{НОМ.ВСТ}}$ при захисті трансформаторів вибирають не тільки у рахуванням форсованого режиму за умовою (8.28), але й перехідних процесів вмикання трансформатора

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1,5 - 2) I_{\text{НОМ.Т}}. \quad (8.29)$$

Номінальний струм патрона

$$I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}. \quad (8.30)$$

Комплект високовольтного вимикача навантаження із запобіжником поєднує функції вимикача при комутації навантаження в нормальному режимі та вимикання запобіжником струму КЗ.

За формулою (8.30)

$$I_{\text{НОМ.ВСТ}} > 2 \cdot 57,7 = 115,4 \text{ А.}$$

Для ТП № 2 вибираються високовольтні запобіжники.

Каталожні дані цих високовольтних запобіжників (таблиця Р.10 додатка Р [1]) та їх розрахункові дані наведені в таблиці 7.6.

Таблиця 8.6.

Розрахункові та каталожні дані високовольтного запобіжника

Умови вибору	Каталожні дані запобіжника ПКТ-104-10-160-20УЗ	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{НОМ.зап}} \geq U_{\text{НОМ.М}}$	$U_{\text{НОМ.В.Н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ.М}} = 10 \text{ кВ}$
За номінальним струмом $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 160 \text{ А}$	$I_{\phi} = 80,8 \text{ А}$
Вид установки, відповідність навколишньому середовищу	УЗ	Для роботи в районах з помірним кліматом в закритих приміщеннях з природною вентиляцією
Неспрацьовування при перехідних процесах $I_{\text{НОМ.ВСТ}} \geq (1,5 - 2) I_{\text{НОМ.Т}}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 160 \text{ А}$	$2 \cdot 57,7 = 115,4 \text{ А}$
За динамічною стійкістю $I_{\text{НОМ.П}} \geq I_{\text{НОМ.ВСТ}}$	$I_{\text{НОМ.П}} = 160 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.ВСТ}} = 160 \text{ А}$
За термічною стійкістю $I_{\text{НОМ.ВИМК}} \geq I_{\text{П0}}$	$I_{\text{НОМ.ВИМК}} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{\text{П0.К2}} = 5 \text{ кА}$

Розшифрування умовного позначення запобіжника типу ПКТ таке:

П – предохранитель (запобіжник);

К – з кварцовим наповнювачем;

Т – для захисту силових трансформаторів, повітряних і КЛ;

104 – позначення конструктивного виконання;

10 – номінальна напруга, кВ;

160 – номінальний струм, А;

20 – номінальний струм вимкнення, кА;

У – для роботи в районах з помірним кліматом;

З – для роботи в закрити приміщеннях з природною вентиляцією.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 9
РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
ДЛЯ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА

9.1 Розрахунок потужності СЕС та вибір кількості панелей

Задано розрахункове навантаження підприємства:

$$S = 9258,4 \text{ кВА}$$

Приймаємо коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = 0,9.$$

Активна потужність:

$$P = S \cdot \cos\varphi$$

$$P = 9258,4 \cdot 0,9 = 8332,6 \text{ кВт.}$$

Приймаємо покриття 20%:

$$P_{\text{сес}} = 8332,6 \cdot 0,2 = 1666,5 \text{ кВт} \approx 1,67 \text{ МВт.}$$

Потужність панелі: 550 Вт.

Кількість панелей:

$$N = 1666500 / 550 \approx 3030 \text{ шт.}$$

9.2 Вибір інвертора СЕС

Потужність інверторів:

$$P_{\text{інв}} \approx 1,5\text{--}1,7 \text{ МВт.}$$

Варіанти:

$$- 15 \times 110 \text{ кВт}$$

$$- \text{або } 3 \times 500 \text{ кВт}$$

Вимоги:

- трифазні
- 380 В
- ККД $\geq 98\%$
- МРРТ

9.3 Вибір провідників СЕС

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot U)$$

$$I = 1666500 / (1,73 \cdot 400) \approx 2405 \text{ A.}$$

Приймається:

- кабелі 240–400 мм²
- матеріал: мідь/алюміній
- стрінги: 4–6 мм²

9.4 Вибір системи накопичення енергії

$$E_{\text{доб}} = 8332,6 \times 10 = 83326 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$E_{\text{нак}} = 83326 \times 0,1 = 8332 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$E_{\text{бат}} = 8332 / 0,8 \approx 10415 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тип батареї : LiFePO₄

ВИСНОВОК

Потужність СЕС – 1,67 МВт

Панелі – 3030 шт

Інвертори – 1,5–1,7 МВт

Струм – 2400 А

Акумулятори – 10,4 МВт·год

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 10
РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

10.1 Вибір АВР та інтеграція СЕП з СЕС

На проектованій ПС, на секційному вимикачі встановлюється пристрій АВР. Пристрій АВР широко застосовується для забезпечення безперебійного електропостачання. Проектована ПС обладнана двома силовими трансформаторами. У нормальному режимі секційний вимикач вимкнено і кожний трансформатор приєднано до відповідної секції шин. При аварійному вимкненні одного із трансформаторів, електропостачання споживачів зберігається завдяки автоматичному ввімкненню секційного вимикача пристроєм АВР. Живлення споживачів при цьому переводиться на один трансформатор.

Пуск у дію АВР здійснює реле мінімальної напруги, яке контролює напругу на окремих секціях шин, чи спільна дія цього реле і реле зниження частоти, що забезпечує дію АВР у межах 0,2 – 1 с після припинення живлення. Час дії АВР зменшується у напрямку від споживачів до джерела живлення і узгоджується з часом дії захисту лінії.

10.2 Захист силових трансформаторів ГПП

Згідно ПУЕ на двохтрансформаторній ПС для захисту трансформаторів встановлюються наступні види релейного захисту: газовий захист, диференційний захист, максимальний струмовий захист, захист від перевантажень.

Основним захистом трансформатора є диференційний захист - захист від ушкоджень на виводах і від внутрішніх ушкоджень трансформатора (застосовується продольний диференційний струмовий захист, що діє без витримки часу на відключення ушкодженого трансформатора);

- захист від струмів зовнішніх багатофазних КЗ (застосовуються струмовий захист шин секцій РП НН і МСЗ на стороні ВН, призначені для відключення зовнішніх багатофазних КЗ);

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						73
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- захист від однофазних КЗ на стороні НН (застосовується МСЗ у трьохрелейному виконанні, що реагує на струм однофазного КЗ);

- захист від струмів перевантаження (застосовується МСЗ від струмів перевантаження з дією на сигнал з витримкою часу).

Але при цьому величина струму, що проходить крізь місце установки струмового захисту при пошкодженні всередині баку трансформатора, наприклад при виткових замиканнях, залежить від числа замкнених витків, тому значення струму може бути не достатнім. Саме тому слід застосовувати ще один вид захисту:

- газовий захист, що застосовується для захисту від ушкоджень усередині кожуха і від зниження рівня масла. Він реагує на утворення газів, що супроводжують ушкодження усередині кожуха трансформатора

Газовий захист (ГЗ) ґрунтується на використанні явища газоутворення у баку пошкодженого трансформатора. Утворення газу є слідством розкладення олії та інших ізоляційних матеріалів під дією електричної дуги при виткових замиканнях або недопустимого нагріву при «пожежі сталі».

Інтенсивність газоутворення залежить від характеру та розмірів пошкодження. Це дає можливість виконувати газовий захист, здатний розрізняти ступінь пошкодження і в залежності від цього діяти на сигнал або на вимкнення.

Переваги газового захисту:

- висока чутливість і реагування майже на всі види пошкоджень усередині баку;
- порівняно невеликий час спрацювання;
- простота виконання, а також здатність захищати трансформатор при недопустимому зниженні рівня олії за будь – яких наслідків.

Наряду з цим захист має ряд суттєвих недоліків:

- не реагування на пошкодження, розташовані поза баком, у зоні між трансформатором та вимикачами;
- помилкове спрацювання при потраплянні повітря у бак трансформатора, що може бути, наприклад під час доливки олії, після ремонту системи охолодження.

У зв'язку з цим газовий захист не може бути використаний у якості основного захисту трансформатора від зовнішніх пошкоджень.

На трансформаторах поряд із захистами, діючими при пошкодженні у трансформаторі та його з'єднаннях, передбачається резервний захист для дії при

зовнішніх коротких замиканнях у разі відмови захистів чи вимикачів суміжних елементів. Одночасно він є основним захистом шин, на які працює трансформатор, якщо на шинах відсутній власний захист. У якості захисту від зовнішніх коротких замикань застосовують максимальний струмовий захист (МСЗ) з витримкою часу з вимкненням реле на повні струми фаз та на їх симетричні складові. Цей захист реагує і на внутрішні короткі замикання, тому може використовуватись як резервний або, навіть, як основний захист трансформаторів.

Перевантаження трансформатора в основному є симетричним, тому захист від перевантажень (ПЗ) виконується одним реле струму, ввімкненим у коло одного з трансформаторів струму захисту від зовнішніх коротких замикань. Для відбудови від короткочасних перевантажень і коротких замикань передбачається реле часу, розраховане на тривале проходження струму у його обмотках. Витримка часу приймається на ступінь селективності більше, ніж час спрацьовування захисту трансформатора від зовнішніх коротких замикань. Захист від перевантажень не дозволяє у повній мірі використовувати перевантажувальну здатність трансформатора. Найбільш об'єктивним критерієм перевантаження є не струм, а температура ізоляції обмотки трансформатора.

Реле захисту контролює температуру ізоляції з обліком температури навколишнього середовища (олії) і навантаження трансформатора до з'явлення перевантаження.

10.3 Захист збірних шин

Для захисту збірних шин на проектованій підстанції використовується максимальний струмовий захист встановлений на секційному вимикачі. Максимальний струмовий захист виконується двома реле прямої дії типу РТВ. Струм спрацьовування МСЗ відбудовується від максимального струму навантаження у найбільш важкому режимі роботи трансформатора (допустиме систематичне перевантаження).

При захисту шин, в яких при зовнішніх КЗ напруга не нижче допустимих (0,9 – 0,95 від номінальної напруги), МСЗ виконується з блокуванням мінімальної напруги. В цьому випадку після спрацьовування реле мінімальної напруги при напрузі нижче допустимого подається імпульс на ввімкнення МСЗ.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
						75
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Застосування блокування мінімальної напруги дає можливість виключити дію МСЗ при короткочасних зниженнях напруги.

10.4 Захист відгалужувальних ліній 10 Кв

Кабельні лінії електропостачання прокладені у землі піддаються різним видам пошкоджень: через погіршення умов охолодження; корозію оболонок кабелю; осаду ґрунту при земляних роботах. Вказані причини пошкоджень викликають міжфазні КЗ або замикання окремих фаз на землю. Для швидкого вимкнення пошкоджені лінії, її потрібно обладнувати пристроями релейного захисту.

Однофазні замикання на землю у мережах з ізольованою нейтраллю безпосередньої небезпеки для споживачів не представляють, проте підвищення при цьому фазної напруги непошкоджених фаз до величини лінійної може викликати перекриття, або пробій ізоляції, що призведе до двох чи трьох фазним КЗ. Тому від однофазних замикань на землю РЗ виконують як правило з дією на сигнал. Сигналізація замикань на землю може бути неселективною і селективною.

Неселективна сигналізація сповіщає обслуговуючий персонал про виникнення замикання на землю без вказівки приєднання, на якому виникло порушення ізоляції. Неселективна сигналізація чи пристрій контролю ізоляції основана на вимірюванні сумарної фазної напруги і виконується за допомогою вимірювального ТН, обмотки якого з'єднані за схемою зірка – зірка – розімкнутий трикутник. Напруга на виводах розімкнутого трикутника дорівнює геометричній сумі вторинної напруги трьох фаз відносно землі. У нормальному режимі вольтметр показує фазну напругу, а напруга на обмотці реле KV дорівнює 0.

При замиканні однієї з фаз на землю на обмотці реле з'являється напруга. Реле спрацьовує і запускає у дію сигналізацію. Вольтметр пошкодженої фази покаже 0.

Селективна сигналізація однофазних замикань на землю основана на вимірюванні сумарних ємностей (зарядних струмів) і виконується на КЛ відхідних від шин ПС за допомогою трансформаторів струму нульової послідовності. Цей трансформатор має кільцеподібну або прямокутну форму і вдягається на захисний трьохжильний кабель. На обмотку трансформатора вмикається захисне реле. При замиканні на землю однієї фази через реле буде протікати струм, зумовлений ємністю непошкоджених фаз, він задіє

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 005 ПЗ	Аркуш
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		76

сигналізацію і спеціальне вказівне реле покаже на якому приєднанні виникло пошкодження.

Для ліній приєднаних до шин ГПП може бути передбачено максимальний струмовий захист.

10.5 Вибір пристроїв автоматики АПВ, АЧР

Пристрій АПВ встановлюється на початку живильних ліній проектованої ПС, призначенням якого є повторне включення живлення, що ефективно після відключення КЗ, що відбулося в результаті стикання проводів.

До пристроїв АПВ пред'являють наступні вимоги:

- АПВ не спрацьовує при вимкненні вимикача персоналом;
- при АПВ передбачено блокування від багаторазових ввімкнень вимикача на існуюче КЗ;
- АПВ не спрацьовує при дії захисту, реагуючого на пошкодження, яке не супроводжується самоліквідацією;
- після спрацьовування АПВ усі елементи, забезпечуючи його, автоматично повертаються у вихідне положення;
- при АПВ передбачена можливість його вимкнення персоналом за допомогою спеціального пристрою.

На проектованій ПС встановлюється пристрій АЧР, призначений для відключення частини ЕС при виникненні в живильній енергосистемі дефіциту активної потужності, що супроводжується зниженням частоти, з метою збереження джерел, що генерують.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра було розробити систему електропостачання аграрного підприємства з інтеграцією відновлюваних джерел енергії. За результатами проведених розрахунків та проектних рішень можна сформулювати такі висновки:

1. Розрахунок навантажень. Визначено розрахункові силові та освітлювальні навантаження будівель, цехів та компресорної станції підприємства. Це дозволило встановити сумарну встановлену та розрахункову потужність об'єкта, що стала основою для подальшого вибору обладнання.

2. Оптимізація мережі. Шляхом розрахунку центру електричних навантажень (ЦЕН) було знайдено найбільш енергоефективне місце розташування головної понижувальної підстанції (ГПП). Це мінімізує втрати напруги та потужності в мережах підприємства.

3. Вибір трансформаторів. На основі розрахованої потужності обрано кількість та параметри трансформаторів для ГПП та цехових підстанцій. Вибір забезпечує необхідну категорійність надійності електропостачання та можливість роботи в аварійних режимах.

4. Компенсація реактивної потужності. Розраховано та вибрано конденсаторні установки на напругу 0,4 кВ та 10,5 кВ. Це дозволило підвищити коефіцієнт потужності, знизити навантаження на трансформатори та зменшити витрати на оплату реактивної електроенергії.

5. Схема та струми КЗ. Розроблено комплексну схему електропостачання підприємства. Проведено розрахунок струмів трифазного короткого замикання для максимального режиму роботи мережі,

що дало змогу перевірити електричні апарати на термічну та динамічну стійкість.

6. Вибір обладнання 10 кВ. Для ліній до цеху № 2 обрано перерізи кабелів за умовою економічної щільності струму та перевірено за допустимим нагрівом. Також здійснено вибір високовольтних вимикачів, трансформаторів струму та запобіжників.

7. Впровадження СЕС. Розраховано параметри сонячної електростанції для потреб підприємства. Визначено необхідну кількість фотоелектричних панелей, підібрано інвертор та розраховано систему накопичення енергії (акумуляторні батареї), що дозволяє згладжувати піки споживання та забезпечувати автономність.

8. Релейний захист та автоматика. Запропоновано рішення щодо інтеграції СЕС у загальну систему за допомогою пристроїв АВР. Налаштовано релейний захист трансформаторів ГПП, збірних шин та ліній 10 кВ, а також передбачено автоматику АПВ та АЧР для підвищення живучості системи.

Запропонована система електропостачання є технічно досконалою, економічно обґрунтованою та відповідає сучасним тенденціям розвитку «зеленої» енергетики в аграрному секторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
2. Про електроенергетику : Закон України від 16.10.1997 № 575/97-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 1.
3. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 24.
4. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 27–28.
5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ : Мінпаливенерго України, 2017. 608 с.
6. Електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБН В.2.5-23:2010. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 102 с.
7. Фотоелектричні модулі. Вимоги безпеки : ДСТУ EN 61730-1:2017 (EN 61730-1:2007, IDT). Київ : УкрНДНЦ, 2018.
8. Бурлака В. В. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Київ : Вища школа, 2015. 312 с.
9. Кудря С. О. Відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 392 с.
10. Денисюк С. П., Коцар О. В. Енергетичні системи з відновлюваними джерелами енергії : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 280 с.
11. Говорухін В. О. Електропостачання сільського господарства : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2012. 256 с.

12. Masters G. Renewable and Efficient Electric Power Systems. Hoboken : Wiley, 2013. 700 p.
13. Авраменко В. М., Мартинюк О. В. Дослідження режимів роботи електричних мереж з розподіленою генерацією. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 3. С. 47–51.
14. Кравченко В. О., Лисенко О. І. Оптимізація структури систем електропостачання з використанням сонячних електростанцій. *Електротехніка і електромеханіка*. 2020. № 4. С. 25–30.
15. Петренко О. В. Аналіз ефективності використання сонячних батарей у сільському господарстві. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 7. С. 45–50.
16. Іваненко І. І. Використання сонячної енергії в аграрному секторі України. *Матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* Київ, 2021. С. 112–115.
17. Енергетична стратегія України до 2035 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua> (дата звернення: 14.04.2026).
18. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : офіційний сайт. URL: <https://sace.gov.ua> (дата звернення: 14.04.2026).
19. НКРЕКП : офіційний сайт. URL: <https://www.nerc.gov.ua> (дата звернення: 14.04.2026).