

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ»**

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Федькович Ю. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Сиротюк С. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Чабан В. Й.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ ____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Федькович Юрій Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Система електропостачання заводу залізобетонних конструкцій»

керівник роботи к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 641/к-с від 27.11.23 р.

2. Строк подання студентом роботи 14.06.24 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 Характеристика об'єкта та обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

2 Проектування системи внутрішнього електропостачання

3 Релейний захист трансформаторів

4 Охорона праці та навколишнього середовища

5 Техніко-економічні розрахунки

Висновки

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	<i>Левонюк В. Р., к.т.н., доцент</i>			
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 27.11.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Виконання аналізу вихідних даних та характеристики об'єкта електропостачання</i>	<i>27.11.2023 – 31.01.2024</i>	
2	<i>Розробка схеми відкритих розподільчих пристроїв підстанції та вибір основного обладнання</i>	<i>1.02.2024 – 17.03.2024</i>	
3	<i>Розробка релейного захисту трансформаторів</i>	<i>20.03.2024 – 21.04.2024</i>	
4	<i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i>	<i>24.05.2024 – 5.05.2024</i>	
5	<i>Вивчення питання охорони навколишнього середовища та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	<i>8.05.2024 – 19.05.2024</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>22.05.2024 – 2.06.2024</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>5.06.2024 – 14.06.2024</i>	

Студент

Федькович Ю. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Сиротюк С. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.06.24:2

Федькович Ю. П. «Система електропостачання заводу залізобетонних конструкцій». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 44 с текстової частини, 15 таблиць, 8 рисунків, 24 джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі представлено вирішення ключових концептуальних завдань для реалізації системи електропостачання заводу залізобетонних конструкцій. У роботі здійснено опис системи електропостачання заводу, проведено визначення розрахункових електричних навантажень об'єктів електропостачання та побудовано картограму електричних навантажень. Вибрано трансформатори головної понижувальної підстанції та розроблено схему відкритих розподільчих пристроїв підстанції. Проведено вибір цехових трансформаторів, кабелів їх живлення та високовольтних батарей конденсаторів. Укладено еквівалентну схему заміщення та обчислено її параметри та струми короткого змикання. Здійснено вибір комутаційних та розподільчих пристроїв системи електропостачання заводу. Також розроблено систему релейного захисту трансформаторів ГПП та обчислено усі необхідні уставки захисту. Враховуючи тематику та концепцію кваліфікаційної роботи, було розкрито питання охорони праці та захисту навколишнього середовища. Здійснено техніко-економічні обґрунтування розробки системи електропостачання заводу залізобетонних конструкцій.

Ключові слова: розробка, електричні навантаження, завод, кабельна лінія, трансформатор, релейний захист.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	7
1.1 Опис системи електропостачання заводу.....	7
1.2 Визначення розрахункових навантажень.....	9
1.3 Картограма електричних навантажень.....	13
1.4 Вибір трансформаторів ГПП.....	16
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	19
2.1 Обчислення та вибір цехових трансформаторів.....	19
2.2 Вибір високовольтних конденсаторних батарей.....	20
2.3 Вибір кабельних ліній електропередач 10 кВ.....	18
2.4 Розрахунок струмів КЗ.....	22
2.5 Вибір основного обладнання.....	24
3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	27
3.1 Вибір трансформаторів стуму та напруги для підключення РЗ.....	28
3.2 Захист від багатозазних КЗ та надструмів.....	28
3.3 Захист від технологічних перевантажень та зниження напруги.....	30
3.4 Захист від пошкоджень усередині бака та зниження рівня оливи..	34
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	32
4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення аварійних ситуацій....	32
4.2 Посадова інструкція диспетчера електричних мереж.....	33
4.3 Розрахунок режиму повітрообміну у диспетчерській.....	35
4.4 Охорона довкілля.....	37
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	39
ВИСНОВКИ.....	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	43

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві стабільне та надійне електропостачання є однією з ключових складових успішної діяльності підприємства. Зокрема, для заводів з виробництва залізобетонних конструкцій, де велика частина виробничого обладнання працює на електричній енергії, недостатнє або неякісне електропостачання може призвести до значних збитків для підприємства та зниження продуктивності [1].

Мета даної кваліфікаційної роботи полягає в розробці ефективної системи електропостачання для заводу залізобетонних конструкцій.

Це передбачає виконання таких **завдань**:

- детальний аналіз потреб електроенергії заводу
- визначення розрахункових навантажень та центрів електричних навантажень;
- вибір трансформаторів головної понижувальної підстанції та цехових трансформаторів;
- вибір основного електротехнічного устаткування;
- розробка релейного захисту трансформаторів головної понижувальної підстанції;
- техніко-економічне обґрунтування.

У роботі буде розглянуто основні принципи планування, проектування та впровадження систем електропостачання, а також методи оптимізації електроенергетичних процесів на підприємстві. Для досягнення поставленої мети буде проведено аналіз існуючого електропостачання заводу, розроблено технічні рішення щодо модернізації або побудови нових електроенергетичних об'єктів, а також розраховано економічну ефективність запропонованих заходів.

Виконання кваліфікаційної роботи у цій області має велике практичне значення, оскільки вона допоможе підвищити стабільність електропостачання заводу, знизити витрати на електроенергію та підвищити загальну продуктивність виробничого процесу.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1 Опис системи електропостачання заводу

Система електропостачання заводу залізобетонних конструкцій призначена для отримання електричної енергії від енергетичної системи та розподілу її між споживачами. Основною електричною установкою, яка служить для перетворення та розподілу електричної енергії, є електрична підстанція.

Система електропостачання заводу залізобетонних конструкцій включає головну понижувальну підстанцію (ГПП), трансформаторні підстанції (ТП), розподільні пункти напругою до 1000 В, а також кабельні лінії до і вище 1000 В, які зв'язують між собою електроустановки.

ГПП включає в себе відкриті розподільчі пристрої вищої напруги (ВРП-35 кВ), силові трансформатори, закриті розподільчі пристрої нижчої напруги (ЗРП-10 кВ), установку компенсації реактивної потужності 10 кВ (КРМ-10 кВ) та дистанційний пункт керування. ВРП-35 кВ виконано за схемою 4Н—два блоки з вимикачами та неавтоматичною перемичкою зі сторони лінії. Розподіл електричної енергії від ЗРП-10 кВ здійснюється кабельними лініями 10 кВ.

Трансформаторні підстанції виконуються двотрансформаторними, які складаються з двох секцій РП-10 кВ з вимикачами навантаження 10 кВ, двох силових трансформаторів 10/0,4 кВ та двох секцій РП-0,4 кВ з автоматичними вимикачами на вводах та лініях, які відходять.

На підприємстві застосовують комплектні трансформаторні підстанції, які розміщені у цехах в окремих приміщеннях. Підстанції встановлюють поблизу центрів навантажень.

Загалом підприємство включає як електроприймачі I категорії так і II категорії. У схемі електропостачання їх важко виокремити, тому підприємство вважається споживачем I категорії.

Для забезпечення I категорії електропостачання у секційній комірці ЗРП-10 кВ ГПП встановлюється АВР [2].

Схеми електропостачання підприємства визначаються потужністю споживачів, їх розташуванням біля підприємства, необхідної надійністю електропостачання, і навіть розташуванням і напругою джерел живлення.

До схеми зовнішнього електропостачання входить лінія, яка живить ГПП підприємства від районної трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ. У схему внутрішнього електропостачання входять ГПП та розподільча мережа високої напруги підприємства разом із розподільчими пунктами та цеховими низькими підстанціями. Внутрішнє електропостачання заводу залізобетонних конструкцій здійснюється на напрузі 10 кВ. Схеми розподільчих мереж заводу залізобетонних конструкцій радіальні та магістральні.

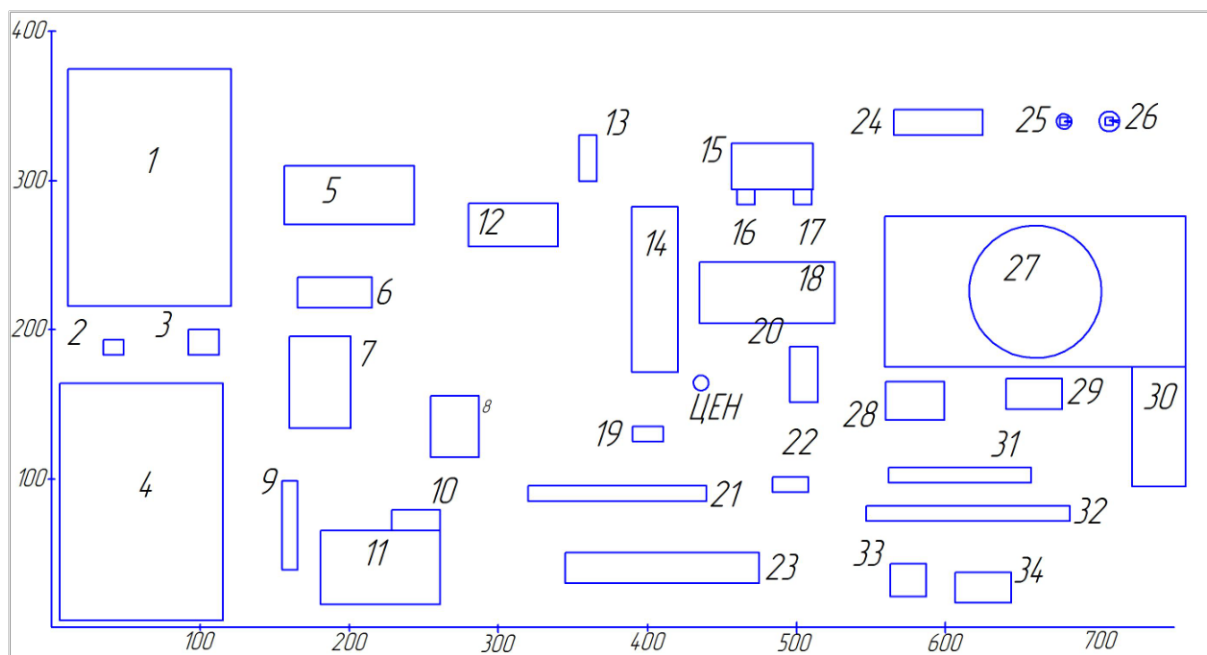


Рисунок 1.1 – Схема розташування об'єктів електропостачання заводу залізобетонних конструкцій

На рисунку 1.1 представлено схему розташування основних об'єктів електропостачання заводу залізобетонних виробів. На цій схемі: 1 – головний корпус ЗБВ; 2 – компресорна; 3 – бетонозмішувальний вузол; 4 – склад готової продукції; 5 – механічний цех; 6 – склад ПММ; 7 – цех полігонів ЗБВ; 8 – склад готової продукції цеху ЗБВ; 9 – цех просторових арматурних каркасів; 10 – склад арматурної сталі; 11 – арматурний цех; 12 – котельня; 13 – склад

піску; 14 – відділення добавок; 15 – цех дерев'яної опалубки; 16 – склад емульсіону; 17 – склад керамзиту; 18 – вапнозгасне відділення; 19 – цех полігонів ЗБВ; 20 – компресорна; 20 – компресорна 10 кВ; 21 – Гараж; 22 – склад цементу; 23 – цех ЗБВ; 24 – склад заповнювачів; 25 – склад кисню; 26 – склад ацетилену; 27 – головний корпус ББК; 28 – бетонозмішувальний вузол; 29 – склад готової продукції ББК; 30 – арматурний цех головного корпусу ББК; 31 – цех стінових панелей; 32 – побутовий корпус ББК; 33 – їдальня; 34 – заводоуправління; 35 – освітлення території.

1.2 Визначення розрахункових навантажень

Одним із перших етапів проектування системи електропостачання є обчислення електричних навантажень. За отриманими значеннями навантажень будемо вибирати та перевіряти обладнання системи електропостачання, та визначати втрати потужності та електроенергії. Розрахункові навантаження силових приймачів визначаються за такими виразами [3]:

$$P_p = K_C \cdot P_{НОМ}, \quad Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (1.1)$$

де $P_{НОМ}$ – сумарна встановлена потужність приймачів цеху; K_C – коефіцієнт попиту; $tg\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності, який характерний для споживачів цеху, відповідає $\cos\varphi$ цієї групи електричних приймачів.

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху обчислюється за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту для освітлення:

$$P_{PO} = K_{CO} \cdot P_{НОМ.O}, \quad (1.2)$$

де $P_{НОМ.O}$ – встановлена номінальна потужність споживачів освітлення; K_{CO} – коефіцієнт попиту для освітлення.

Значення $P_{НОМ.O}$ визначається за такою формулою:

$$P_{НОМ.O} = P_{ПИТ} \cdot F, \quad (1.3)$$

де F – площа цеху; $P_{ПИТ}$ – питоме навантаження на одиницю площі підлоги цеху.

Далі, для освітлювальних установок визначимо розрахункове реактивне навантаження, яке обчислюється за формулою:

$$Q_{PO} = P_{PO} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.4)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності джерел світла, який приймається за довідниковими даними.

Повна розрахункова потужність силових та освітлювальних приймачів цеху обчислюється за формулою:

$$S_P = \sqrt{(P_P + P_{PO})^2 + (Q_P + Q_{PO})^2}, \quad (1.5)$$

Обчислення навантаження для усіх об'єктів представлено у таблиці 1.1.

Оскільки трансформатори ГПП та цехових підстанцій не вибрано, то втрати потужності у них можемо обчислити приблизно, за співвідношенням:

$$\Delta P_{Ц.ТР} = 0,02 \cdot S_P, \quad \Delta Q_{Ц.ТР} = 0,1 \cdot S_P; \quad (1.6)$$

$$\Delta P_{Ц.ТР} = 0,02 \cdot 9296,23 = 185,93 \text{ кВт}, \quad \Delta Q_{Ц.ТР} = 0,1 \cdot 9296,23 = 929,6 \text{ кВАр}.$$

Попередньо необхідна потужність пристроїв компенсації по підприємству в цілому обчислюється за виразом

$$Q_{KV} = Q_{P\Sigma 0,4} + \Delta Q_{P10} + \Delta Q_{ЦТ} - Q_E, \quad Q_{KV} = 6738,82 + 929,62 - 2302,5 = 5365,1 \text{ кВАр}, \quad (1.7)$$

де $Q_{P\Sigma 0,4}$, ΔQ_{P10} – сумарна реактивна потужність навантаження, на шинах 0,4 та 10 кВ, відповідно; $\Delta Q_{ЦТ}$ – втрати реактивної потужності у цехових трансформаторах; Q_E – економічно доцільна реактивна потужність, яка передається енергетичною системою підприємству у період максимальних навантажень, визначається за формулою [4]:

$$Q_E = k \cdot P_P, \quad Q_E = 0,29 \cdot 7939,6 = 2302,5 \text{ кВАр}. \quad (1.8)$$

Некомпенсована потужність заводу на шинах 10 кВ ГПП з врахуванням коефіцієнта різночасності, становитиме:

$$Q_{10кВ} = (Q_{P\Sigma 0,4} + Q_{P10}) \cdot K_{PM} + Q_{PO} + \Delta Q_{ЦТ} - Q_{KV}, \quad (1.9)$$

$$Q_{10кВ} = 5787,1 \cdot 0,95 + 579,7 + 929,6 - 5365,1 = 1356,9 \text{ кВАр},$$

де K_{PM} – коефіцієнт різночасності максимумів силового навантаження.

Таблиця 1.1 – Обчислення електричних навантажень об'єктів заводу

Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження						Сумарна потужність			
	$P_{НОМ}$, кВт	K_C	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_P , кВт	Q_P , кВАр	F , м ²	$P_{ПИТ}$, кВт/м ²	$P_{НОМ.О}$, кВт	K_{CO}	$tg \varphi$	P_{PO} , кВт	Q_{PO} , кВАр	$P_P + P_{PO}$, кВт	$Q_P + Q_{PO}$, кВАр	S_P , кВА
споживачі 0,4 кВ																
1. Головний корпус ЗБВ	960	0,4	0,7	1,02	384	391,7	17600	0,02	264	0,9	0,5	237,7	118,9	621,7	511,5	804,4
2. Компресорна	330	0,5	0,7	1,02	165	168,3	30	0,02	0,48	0,95	0,5	0,46	0,23	165,5	168,6	236,2
3. Бетонозмішувальний вузол	460	0,5	0,6	1,33	230	306	80	0,02	1,28	0,75	0,5	0,96	0,48	231	306,4	383,7
4. Склад готової продукції	145	0,7	0,8	0,75	101,5	76,13	16800	0,01	201,7	0,8	0,5	161,3	80,7	262,8	156,8	306
5. Механічний цех	550	0,7	0,65	1,17	385	450,5	3500	0,02	52,6	0,95	0,5	49,9	24,9	434,8	475,4	644,3
6. Склад ПММ	35	0,7	0,8	0,75	24,5	18,4	500	0,01	6	0,8	0,5	4,8	2,4	29,4	20,8	36
7. Цех полігонів ЗБВ	45	0,8	0,85	0,62	36	22,4	2400	0,02	36	0,85	0,5	30,6	15,3	66,6	37	76,5
8. Склад готової продукції цеху ЗБВ	45	0,7	0,8	0,75	31,5	23,7	1200	0,01	14,4	0,8	0,5	11,6	5,8	43,1	29,4	52,2
9. Цех просторових арматурних каркасів	230	0,7	0,75	0,88	161	141,7	600	0,02	9	0,9	0,5	8,1	4,05	169,1	145,8	223
10. Склад арматурної сталі	30	0,7	0,8	0,75	21	15,8	375	0,01	4,5	0,8	0,5	3,6	1,8	24,6	17,6	31
11. Арматурний цех	345	0,6	0,8	0,75	207	155,3	4000	0,02	60	0,9	0,5	54	27	261	182,3	318,4
12. Котельня	1750	0,5	0,7	1,02	875	893	1800	0,02	28,8	0,95	0,5	27,4	13,7	902,4	906,1	1278
13. Склад піску	90	0,7	0,8	0,75	63	47,3	330	0,01	3,96	0,8	0,5	3,2	1,6	66,2	48,9	82,3
14. Відділ добавок	95	0,6	0,75	0,89	57	50,2	3325	0,02	49,9	0,85	0,5	42,4	21,2	99,4	71,4	122,4
15. Цех дерев'яної опалубки	295	0,6	0,75	0,89	177	155,7	1600	0,02	24	0,85	0,5	20,4	10,2	197,5	165,9	257
16. Склад емульсій	100	0,7	0,8	0,75	70	52,5	300	0,01	3,6	0,8	0,5	2,9	1,45	72,9	53,9	90,7
17. Склад керамзиту	100	0,7	0,85	0,62	70	43,4	300	0,01	3,6	0,8	0,5	2,9	1,45	72,9	44,9	85,8
18. Вапногасильний відділ	203	0,5	0,8	0,75	101,5	76,2	3600	0,02	54	0,8	0,5	43,2	21,6	144,7	97,8	174,7
19. Цех полігонів ЗБВ	40	0,8	0,8	0,75	32	24	200	0,02	3	0,85	0,5	2,6	1,29	34,6	25,3	42,9
20. Компресорна	310	0,5	0,7	1,02	155	158	450	0,02	7,2	0,95	0,5	6,85	3,5	161,9	161,6	228,7
21. Гараж	15	0,75	0,75	0,9	11,3	9,9	1200	0,02	18	0,8	0,5	14,4	7,2	25,7	17,2	30,9
22. Склад цементу	150	0,7	0,8	0,75	105	78,8	160	0,01	1,92	0,8	0,5	1,6	0,78	106,6	79,6	132,9
23. Цех ЗБВ	330	0,5	0,75	0,88	165	145	2600	0,02	41,6	0,85	0,5	35,4	17,7	200,4	162,9	258,3
24. Склад заповнювачів	105	0,7	0,8	0,75	73,5	55,2	720	0,01	8,7	0,8	0,5	6,9	3,5	80,5	58,6	99,5
25. Склад кисню	15	0,8	0,75	0,88	12	10,6	40	0,01	0,48	0,8	0,5	0,4	0,2	12,4	10,8	16,4

26. Склад ацетилену	20	0,80	0,75	0,88	16	14,1	40	0,01	0,48	0,8	0,5	0,4	0,2	16,4	14,3	21,8
27. Головний корпус ББК	1950	0,4	0,7	1,02	780	795	19000	0,02	285	0,9	0,50	242	121,4	1022,3	916,8	1373
28. Бетонозмішувальний вузол	720	0,4	0,7	1,1	288	293	1000	0,02	16,00	0,9	0,5	15,2	7,6	303,2	301,4	427
29. Склад готової продукції ББК	95	0,7	0,8	0,76	66	49,9	750	0,01	9	0,8	0,5	7,2	3,6	73,7	53,48	91,06
30. Арматурний цех головного корпусу ББК	960	0,6	0,8	0,7	576	432	2800	0,02	42	0,8	0,5	33,6	16,8	609,6	448,8	756,9
31. Цех стінових панелей	245	0,8	0,8	0,75	196	147	960	0,02	14,4	0,9	0,5	12	6,5	208,9	153,5	259,3
32. Побутовий корпус	60	0,6	0,8	0,75	36	27	1350	0,01	16,2	0,85	0,5	13,8	6,9	49,9	33,9	60,2
33. Столова	130	0,8	0,8	0,75	104	78	900	0,02	13,5	0,9	0,5	12	6,1	116,2	84,9	143,4
34. Адміністарація	135	0,8	0,8	0,75	108	81	750	0,02	11,25	0,9	0,5	10,2	5,06	118,2	86,1	146,2
35. Освітлення території										1	0,5	38,8	19,4	38,8	19,4	43,4
Загалом по 0,4 кВ	11088				5884	5487	193740	0,00	38,75					7043,7	6066	9296
Споживачі 10 кВ																
20 Компресорна кВ	1280	0,70	0,80	0,75	896	672								896	672	1120
Загалом по 10 кВ	1280				896	672								896	672	1120
Всього	12368				6780	6159					1159		579	7939	6738	10416

Загальна активна потужність з врахуванням втрат у пристроях компенсації на шинах підстанції становить:

$$P_{10} = (P_{P0.4} + P_{P10}) \cdot K_{PM} + P_{PO} + \Delta P_{ЦТ} + \Delta P_{KV}, \quad (1.10)$$

$$P_{10} = 5884,25 \cdot 0,95 + 1159,4 + 185,9 + 10,73 = 6946,1 \text{ кВт},$$

де P_{PO} – сумарна активна потужність освітлювального навантаження.

Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності буде становити:

$$S'_P = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2}, \quad S'_P = \sqrt{6946,13^2 + 1356,9^2} = 7077,4 \text{ кВА}. \quad (1.11)$$

Припускаємо, що на заводі буде розташовано ГПП. Втрати потужності у трансформаторах ГПП орієнтовно визначатимуться за такими формулами:

$$\Delta P'_{TP} = 0,02 \cdot S'_P, \quad \Delta Q'_{TP} = 0,1 \cdot S'_P; \quad (1.12)$$

$$\Delta P'_{TP} = 0,02 \cdot 7077,4 = 141,5 \text{ кВт}, \quad \Delta Q'_{TP} = 0,1 \cdot 7077,4 = 707,7 \text{ кВАр}.$$

Повна розрахункова потужність підприємства на стороні вищої напруги ГПП становить [5]:

$$S_P = \sqrt{(P_{10} + \Delta P'_{TP})^2 + (Q_{10} + \Delta Q'_{TP})^2}; \quad (1.13)$$

$$S_P = \sqrt{(6946,1 + 141,5)^2 + (1356,9 + 707,7)^2} = 7382,3 \text{ кВА}.$$

1.3 Картограма електричних навантажень

Для визначення центру електричних навантажень скористаємося методом, який використовує положення теоретичної механіки та проводить аналогію між електричними навантаженнями та масами.

Тоді координати центру електричних навантажень визначаємо за формулами

$$x_0 = \frac{\sum_1^n (P_{P_i} + P_{PO_i}) \cdot x_i}{\sum_1^n (P_{P_i} + P_{PO_i})}, \quad y_0 = \frac{\sum_1^n (P_{P_i} + P_{PO_i}) \cdot y_i}{\sum_1^n (P_{P_i} + P_{PO_i})}; \quad (1.14)$$

$$x_0 = \frac{3283893}{7939,69} = 413,6 \text{ м},$$

$$y_0 = \frac{1538419}{7939,69} = 193,8 \text{ м}.$$

де x_i, y_i – координати центру електричного навантаження i -го споживача.

Для скорочення протяжності розподільних мереж заводу напругою 10 кВ та цехових мереж напругою 0,4 кВ, зменшення витрати провідникового матеріалу та зниження втрат електричної енергії, головну знижувальну та цехові підстанції слід розташовувати якомога ближче до центру електричних навантажень.

Для визначення місцезнаходження ГПП на генеральний план заводу наноситься картограма навантажень, яка є розміщеними за генпланом кола, при цьому площа кола в певному масштабі дорівнює розрахунковому навантаженню. Радіус круга обчислюється за формулою [6]:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (1.15)$$

де m – масштаб для обчислення проці круга; P_{Pi} – розрахункове активне навантаження i -го споживача.

Також на круг наноситься освітлювальне навантаження як сектор, кут якого визначається із співвідношень активних розрахункових та освітлювальних навантажень цехів.

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{PO_i}}{P_{Pi} + P_{PO_i}}, \quad (1.16)$$

Результати обчислень центрів електричних навантажень представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати обчислень центрів електричних навантажень

№ цеху	r , мм	α , град	x , м	y , м	$(P_P + P_{PO}) \cdot x$	$(P_P + P_{PO}) \cdot y$
Споживачі ел. енергії 0,4 кВ						
1	35	137	65	295	40404	183372
2	18	0,99	45	190	7445	31436
3	21	1,49	108	196	24943	45268
4	22	220	60	90	15766	23650
5	29	41	200	290	86975	126113
6	7,6	58	190	225	5567	6592
7	11	165	180	165	11988	10989
8	9,2	96,4	270	135	11615	5807
9	18	17	160	68	27056	11498
10	6,9	52	250	65	6150	1599

11	22	74	220	40	57420	10440
12	42	10	310	270	279731	243637
13	11	17	360	315	23820	20842
14	14	153	405	235	40254	23357
15	19	37	480	310	94752	61194
16	12	14	460	295	33524	21499
17	12	14	510	295	37168	21499
18	16	107	480	225	69456	32557
19	8	26	400	130	13820	4491
20	17	15	505	170	81729	27512
21	7	202	380	90	9747	2308
22	14	5,1	498	96	53054	10227
23	19	63	410	40	82147	8014
24	12	30	595	340	47845	27340
25	4,9	11	680	340	8421	4210
26	5,7	8,4	710	340	11632	5570
27	45	85	660	225	674685	230006
28	24	18	580	160	175856	48512
29	12	35	660	165	48642	12160
30	34	19	740	145	451104	88392
31	20	22	610	110	127465	22985
32	9,9	99	615	85	30608	4230
33	15	37	575	40	66786	4646
34	15	30	625	35	73828	4134
Споживачі ел. енергії 10 кВ						
20	42		505	170	452480	152320
Всього					3283894	1538418

На рисунку 1.2 зображено картограму навантаження залізобетонного заводу.

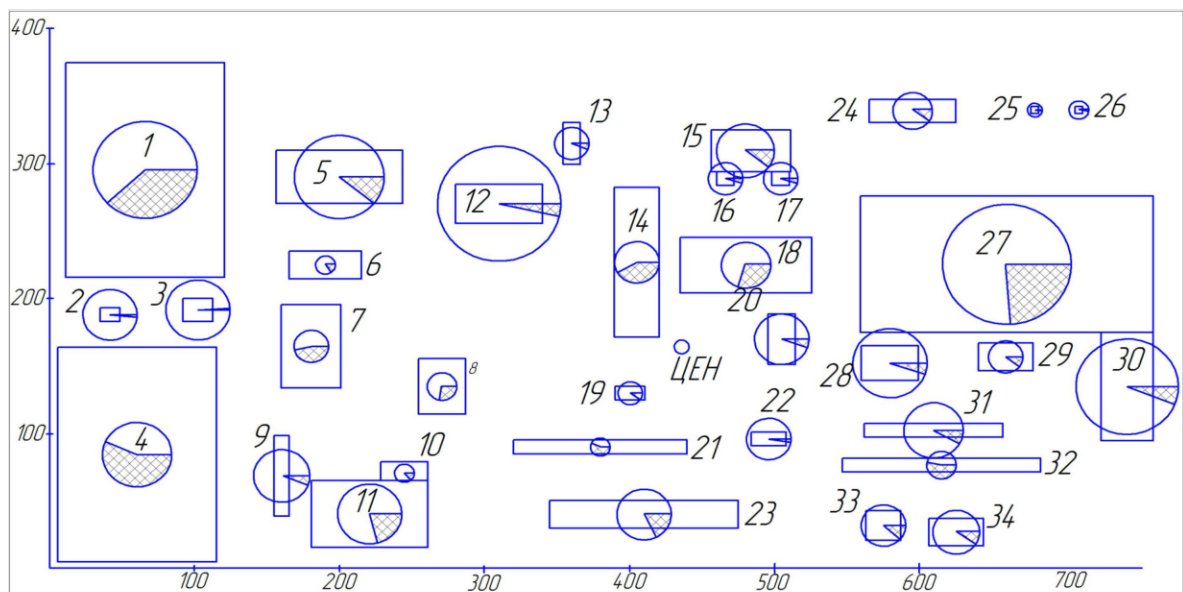


Рисунок 1.2 – Картограма навантаження залізобетонного заводу

1.4 Вибір трансформаторів ГПП

Для вибору раціонального класу напруги зовнішнього електропостачання заводу скористаємося формулою Стілла, за якою обчислимо орієнтовне значення напруги [7]:

$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot (P_p + P_{PO})}, \quad U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{12 + 16 \cdot (6,94)} = 46,67 \text{ кВ.} \quad (1.16)$$

Із переліку стандартних значень напруг, найближчим є значення 35 кВ. Оскільки підприємство знаходиться на значній відстані від джерела живлення, то лінії живлення виконуватимуться повітряними.

На рисунку 1.3 представлено характерний добовий графік електричних навантажень заводу залізобетонних конструкцій.

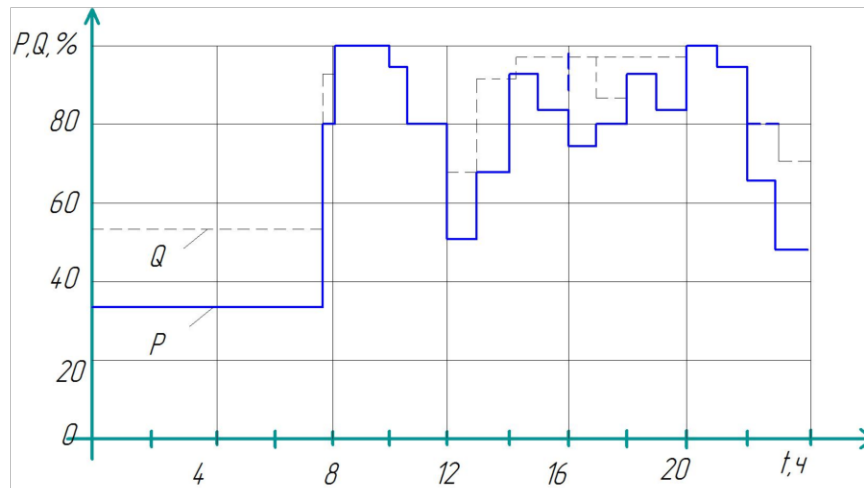


Рисунок 1.3 – Характерний добовий графік електричних навантажень заводу залізобетонних конструкцій

У системах електропостачання промислових підприємств, потужність силових трансформаторів має бути такою, щоб забезпечити споживачів у нормальних умовах. Необхідної надійності електропостачання підприємства досягають шляхом встановлення на підстанції двох трансформаторів. За умови виходу з ладу одного трансформатора, інший буде покривати всю необхідну потужність споживачів з урахуванням перевантажувальної здатності трансформатора.

Для правильного вибору номінальної потужності трансформатора потрібно мати добовий графік навантаження, з якого має бути відомим макси-

мальне та середньодобове активне навантаження підстанції, а також тривалість максимуму навантаження.

Найекономічнішою за щорічними витратами і втратами буде робота трансформатора у години максимуму – робота з перевантаженням. У реальних умовах значення допустимого навантаження вибирають відповідно до графіка навантаження та коефіцієнта початкового навантаження і в залежності від температури навколишнього середовища.

Обчислимо номінальну потужність трансформаторів за формулою:

$$S_T = \frac{S_{P.BH}}{K_3 \cdot n_T}, \quad S_T = \frac{7382,3}{0,7 \cdot 2} = 5273,07 \text{ кВА}, \quad (1.17)$$

де n_T – кількість трансформаторів; K_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Визначимо завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$K_{3.HP} = \frac{S_{P.BH}}{S_{T.HOM} \cdot n_T} \leq 0,7, \quad K_{3.HP} = \frac{7382,3}{6300 \cdot 2} = 0,58 \leq 0,7. \quad (1.18)$$

Визначимо завантаження трансформаторів в аварійному режимі:

$$K_{3.AP} = \frac{S_{P.BH}}{S_{T.HOM}} \leq 1,4, \quad K_{3.AP} = \frac{7382,3}{6300} = 1,17 < 1,4. \quad (1.19)$$

Приймаємо для встановлення два трансформатори з номінальною потужністю ТМН-6300-35 кВА.

Визначимо номінальний струм трансформатора на стороні нижчої напруги в нормальному та аварійному режимах роботи [8]:

$$I_{НОМ.Т} = \frac{S_{НОМ.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}^{HH}}, \quad I_{НОМ.Т} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 346,41 \text{ А}. \quad (1.20)$$

$$I_{НОМ.Т.АВ} = \frac{S_{НОМ.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}^{HH}}, \quad I_{НОМ.Т.АВ} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 481,9 \text{ А}. \quad (1.21)$$

Система зовнішнього електропостачання включає в себе схему електропостачання та джерела живлення підприємства. Основними вимогами до проекту раціональної системи зовнішнього електропостачання є надійність, економічність та якість електричної енергії в мережі. При проектуванні схеми електропостачання підприємства поряд з надійністю та економічністю не-

обхідно враховувати також характер розміщення навантажень на території підприємства, споживану потужність, наявність власного джерела живлення.

На рисунку 1.4 представлено розроблену схему електропостачання заводу від шин 35 кВ.

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 1.4 – Розроблена схема електропостачання ВН ГПП

До незалежних джерел живлення відносять дві секції або системи шин однієї або двох підстанцій якщо кожна секція чи система шин має живлення від незалежного джерела живлення, або секції шин не пов'язані між автоматично відмикальними при порушенні нормальної роботи однієї секції шин.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Обчислення та вибір цехових трансформаторів

Орієнтовний вибір кількості та потужності цехових трансформаторів здійснюють за питомою густиною навантаження [9]:

$$\sigma_H = \frac{S_p}{F}, \quad (2.1)$$

де F – площа цеху; S_p – розрахункове навантаження цеху.

Мінімальна чисельність цехових трансформаторів однакої потужності призначених для живлення технологічно зв'язаних навантажень обчислюється за виразом:

$$N_{\min} = \frac{P_p}{K_3 \cdot S_{НОМ}} + \Delta N, \quad (2.2)$$

де ΔN – добавка до найближчого цілого числа; m – додаткові трансформатори; K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Економічно оптимальна кількість трансформаторів визначається затратами на передавання реактивної потужності:

$$N_{опт} = N_{\min} + m, \quad (2.3)$$

При питомій густині понад 0,2 – 0,3 кВА/м² та сумарному навантаженні понад 3000 – 4000 кВА доцільно застосувати цехові трансформатори потужністю 1600 – 2500 кВА. При питомій густині та сумарному навантаженні нижче зазначених значень найбільш економічними будуть трансформатори 250 – 1000 кВА.

Результати обчислень та вибору цехових трансформаторів представлені у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Обчислення кількості трансформаторів у цехах

№ТП	№ цеху	Роз-ння	σ_H , кВА/м ²	ΔN	N_{\min} , шт	m	$N_{опт}$, шт
ТП1, ТП2	1, 3, 5, 6	Цех №1	0,08	0,11	3,8	0	4

ТП3	2, 4, 7, 9	Цех №2	0,04	0,03	1,9	0	2
ТП4	8, 10, 11, 19, 21, 23	Цех №23	0,07	0,26	1,7	0	2
ТП5, ТП6	12, 14, 18	Цех №12	0,18	0,17	3,8	0	4
ТП7	13, 15, 16, 17, 24, 25, 26	Цех №15	0,19	0,25	1,7	0	2
ТП8	20, 22, 31, 32, 33, 34	Цех №20	0,21	0,38	1,6	0	2
ТП9, ТП10	27, 28, 29, 30	Цех №28	0,11	0,23	3,7	0	4

Таблиця 2.2 – Вибір цехових трансформаторів

№ТП	F , м ²	P_p , кВт	Q_p , кВА	S_p , кВА	$S_{НОМ.Т}$, кВА	N , шт	Тип т-ра
ТП1, ТП2	21680	1322	1313	1870	400	4	ТЗС-400/10
ТП3	19830	669	513	843	400	2	ТЗС-400/10
ТП4	9575	585	440	732	400	2	ТЗС-400/10
ТП5, ТП6	8725	1146	1081	1575	400	4	ТЗС-400/10
ТП7	3330	523	394	655	400	2	ТЗС-400/10
ТП8	4570	761	602	970	630	2	ТЗС-630/10
ТП9, ТП10	21680	1322	1313	1870	400	4	ТЗС-630/10

2.2 Вибір високовольтних конденсаторних батарей

Якщо представити підприємство як вузол мережі 10 кВ до якого підключене реактивне навантаження та джерела реактивної потужності, то баланс реактивної потужності буде мати вигляд [10]:

$$Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{Т ГПП} - Q_{BK} - Q_{НК.ФАКТ} - Q_{СДС} - Q_E = 0, \quad (2.4)$$

де $Q_{P\Sigma}$ – приведена до шин 10 кВ розрахункова реактивна потужність заводу; $\Delta Q_{Т ГПП}$ – втрати реактивної потужності у трансформаторах ГПП; Q_{BK} – сумарна реактивна потужність, яку видають високовольтні конденсаторні батареї; $Q_{НК.ФАКТ}$ – реактивна потужність генерована установками НБК; $Q_{СДС}$ – сумарна реактивна потужність, яка генерується синхронними двигунами; Q_E – економічно оптимальна реактивна потужність, яка видається енергосистемою.

Реактивна потужність синхронних двигунів, яку економічно доцільно використовувати обчислюється за формулою:

$$Q_{СД.Е} = \alpha_M \sqrt{P_{НОМ.СД}^2 + Q_{НОМ}^2}, \quad Q_{СД.Е} = 0,5 \sqrt{1000^2 + 435,9^2} = 545,4 \text{ кВАр}, \quad (2.5)$$

де α_M – коефіцієнт допустимого навантаження СД; $P_{НОМ.СД}$ – номінальна активна потужність встановлених СД; $Q_{НОМ}$ – номінальна реактивна потужність встановлених СД. У нашому випадку встановлені синхронні двигуни СДН 14-59.

Сумарна реактивна потужність згенерована усіма СД обчислюється за формулою [11]:

$$Q_{СД\Sigma} = n_D \cdot Q_{СД.Е}, \quad Q_{СД\Sigma} = 2 \cdot 545,4 = 1090,8 \text{ кВАр}, \quad (2.6)$$

де n_D – кількість встановлених СД.

Відтак, необхідна потужність ВКБ обчислюється за такою формулою:

$$Q_{ВК} = Q_{Р\Sigma} + \Delta Q_{Т ГПП} - Q_{НК.ФАКТ} - Q_{СД\Sigma} - Q_E, \quad (2.7)$$

$$Q_{ВК} = 1356,9 + 712,3 - 0 - 1090,8 - 2302,5 = -1133,1 < 0 \text{ кВАр}.$$

Оскільки розрахункова сумарна потужність ВКБ вийшла від'ємною, то встановлювати ВКБ непотрібно. Також не потрібно використовувати синхронні двигуни у якості синхронних генераторів.

2.3 Вибір кабельних ліній електропередач 10 кВ

Вибір кабельних ліній будемо здійснюватися на основі економічної густини струму. Для прикладу представимо вибір кабельної ЛЕП 10 кВ для ділянки: ГПП – ТП1. Для забезпечення безперебійного живлення використовуємо дві паралельно прокладені у траншеї кабельні лінії із відстанню між ними 300 мм.

Розрахунковий робочий струм у нормальному режимі обчислюється за наступною формулою:

$$I_P = \frac{\sqrt{(P_{P.H} + \Delta P_T)^2 + (Q_{P.H} + \Delta Q_T)^2}}{n_K \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad I_P = \frac{\sqrt{(1322,4 + 19,9)^2 + (313 + 108,1)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 40,6 \text{ А}, \quad (2.8)$$

де $P_{P.H}$ – розрахункова активна складова навантаження на шинах 0,4 кВ; ΔP_T – втрати активної потужності; n_K – кількість живильних кабельних ліній; $Q_{P.H}$ – розрахункова реактивна складова навантаження на шинах 0,4 кВ з урахуванням компенсації реактивної потужності.

$$Q_{P.H} = Q_P - Q_{HK.ФАКТ}, \quad Q_{P.H} = 1313,02 - 1000 = 313,02 \text{ А.} \quad (2.9)$$

Розрахункове значення перерізу жил становить [11]:

$$F_{РОЗР} = \frac{I_P}{j_{ЕК}}, \quad F_{РОЗР} = \frac{40,61}{1,6} = 22,9 \text{ мм}^2. \quad (2.10)$$

Найближчий стандартний переріз становить 35 мм². Використовується алюмінієвий кабель з ізоляцією зі зшитого поліетилену з величиною довго допустимого струму $I_{ДОП} = 126 \text{ А}$.

Аналогічно здійснюємо вибір кабелів для решти ділянок мережі. Результати вибору представлено у таблиці

Таблиця 2.3 – Вибір кабелів для внутрішнього електропостачання

Лінія	S_P , кВА	К-ть кабелів	I_P , А	$F_{СТ}$, мм ²	Марка	$I_{ДОП.СТ}$, А
ГПП – ТП1	1600	2	81,22	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП2	800	2	40,61	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП3	800	2	40,22	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП4	800	2	34,78	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП5	1600	2	80,47	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП6	800	2	40,23	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП7	800	2	34,77	35	АПвПЗх35	126
ГПП – РП1	2380	2	137,40	50	АПвПЗх50	156
ГПП – ТП8	1260	2	58,50	35	АПвПЗх35	126
ГПП – ТП9	2520	2	130,51	50	АПвПЗх50	156
ГПП – ТП10	1260	2	65,25	35	АПвПЗх35	126

2.4 Розрахунок струмів КЗ

Для правильного вибору апаратури та перевірки елементів електроустановок на термічну та електродинамічну стійкість, а також для вибору уставок спрацьовування захистів та перевірки їх на чутливість спрацьовування, потрібно здійснити обчислення струмів КЗ [12].

Для цього укладається розрахункова схема мережі, за якою укладають схему заміщення. У цій схемі всі магнітні зв'язки замінені на електричні, а всі елементи системи представлені у вигляді опорів. Після цього визначають параметри схеми заміщення, виконують її перетворення та знаходять струми КЗ.

За для уникнення перевантаження кваліфікаційної роботи розрахунками, ми не будемо їх наводити. Струми короткого замикання було обчислено у

програмному комплексі МАТКАД, а результати представлено у таблиці 2.4. Укладена схема заміщення показана на рисунку 2.1.

Рисунок видалено керівником кваліфікаційної роботи з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.1 – Укладена схема заміщення для обчислення струмів КЗ

Таблиця 2.4 – Результати обчислень струмів КЗ

Точка Кз	U_6 , кВ	$I_{КЗ}$, кА	$i_{уд}$, кА
К1	37	3,69	9,4
К2	10,5	6,1	15,5
К3	10,5	5,59	14,9
К4	10,5	6,09	15,5
К5	0,4	9,74	144,9

2.5 Вибір основного обладнання

Вибір високовольтних вимикачів. Для сторони 35 кВ ми вибрали вакуумний вимикач ВБЕТ-35/630 [6]. У таблиці 2.5 представлено результати перевірки вибору цього вимикача.

Таблиця 2.5 – Вибір вимикача ВБЕТ-35/630

Умови вибору	Розрахункові дані	Довідникові дані
$U_{УСТ} \leq U_{НОМ}$	35 кВ	35 кВ
$I_{КЗ} \leq I_{ВДМ}$	3697 А	25000 А
$i_{уд} \leq I_{\max.ДОП}$	9412 А	63000 А
$I_P \leq I_{НОМ}$	145,4 А	630 А
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	2,46 кА ² с	1875 кА ² с

Аналізуючи таблицю бачимо, що вибраний вимикач задовольняє усі поставлені умови.

Тепер представимо вибір вимикачів на стороні НН ГПП. На стороні НН ГПП вимикачі ідуть комплектом з комірками розподільчих пристроїв. Ми вибираємо комірки комплектних розподільчих пристроїв серії КРУ-СЕЩ-63 із вакуумними вимикачами. Результати перевірки за умовами вибору представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір вимикачів 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Довідникові дані
$U_{УСТ} \leq U_{НОМ}$	10 кВ	10 кВ
$I_{КЗ} \leq I_{ВДМ}$	3660 А	12500 А
$i_{уд} \leq I_{\max.ДОП}$	15543 А	52000 А
$I_P \leq I_{НОМ}$	509 А	1000 А
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	14,92 кА ² с	1200 кА ² с

Вибір ОПН. У якості захисту ізоляції електрообладнання від атмосферних та комутаційних перенапруг використовуються обмежувачі перенапруг.

У нашому випадку для захисту від короточасних внутрішніх та атмосферних перенапруг ізоляції повітряних ліній та трансформаторів, на сторонах вищої напруги та нижчої напруги встановлюємо обмежувачі перенапруг

типу: ОПН-П-35 – для захисту електроустановок у мережах класу напруги 35 кВ та ОПН-П-10 для захисту електроустановок у мережах класу напруги 10 кВ. Обидва обмежувачі встановлюються у КРП СЕЩ-63. Характеристики вибраних ОПН представлено у таблиці

Таблиця 2.7 – Характеристики вибраних ОПН [11]

Тип	$U_{НОМ}$, кВ	$U_{ДОП}$, кВ	Номінальний розрядний струм, кА
ОПН-П-35	35	40,5	10
ОПН-П-10	10	12,7	10

Вибір роз'єднувачів. Для забезпечення безпечної роботи персоналу, роз'єднувачі створюють видимий розрив електричного контура, без навантаження.

Для вищої напруги ГПП вибираємо РГП-35/1000, а для низької сторони роз'єднувачі вже вбудовані в КРУ-СЕЩ-63. Результати перевірки умов вибору роз'єднувачів відображено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Паспортні параметри вибраних роз'єднувачів [12]

Тип	$U_{НОМ}$, кВ	$U_{ДОП}$, кВ	$I_{НОМ}$, А	Стійкість при наскрізних струмах			
				Головні ножі		Заземлювальні ножі	
				Гранич. наскрізн. струм, кА	Струм терміч. стійкості	Гранич. наскрізн. струм, кА	Струм терміч. стійкості
РВ-10	10	400	43	16	–	16	–
РГП-35/1000	35	1000	100	40	100	40	100

Вибір трансформаторів струму та напруги. Вимірювальні трансформатори напруги призначені для зниження високої напруги до стандартного значення 100 або $100/\sqrt{3}$, а також для відділення контурів вимірювання та релейного захисту від контурів високої напруги [13].

Для встановлення приймаємо трансформатори напруги НАЛІ-35 (на стороні 35 кВ) та НАЛІ-10 (вбудовані в КРП на стороні 10 кВ).

Вибір трансформаторів напруги перевіряється за такими параметрами:

- 1) за напругою – $U_{НОМ} \geq U_{УСТ.НОМ}$; 35 кВ = 35 кВ, 10 кВ = 10 кВ;
- 2) врахування конструкції та схеми з'єднання обмоток;

3) врахування класу точності $S_{НОМ} \geq S_{2\Sigma}$ [10].

Трансформатори мають клас точності 0,5, для приєднання лічильників 225 ВА. У таблиці 2.9 наведено параметри вторинного навантаження трансформатора.

Таблиця 2.9 – Параметри вторинного навантаження трансформаторів напруги

Пристрій	Тип	$S_{обм}$, ВА	$n_{обм}$	P , Вт	Q , ВАр
Вольтметр	Е350	3	9	27	–
Ватметр	Д365	0,5	9	9	–
Варметр	Д335	1,5	2	3	–
Л-ник активної енергії	И680	2,5	7	13,3	32,3
Л-ник реактивної енергії	И673	2,5	7	13,3	32,3
Варметр	Д365	1,5	9	27	10
Загалом				89,6	64,75

Обчислимо повну потужність пристроїв [14]:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad S_2 = \sqrt{89,6^2 + 64,75^2} = 110,5 \text{ ВА.} \quad (2.20)$$

Бачимо, $S_2 = 110 < 225$ ВА, трансформатор буде працювати у вибраному класі точності.

Вибір трансформаторів власних потреб. У кваліфікаційній роботі підстанція виконана без застосування синхронних компенсаторів. Трансформатори ТМН-6300/35 не мають електродвигунів для обдуву, тому до споживачів власних потреб належать: обігрів приводів вимикачів та роз'єднувачів, шаф КРП, оперативні контури та освітлення підстанції. Потужність споживачів власних потреб невелика, тому вони приєднуються до мережі 380/220, яка отримує живлення від понижувальних трансформаторів.

Результати визначення навантаження ТВП представлено у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Визначення навантаження власних потреб

Споживач	Потужність, кВт	Кількість, шт	Сумарна потужність, кВт
Підігрів вимикачів 35 кВ	0,8	2	1,6
Підігрів КРП-10 кВ	4	10	40
Підігрів приводів роз'єднувачів	1	8	8
Освітлення ВРП 35 кВ	1	6	6
Опалення та освітлення ОПП	10	1	10
Освітлення та вентиляція ЗРП 10 кВ	10	1	10
Загалом			75,6

Враховуючи коефіцієнту попиту 0,7 приймаємо два трансформатори ТСЛ-40.

3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Багатофазні або міжфазні КЗ можуть викликати значні пошкодження обладнання, оскільки, проходячи через обладнання, струм КЗ нагріває струмопровідні частини вище за допустиму межу, що викликає пошкодження ізоляції.

Основними пошкодженнями зазвичай є [15]:

- однофазні КЗ на виводах трансформатора;
- багатофазні або міжфазні КЗ в обмотках трансформаторів та на виводах трансформатора;
- пожежа сталі сердечника трансформатора.

Міжвиткові замикання в обмотках та пожежа у сталі сердечника можуть бути причинами виходу з ладу трансформатора. Тому релейний захист має миттєво спрацювати на всі види ушкоджень.

Для захисту від таких видів пошкоджень на трансформаторі встановлюється струмове відсічення миттєвої дії та газовий захист.

Ненормальними режимами роботи для трансформатора є:

- режим неприпустимого рівня оливи в баку;
- технологічне перевантаження;
- зниження напруги при зовнішніх КЗ;
- зовнішні КЗ.

При зовнішніх КЗ виникає режим надструмів, який спричиняє перегрів чи пошкодження обмоток трансформатора при тривалому його впливі. Тому на трансформаторі для захисту від такого режиму встановлюється максимальний струмовий захист (МСЗ) від надструмів зовнішніх КЗ. Такий захист спрацює з деякою витримкою часу Δt , оскільки миттєве спрацювання не потрібне.

Збільшення струму понад номінальне значення, викликане перевантаженням, призводить до перегріву, а в результаті і до прискорення зносу ізоляції. Перевантаження, зазвичай, є симетричним режимом, а значить для захисту достатньо встановити реле лише на одну фазу, при цьому воно діятиме на сигнал, що попереджає персонал про необхідність вживати заходів щодо розвантаження.

3.1 Вибір трансформаторів струму та напруги для підключення РЗ

Обчислюємо номінальний струм на стороні ВН трансформатора:

$$I_H^B = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H^B}, \quad I_H^B = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 103,9 \text{ А}, \quad (3.1)$$

де S_H – потужність трансформатора; U_H^B – напруга ВН трансформатора.

Розрахунковий струм трансформатора обчислюється за формулою:

$$I_{TAI}^{розр} = I_H^B \cdot k_{cx}, \quad I_{TAI}^{розр} = 103,92 \cdot \sqrt{3} = 179,9 \text{ А}, \quad (3.2)$$

де k_{cx} – коефіцієнт схеми, оскільки схема з'єднання первинної обмотки є «трикутник», то $k_{cx} = \sqrt{3}$.

Вибираємо трансформатор струму ТВЛ-СЕЩ-35-200/5:
номінальний струм становить $I_{НОМ} = 200 \text{ А}$;
коефіцієнт трансформації $n_{TAI} = 200 / 5$.

Вибираємо трансформатори напруги $TV1$ на стороні ВН та $TV2$ на стороні НН [16]:

$$n_{TV1} = \frac{U_H^B}{100}, \quad n_{TV1} = \frac{35000}{100} = 350. \quad (3.3)$$

Вибираємо трансформатор $TV1$ типу НАЛІ-35.

$$n_{TV2} = \frac{U_H^H}{100}, \quad n_{TV2} = \frac{10000}{100} = 100. \quad (3.4)$$

Вибираємо трансформатор $TV2$ типу НАЛІ-10.

3.2 Захист від багатофазних КЗ та надструмів

Для захисту від багатофазних КЗ застосовуємо диференціальний струмовий захист. Комплект захисту: шафа ШЕ2607. Здійснимо обчислення уставок захисту. Струм спрацьовування захисту становить:

$$I_{cz} = 4 \cdot I_H^B, \quad I_{cz} = 4 \cdot 103,92 = 415,6 \text{ А}. \quad (3.5)$$

де I_H^B – номінальний струм високої сторони.

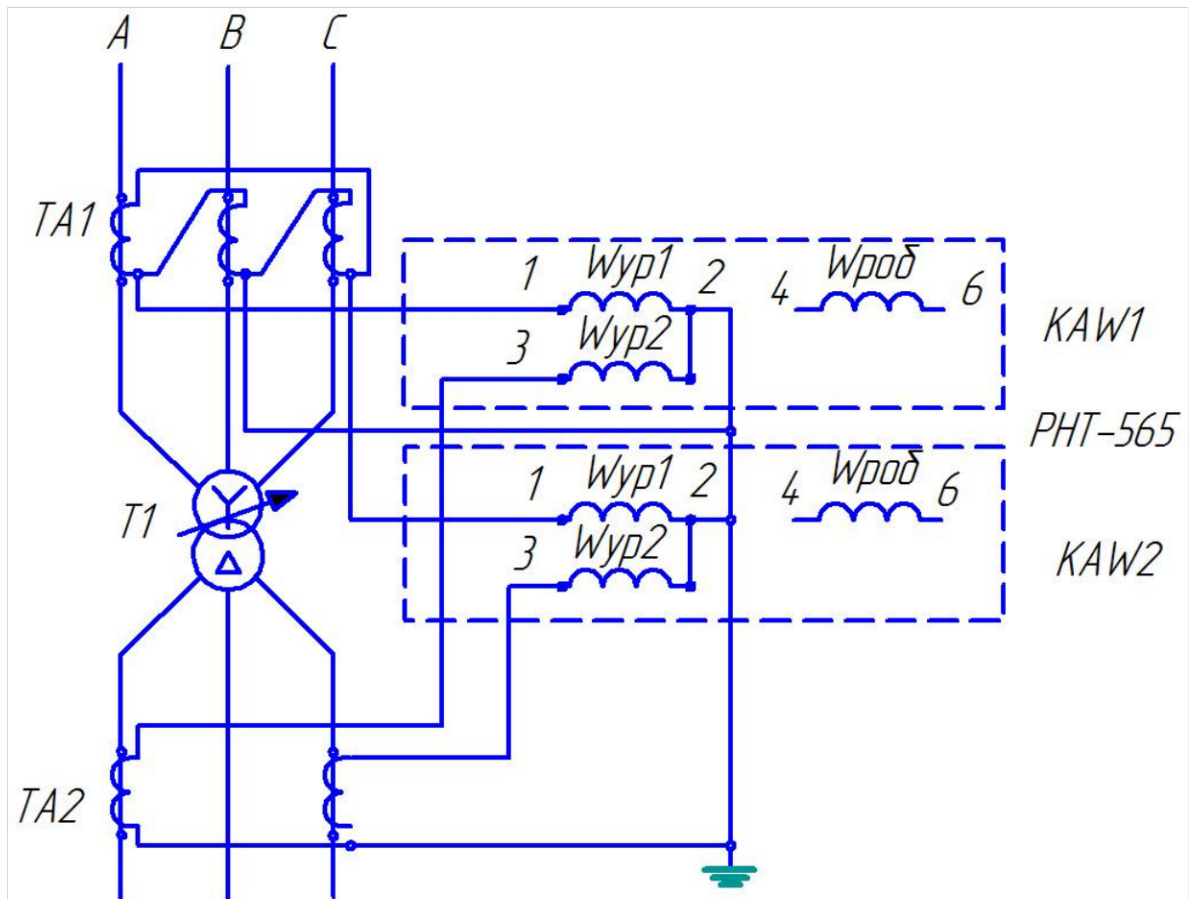


Рисунок 3.1 – Схема релейного захисту трансформаторів ГПП

Обчислюємо струм спрацьовування реле [17]:

$$I_{cp} = I_{c3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_{TA1}}, \quad I_{cp} = 415,6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{200} = 17,9 \text{ А}; \quad (3.6)$$

$$k_q = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\min}^{(2)}}{2I_{c3}}, \quad k_q = \frac{\sqrt{3} \cdot 3697 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2 \cdot 415,6} = 6,66 > 2, \quad (3.7)$$

що відповідає вимогам ПУЕ

Для захисту від надструмів зовнішніх КЗ застосовують МСЗ. Обчислюємо струм спрацьовування релейного захисту:

$$I_{c3} = \frac{k_H \cdot k_{c3}}{k_B} \cdot I_{POB.\max}, \quad I_{c3} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,85} \cdot 103,9 = 293,4 \text{ А}, \quad (3.8)$$

де k_{c3} – коефіцієнт самозапуску, який приймають від 1 до 3; k_H – коефіцієнт надійності, який становить 1,1 – 1,3; k_B – коефіцієнт повернення, приймають рівним 0,85.

Обчислюємо струм спрацьовування реле за формулою:

$$I_{cp} = I_{c3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_{TA1}}, \quad I_{cp} = 293,4 \cdot \frac{1}{\frac{200}{5}} = 7,32 \text{ А.} \quad (3.9)$$

Перевіряємо чутливість захисту за формулою:

$$k_u = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\min}^{(2)}}{2I_{c3}}, \quad k_u = \frac{\sqrt{3} \cdot 3697 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2 \cdot 293,4} = 9,45 > 1,5 \text{ А.} \quad (3.10)$$

Отримане значення відповідає вимогам ПУЕ. Обчислюємо час спрацьовування захисту [18]:

$$t_{c3} = t_{c3}^{cm.el} + \Delta t, \quad t_{c3} = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ А.} \quad (3.11)$$

3.3 Захист від технологічних перевантажень та зниження напруги

Для захисту від технологічних перевантажень трансформатора застосовують МСЗ від перевантажень. Цей захист, аналогічно попереднім реалізовується у шафі захисту ШЕ2607. Обчислюємо струм спрацьовування захисту від технологічних перевантажень за формулою:

$$I_{c3} = \frac{k_H}{k_{II}} \cdot I_{POB,max}, \quad I_{c3} = \frac{1,05}{0,85} \cdot 103,9 = 128,4 \text{ А.} \quad (3.12)$$

де k_H – коефіцієнт надійності, який становить 1,05; k_{II} – коефіцієнт повернення, який становить 0,85.

Обчислюємо струм спрацьовування реле за формулою:

$$I_{cp} = I_{c3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_{TA2}}, \quad I_{cp} = 128,4 \cdot \frac{1}{\frac{200}{5}} = 3,2 \text{ А.} \quad (3.13)$$

Згідно з ПУЕ, МСЗ від перевантажень на чутливість не перевіряється. Час спрацьовування реле ділиться на дві черги: $I_{c3I} = 9 \div 10$ с – сигнал та автоматичне розвантаження; $I_{c3II} = 40$ хв – відмикання.

Захист від зниження напруги встановлюється на стороні високої напруги трансформатора. Значення напруги спрацьовування захисту становить:

$$U_{cз} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad U_{cз} = 0,7 \cdot 35 = 24,5 \text{ кВ.} \quad (3.14)$$

Напряга спрацьовування реле буде мати значення [19]:

$$U_{cp} = \frac{U_{cз}}{n_{TV1}}, \quad U_{cp} = \frac{24500}{\frac{35000}{100}} = 70 \text{ В.} \quad (3.15)$$

3.4 Захист від пошкоджень усередині бака та зниження рівня оливи

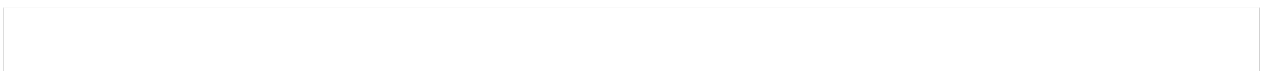
Газовий захист від пошкоджень в середині бака, яке супроводжуються виділенням газу, та від зниження рівня оливи має бути передбачений для трансформаторів потужністю 6,3 МВА та більше.

Газовий захист має діяти на сигнал при слабкому газоутворенні, зниженні рівня оливи та на відмикання при інтенсивному газоутворенні та подальшому зниженні рівня оливи.

Для захисту трансформатора будемо застосовувати газове реле типу РЗТ80. Реле може встановлюватися у патрубку, РПН а в баку.

Газовий захист призначений для захисту силових трансформаторів з оливою заповненням, забезпечених розширювальними бачками, від усіх видів внутрішніх пошкоджень, які супроводжуються виділенням газу, пришвидшеним перетіканням оливи з баку в розширювач, а також від витoku оливи з бака трансформатора [18].

Газовий захист є найбільш чутливим захистом трансформатора від пошкоджень обмоток. У якості сигнальних та відмикальних контактів та реле застосовуються магнітокеровані геркони, замикання яких відбувається від наближення круглого магніту до кінця скляної колби, у якій укладений контакт. При зниженні рівня оливи, в реле опускається поплавець сигнального елемента і за обсягом газу реле 250 – 300 см³ керуючий магніт призводить до замикання сигнальних контактів.



4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Основним завданням цього розділу є аналіз умов праці робітників, зокрема попередження виникнення небезпек і прийняття найбільш ефективних заходів для їх ліквідації та детермінування ступеня небезпечності. Будемо аналізувати умови праці робітника згідно нормативних документів, які зобов'язують до створення на робочому місці умов праці, за яких вплив небезпечних та шкідливих чинників на працюючих має бути або усунений зовсім, або знаходитися у допустимих межах.

4.1 Структурно-функціональний аналіз виникнення аварійних ситуацій

Розробка заходів по запобіганню аварійних і травмонебезпечних ситуацій можлива лише при завчасному виявленні тих небезпек, із яких починаються процеси їх формування. Оскільки небезпечні умови не завжди завчасно можна виявити, а для вивчення небезпечних дій іноді потрібно багато часу, щоб зібрати статистичний матеріал, то і методи виявлення цих небезпек мають бути відповідно диференційовані. Розглянемо роботу електромонтера та старшого верстатника, які працюють безпосередньо біля електричних машин та персонального комп'ютера для управління технологічним процесом [20].

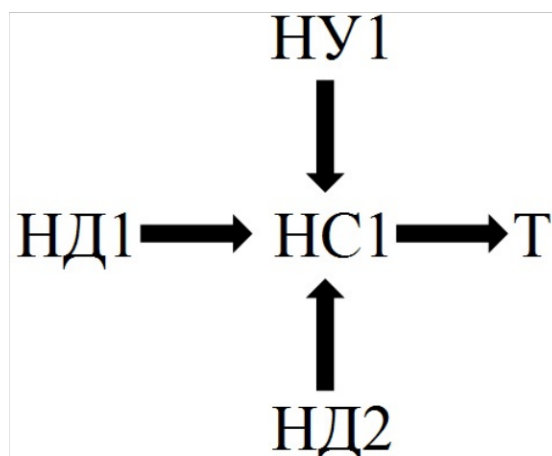


Рисунок 4.1 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при встановленні паспортних даних обладнання: НУ1 – небезпечна умова (не вимкнено живлення обладнання); НД1 – небезпечна дія (нехтування прави-

лами ТБ); НД2 – небезпечна дія (Користування невідповідним інструментом); НС1 – небезпечна ситуація (ураження струмом); Т – травма.

На рисунку 4.1 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при проведенні процедури встановлення паспортних даних обладнання. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основним заходом запобігання небезпечної ситуації є проведення додаткових інструктажів із техніки безпеки.

На рисунку 4.2 представлено схему аналізу процесу формування небезпечної ситуації при виконанні робіт диспетчером за комп'ютером. Бачимо, що при виникненні усіх описаних чинників виникне травма. У даному випадку основними заходами запобігання небезпечної ситуації є організація постійного контролю за дотриманням правил роботи за комп'ютером.

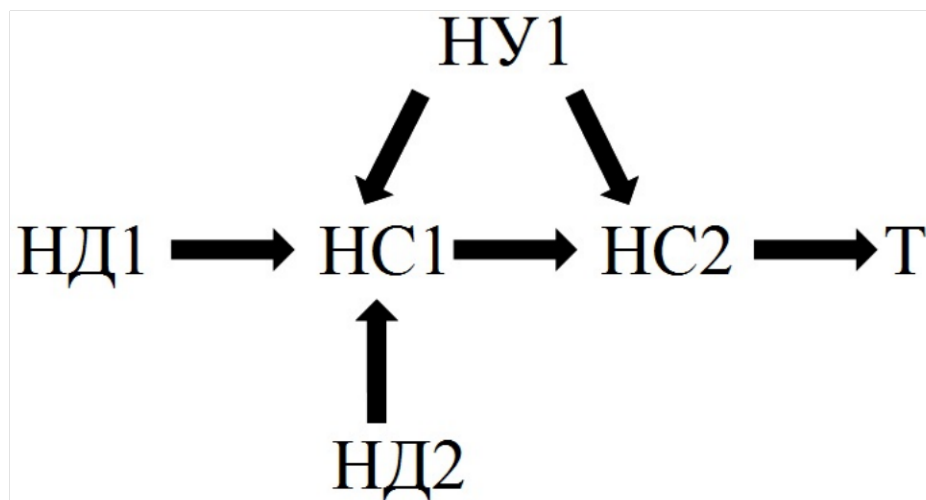


Рисунок 4.2 – Аналіз процесу формування небезпечної ситуації при проведенні робіт диспетчером за комп'ютером: НУ1 – небезпечна умова (неправильне розміщення тіла диспетчера за комп'ютером); НД1 – небезпечна дія (використання стільців без опори для підтримування спини); НД2 – небезпечна дія (використовування стільців невідповідної висоти); НС1 – небезпечна ситуація (захворювання хребта); НС2 – небезпечна ситуація (погіршення зору); Т – травма.

4.2 Посадова інструкція диспетчера електричних мереж

Диспетчер електричних мереж керується загальноприйнятими Правилами безпечної експлуатації електроустановок та іншими правовими нормативними актами. Ми не бачимо потреби їх висвітлювати у розрахунково-

пояснювальній записці до дипломний проєкт, натомість представимо елементи посадової інструкції, які на нашу думку є ключовими з техніки безпеки.

Завдання та обов'язки диспетчера. Здійснює оперативне керування районом мереж у зміні, а також підлеглим йому оперативним персоналом. Забезпечує надійне і безперебійне енергопостачання споживачів і найбільш економічне ведення режиму роботи. Підтримує величину напруги в мережі у встановлених межах. Дає розпорядження на ввімкнення в роботу, виведення з роботи або в резерв устаткування, що перебуває в його оперативному керуванні або веденні, і дозволяє проведення робіт на цьому устаткуванні під час своєї зміни.

Керує проведенням перемикачів в електроустановках, що перебувають у його оперативному керуванні й веденні. Беззастережно виконує розпорядження диспетчера вищого рівня про введення графіків обмеження і вимкнення споживачів, забезпечує резервування живлення споживачів. Веде оперативний журнал та іншу оперативно-технічну документацію, відображає на мнемосхемі всі зміни, проведені в мережі. Проводить розрахунок змін налаштувань дугогасильної котушки (ДГК) на підстанціях під час перемикачів у розподільній електромережі, віддає розпорядження черговому персоналу на зміну налаштувань ДГК. Віддає розпорядження на зміну уставок релейного захисту й автоматики [20].

Повинен знати. Директивні матеріали, накази й розпорядження, що стосуються оперативної роботи й роботи з персоналом; структуру та організацію диспетчерського керування мережі; розподільне устаткування в лініях електропередачі щодо способу диспетчерського керування згідно з Переліком розподілу устаткування за способами диспетчерського керування (Перелік); порядок і технологію проведення оперативних перемикачів; порядок обмеження і вимкнення споживачів електроенергії; організацію підготовки робочих місць; порядок виведення устаткування, що перебуває в його оперативному управлінні або веденні, з роботи і резерву в ремонт і введення його в роботу; порядок ліквідації аварійних ситуацій, порядок підімкнення закінчених будів-

ництвом і реконструйованих електроустановок; Правила застосування і випробовування засобів захисту, використовуваних в електроустановках; схеми первинної комутації розподільних мереж 0,4... 10 кВ і підстанцій 35 кВ згідно з Переліком і джерела їхнього живлення; експлуатаційні характеристики основного устаткування і комутаційної апаратури мереж; тип, принцип роботи й правила експлуатації пристроїв релейного захисту й автоматики, телемеханіки і зв'язку, підвідомчих диспетчеру; електричні навантаження підвідомчого устаткування в нормальних і аварійних режимах; схеми електропостачання особливо відповідальних споживачів; Інструкцію про взаємовідносини диспетчера з підприємствами, що мають дизельні електростанції (ДЕС); диспетчерські інструкції; Правила користування електричною енергією ; Інструкцію з розслідування та обліку технологічних порушень на об'єктах електроенергетики і в об'єднаній енергетичній системі України (розділ, що стосується електричних мереж); положення про розслідування і облік нещасних випадків на виробництві.

Кваліфікаційні вимоги. Повна або базова вища технічна освіта відповідного напрямку підготовки (спеціаліст, бакалавр). Стаж роботи за професією на підприємстві електричних мереж: для спеціаліста – не менше 2 років, бакалавра – не менше 3 років.

4.3 Розрахунок режиму повітрообміну у диспетчерській

Для підтримання у виробничих приміщеннях нормальних параметрів повітряного середовища, яке відповідає санітарно-гігієнічним і технологічним вимогам, влаштовують вентиляцію.

Вентиляція – це організований і регульований обмін повітря у виробничому приміщенні, що створюється з метою забезпечення санітарно-гігієнічних і пожежовибухонебезпечних умов праці.

Розрахунок повітрообміну за шкідливими речовинами. Необхідний об'єм повітря для розбавлення шкідливих речовин до допустимих концент-

рацій розраховують за формулою, м³/год [21]:

$$L = \frac{G}{C - C_0}, \quad (4.1)$$

де L – кількість припливного повітря за одиницю часу, яке необхідно ввести у приміщення для зменшення вмісту шкідливої речовини (парів, газів, пилу) до гранично допустимих концентрацій, м³/год; G – кількість шкідливої речовини, що виділяється у приміщення за годину, мг/год, (при розрахунку за CO_2 , кількість вуглекислого газу, який виділяє одна людина приймаємо з табл. 4.2); C – концентрація шкідливої речовини у повітрі, яке видаляється (\leq ГДК), мг/м³ (значення ГДК деяких шкідливих речовин подано у табл. 4.3); C_0 – концентрація шкідливої речовини у припливному повітрі ($\leq 0,3$ ГДК), мг/м³.

Кількість вуглекислоти, яка виділяється людиною залежить від декількох факторів: віку людини та характеру роботи, яку вона виконує і призводить до втоми. Фактори втоми різноманітні і пов'язані як з трудовою, так і позавиробничою діяльністю людини. Вирішальне значення має трудова діяльність, величина трудових навантажень і умови праці.

Таблиця 4.1 – Кількість CO_2 , яка виділяється людьми

	CO_2 , г/год	CO_2 , л/год
Дорослі:		
При фізичній роботі важкій	68	45
При фізичній роботі легкій	45	30
У стані спокою	35	23
Діти до 12 років	18	12

Таблиця 4.2 – Граничнодопустимі концентрації деяких речовин у повітрі робочої зони за ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007

№ п/п	Найменування шкідливостей	ГДК, мг/м ³
1	Діоксан	10,0
2	Фуран	0,5
3	Оксид вуглецю	20,0
4	Оксид азоту	2,0
5	Озон	0,1

$$L = 45 \cdot 2 / (10 - 3) = 12,86 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Бачимо, що для зменшення у повітрі вмісту шкідливого газу діоксану необхідно забезпечити у приміщенні повітрообмін зі швидкістю не менше 12,6 м³/год.

4.4 Охорона довкілля

Лінії електропередач надвисокої напруги є джерелами потужних електричних полів, які існують навколо фазних проводів лінії. Ці електромагнітні поля чинять значний негативний вплив на екосистеми, що знаходяться поблизу трас ліній електропередач.

Розрізняють наступні види впливу:

- безпосередній вплив, який проявляється при перебуванні людини в електричному полі. Ефект впливу підсилюється зі збільшенням напруженості поля і часу експозиції;
- вплив електричних зарядів (імпульсного струму), що виникають внаслідок дотику людини до ізольованих від землі конструкцій або при дотику людини, яка ізольована від землі, до рослин і різного роду заземлених конструкцій;
- вплив струму витоку.

Відзначимо, що наведені результати досліджень стосуються не тільки електромагнітних полів ліній електропередачі надвисокої напруги, але й будь-яких полів у всьому діапазоні частот.

Негативний вплив на екосистеми електромагнітних полів промислової частоти не такий істотний, хоча його обов'язково слід враховувати при спорудженні електропередач надвисокої напруги.

Вплив електричного поля на організм людини визначається насамперед струмами, які протікають через тіло людини. Дослідження показали, що струми густиною менш ніж 0,1 мкА/см² зовсім не впливають на здоров'я і нервову систему людини, оскільки вони набагато менші від імпульсних біострумів синапсів. Такому струму відповідає напруженість електричного поля на висоті 1,8 м від рівня землі (що відповідає зросту звичайної людини), яка

дорівнює 15 кВ/м, яку й прийнято як припустиму під повітряними лініями надвисокої напруги [22].

Максимальна напруженість електричного поля під повітряною лінією спостерігається в середині прольоту. Навпаки, біля опор напруженість електричного поля буде найменшою, оскільки тут проводи лінії знаходяться на найбільшій відстані від землі. Крім цього, тут спостерігається сприятливий ефект від екрануючого впливу металевих конструкцій опор. Тому дороги, пішохідні доріжки, лінії зв'язку і електропередачі нижчих класів номінальної напруги рекомендовано облаштовувати в безпосередній близькості від опор ліній електропередачі надвисокої напруги.

Безпосередньо під лінією спостерігається взаємна компенсація електричних полів, індукованих проводами сусідніх фаз, які перебувають під напругою, зсунутою за фазою на ± 120 ел. град. Саме тому найбільша напруженість електричного поля виникає під крайньою фазою електропередачі надвисокої напруги у разі горизонтального розміщення проводів у просторі й швидко зменшується з віддаленням від електропередачі (обернено пропорційно 2–3 степені відстані від осі лінії).

Для забезпечення вказаного припустимого значення напруженості електричного поля під проводами повітряної лінії надвисокої напруги належить дотримувати габаритну відстань для ліній напругою 330 кВ – 12 м, 500 кВ – 16,5 м, 750 кВ – 22 м.

Вплив електричного поля на організм людини визначається не лише інтенсивністю (напруженістю) поля, але й часом експозиції. Припустимий час перебування (у хвиликах) людини в електричному полі виражається відомою екологам експонентною залежністю від напруженості електричного поля [22].

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Вимикачі. До початку обчислень необхідно вибрати головні вимикачі ($Q1$ та $Q2$) і вимикачі, які встановлені на головній понижувальній підстанції ($Q3$ та $Q4$) за номінальними даними відповідно до наступних умов:
 $U_{НВ} \geq U_H$, $I_{НВ} \geq I_{\max P}$, $I_{ВІДМ.В} \geq I_{ВІДМ.Р}$.

У другому розділі кваліфікаційної роботи, для встановлення було прийнято вимикачі ВБЕТ-35/630 з номінальними даними $U_{НВ} = 35$ кВ, $I_{НВ} = 630$ А, $I_{відм} = 20$ кА.

Капітальні витрати на лінію. При визначенні капітальних витрат використовуватимуться укрупнені показники вартості електроустановки.

Вартість двох камер відхідних ліній з вимикачами ВБЕТ-35/630 ($Q1$ та $Q2$), що встановлюються у відкритому розподільчому пристрої становить:

$$K_B = K_Q \cdot n, \quad K_B = 310,92 \cdot 2 = 621,8 \text{ тис. грн.}, \quad (5.1)$$

де K_Q – вартість вимикача 35 кВ; n – кількість вимикачів.

Обчислюємо вартість спорудження повітряної лінії 35 кВ на двоконтурних залізобетонних опорах з проводами до 150 мм^2 за формулою [23]:

$$K_L = K_0 \cdot l, \quad K_L = 2195,2 \cdot 15 = 32928,5 \text{ тис. грн.} \quad (5.2)$$

де K_0 – вартість спорудження 1 км повітряної лінії 35 кВ на двоконтурних залізобетонних опорах з проводами перетином до 150 мм^2 ; l – довжина лінії.

Обчислюємо сумарні капітальні витрати на спорудження лінії:

$$K_{\Sigma L} = K_L + K_B, \quad K_{\Sigma L} = 32928,5 + 621,8 = 33550,3 \text{ тис. грн.} \quad (5.3)$$

Обчислюємо капітальні витрати на спорудження ГПП з двома трансформаторами ТМН-6300/35 за виразом:

$$K_T = K_0 \cdot n_T, \quad K_T = 5450 \cdot 2 = 10900 \text{ тис. грн.} \quad (5.4)$$

де K_0 – вартість трансформаторів; n – кількість трансформаторів.

Обчислюємо вартість двох камер з вимикачами за формулою:

$$K_B = K_Q \cdot n, \quad K_B = 310,9 \cdot 2 = 621,8 \text{ тис. грн.} \quad (5.5)$$

Обчислюємо сумарні капітальні витрати на спорудження ГПП за формулою:

$$K_{\Sigma ГПП} = K_T + K_B, \quad K_{\Sigma ГПП} = 10900 + 621,8 = 11521,8 \text{ тис. грн.} \quad (5.6)$$

Обчислюємо сумарні капітальні витрати для мережі 35 кВ:

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma Л} + K_{\Sigma ГПП}, \quad K_{\Sigma} = 33550,3 + 11521,8 = 45072,1 \text{ тис. грн.} \quad (5.7)$$

Сумарні щорічні витрати обчислюються за формулою:

$$B = B_{\Delta\Sigma} + B_{\text{ЕЭ}} + B_{\text{ТЭ}}, \quad (5.8)$$

де $B_{\Delta\Sigma}$ – амортизаційні відрахування; $B_{\text{ЕЭ}}$ – вартість втрат електроенергії;

$B_{\text{ТЭ}}$ – витрати на ремонт та експлуатацію.

Обчислюємо амортизаційні відрахування:

$$B_{\Delta\Sigma} = B_{\Delta Л} + B_{\Delta В} + B_{\Delta В} + B_{\Delta Т} = \frac{1}{T_{\text{КВ.Л}}} \cdot K_{\text{Л}} + \frac{1}{T_{\text{КВ.В}}} \cdot K_{\text{В}} + \frac{1}{T_{\text{КВ.В}}} \cdot K_{\text{В}} + \frac{1}{T_{\text{КВ.Т}}} \cdot K_{\text{Т}}; \quad (5.9)$$

$$B_{\Delta\Sigma} = \frac{1}{12,5} \cdot 32928,5 + \frac{1}{17,5} \cdot 621,8 + \frac{1}{17,5} \cdot 621,8 + \frac{1}{17,5} \cdot 10900 = 3328,2 \text{ тис. грн.},$$

де $B_{\Delta Л}, B_{\Delta В}, B_{\Delta Т}$ – амортизаційні відрахування, відповідно, для ліній, вимикачів та трансформаторів; $T_{\text{КВ.Л}}, T_{\text{КВ.В}}, T_{\text{КВ.Т}}$ – термін корисного використання.

Обчислюємо витрати на ремонт та обслуговування за формулою:

$$B_{\text{ТЭ}} = B_{\text{ТЛ}} + B_{\text{ТВ}} + B_{\text{ТВ}} + B_{\text{ТТ}} = p_{\text{ар.л}} \cdot K_{\text{Л}} + p_{\text{ар.в}} \cdot K_{\text{В}} + p_{\text{ар.в}} \cdot K_{\text{В}} + p_{\text{ар.т}} \cdot K_{\text{Т}}; \quad (5.10)$$

$$B_{\text{ТЭ}} = 0,152 \cdot 32928,5 + 0,204 \cdot 621,8 + 0,204 \cdot 621,8 + 0,204 \cdot 10900 = 7482,4 \text{ тис. грн.},$$

де $B_{\text{ТЛ}}, B_{\text{ТВ}}, B_{\text{ТТ}}$ – витрати на експлуатацію та ремонт, відповідно, ліній, вимикачів та трансформаторів; $p_{\text{ар.л}}, p_{\text{ар.в}}, p_{\text{ар.в}}, p_{\text{ар.т}}$ – розмір нормативних відрахувань.

Тепер обчислюємо вартість втрат електроенергії. Річні втрати активної потужності в лініях становлять [24]:

$$\Delta P_{\text{Л}} = R \frac{S_p^2}{U^2} = \frac{r_0 l}{n_k} \cdot \frac{S_p^2}{U^2} \cdot 10^3, \quad \Delta P_{\text{Л}} = \frac{0,4218 \cdot 15}{2} \cdot \frac{7382,3^2}{35^2} = 140,7 \text{ кВт}, \quad (5.11)$$

де r_0 – активний опір 1 км повітряної лінії; l – довжина повітряної лінії; n_k – кількість контурів; U – напруга лінії; S_p – повна розрахункова потужність.

Обчислюємо річні втрати енергії у лініях за формулою:

$$\Delta W_{\text{Л}} = \Delta P \tau_{\text{max}}, \quad \Delta W_{\text{Л}} = 140,7 \cdot 2052,08 = 288807,6 \text{ кВт год.} \quad (5.12)$$

Тут час використання максимуму втрат становить

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad \tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{3600}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2052,08 \text{ год.} \quad (5.13)$$

де T_{\max} – кількість годин використання максимуму навантаження для двох змін. Річні втрати електроенергії у трансформаторах становлять:

$$\Delta W_T = n \cdot \Delta P_{HX} T_B + \frac{1}{n} \Delta P_{кз} \left(\frac{S_p}{S_{nm}} \right)^2 \tau_{\max}, \quad (5.14)$$

$$\Delta W_T = 2 \cdot 9,2 \cdot 4000 + \frac{1}{2} \cdot 46,5 \left(\frac{7382,3}{6300} \right)^2 \cdot 2052,08 = 139111,8 \text{ кВА},$$

де n – кількість трансформаторів; ΔP_{HX} – втрати неробочого ходу; T_B – час ввімкнення, яке для промислових підприємств визначають залежно від змінності: під час роботи на дві зміни $T = 4000$ год/рік; $\Delta P_{кз}$ – втрати короткого замикання; S_{nm} – номінальна потужність трансформатора ГПП.

Обчислюємо вартість річних втрат у лініях та трансформаторах [23]:

$$B_{E\Sigma} = B_E \cdot \Delta W_\Sigma = B_E (\Delta W_L + \Delta W_T), \quad (5.15)$$

$$B_{E\Sigma} = 2,64 \cdot (288807,69 + 139111,8) = 907,1 \text{ тис. грн.}$$

де B_E – вартість 1 кВт год електроенергії для населення.

Обчислюємо сумарні щорічні витрати за формулою (5.8):

$$B_\Sigma = 3328,2 + 938,7 + 7482,4 = 11717,7 \text{ тис. грн.}$$

Приведені витрати для мережі 35 кВ обчислимо за формулою:

$$Z_\Sigma = E_H K_\Sigma + B_\Sigma, \quad Z_\Sigma = 0,06 \cdot 45072,1 + 11717,7 = 14442,1 \text{ тис. грн.}$$

де E_H – коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Таблиця 5.1 – Економічні показники

Показник	Значення
Капітальні затрати K , тис. грн	45072,1
Щорічні відрахування на амортизацію та ремонт, тис. грн..	10810,6
Втрати енергії, ΔW , кВт год/рік	427919,4
Вартість річних втрат електроенергії, B_E тис. грн	907,1
Приведені затрати, Z тис. грн./рік	14442,1

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено вирішення ключових концептуальних завдань для реалізації системи електропостачання заводу залізобетонних конструкцій. Результати роботи можна узагальнити такими висновками:

1. У роботі здійснено характеристику об'єкта електропостачання, зокрема здійснено опис системи електропостачання заводу, проведено визначення розрахункових електричних навантажень об'єктів електропостачання заводу та побудовано картограму електричних навантажень.

2. Для організації системи електропостачання було вибрано трансформатори головної понижувальної підстанції та розроблено схему відкритих розподільчих пристроїв підстанції. Проведено вибір цехових трансформаторів, кабелів їх живлення та високовольтних батарей конденсаторів для компенсації реактивної потужності.

3. На основі розробленої схеми ВРП та вибраного устаткування було укладено еквівалентну схему заміщення та обчислено її параметри. У програмному комплексі МАТКАД було обчислено струми короткого змикання. На основі обчислених струмів КЗ здійснено вибір комутаційних та розподільчих пристроїв системи електропостачання заводу. Також розроблено систему релейного захисту трансформаторів ГПП та обчислено усі необхідні уставки захисту.

4. Враховуючи тематику та концепцію кваліфікаційної роботи, було розкрито питання охорони праці та захисту навколишнього середовища.

5. У кваліфікаційній роботі, також, було здійснено техніко-економічні обґрунтування розробки системи електропостачання заводу залізобетонних конструкцій. Так, обчислені капітальні затрати на зведення електричної мережі підприємства становлять 45,072 млн.грн

--

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
2. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р., Мунтян В. О., Радько І. П. Основи електропостачання сільського господарства. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. 462 с.
3. Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. Кіровоград: КНТУ, 2015. 287 с.
4. Денисюк С. П., Радиш І. П., Кабацій В. М., Дерев'янка Д. Г. Основи електротехніки та електропостачання. Київ: Кондор, 2012. 216 с.
5. Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Супрун О. Д. Проектування систем електропостачання залізниць. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
6. Орлович А. Ю., Плешков П. Г., Козловський О. А. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: навч. посіб. Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. 272 с.
7. Кулик В. В., Тептя В. В., Бурикін О. Б., Сікорська О. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110–330 кВ: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с.
8. Лук'яненко Ю. В., Остапчук Ж. І., Кулик В. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Вінниця: ВДТУ, 2002. 116 с.
9. Васи́лега П. О. Електропостачання. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 415 с.
10. Лушкін В. А., Абраменко І. Г., Барбашов І. В., Черкашина В. В., Шутенко О. В. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. 193 с.
11. Малинівський С. М. Загальна електротехніка: навчальний посібник. Львів: В-во Нац. у-ту «Львів. політех.», 2001. 596 с.

12. Казанський С. В., Матєєнко Ю. П., Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник. Київ: Вид-во «Політехніка», 2017. 456 с.
13. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України, 2017.
14. Бахор З. М., Журахівський А. В. Проектування підстанцій електричних мереж. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 308 с.
15. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
16. Козярьський Д. П., Майструк Е. В., Козярьський І. П. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник. Чернівці: Чернівецький нац. ун., 2019. 133 с.
17. Махлін П. В., Костенко С. Ю., Кузьменко О. П. Інтелектуальні пристрої релейного захисту та автоматики: навч. посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 256 с.
18. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ: Вища шк., 2006. 367 с.
19. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: підручник. Львів: В-во НУ«ЛП», 2013. 533 с.
20. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.
21. Бондаренко В. О., Ганус О. І., Старков К. О., Шевченко С. Ю. Охорона праці в електроенергетиці: навчальний посібник. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. 286 с.
22. Лук'янова Л. Основи екології: навч. посіб. Київ: Вища шк., 2000. 327 с.
23. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.
24. Бандурка О. М., Ковальов Є. В., Садиков М. А., Маковоз О. С. Економіка підприємства. Харків: ХНУВС. 2017. 192 с.