



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Довжанину Олександр Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання заводу теплоізоляційних матеріалів

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » січня 2021 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Характеристика об'єкту господарювання, опис технологічного процесу, графіки електричних навантажень, технічна документація на обладнання, дані силової розподільчої мережі.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1. Генеральний план заводу з мережами електропостачання 1л. ф – А1

2. Однолінійна схема електропостачання заводу 1л. ф – А1

3. План-розріз трансформаторної підстанції 1л. ф – А1

4. Структурна та функціональна схеми пристрою автоматичного перемикачання джерела живлення 1л. ф – А1

5. Схема грозозахисту та заземлення виробничих будівель 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 27 січня 2021 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2021	
2	Аналітичний розділ	28.02.2021	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2021	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2021	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2021	
6	Висновки	10.06.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2021	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Довжанин О. С.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бабюк С. М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Довжанин О. С. Розробка системи електропостачання заводу теплоізоляційних матеріалів

Стор.– 65; рис. - 3; табл. - 4; креслень - 5; джерел - 19; додатків - \_.

Цілями даної кваліфікаційної роботи бакалавра є: розрахунок навантаження заводу; визначення розрахункового навантаження підприємства в цілому по розрахунковим активним і реактивним навантажень цехів з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів і території підприємства, втрат потужності в трансформаторах цехових підстанцій, ГПП і лініях. Розрахунок проводиться окремо для високовольтних і низьковольтних навантажень; побудова картограми електричних навантажень з метою визначення найбільш оптимального місця розташування ГПП на території підприємства; розрахунок схеми внутрішньозаводського електропостачання.

Для захисту мережі від аварійних режимів провести розрахунок та вибір пристроїв релейного захисту трансформатора та відходящих ліній.

Перелік ключових слів: ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СПОЖИВАЧ, КОМПЕНСАЦІЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ТРАНСФОРМАТОР, АВТОМАТИЧНЕ ПЕРЕМИКАННЯ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ, ПІДСТАНЦІЯ, НЕСИМЕТРІЯ.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Довжанин О.С.			РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бабюк С.М.					3	1
Н. Контр.		Вакуленко О.О.			ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41			
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Коротка характеристика об'єкту проектування	9
1.2 Загальні вимоги організації електропостачання промислового підприємства	10
1.3 Висновки до розділу 1. Постановка завдань кваліфікаційної роботи	16
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Визначення розрахункових потужностей об'єктів	17
2.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання	19
2.2.1 Обґрунтування застосовуваної схеми	19
2.2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень трансформаторній підстанції	19
2.2.3 Компенсація реактивної потужності	20
2.2.4 Визначення номінальної потужності трансформаторів підстанції	22
2.2.5 Вибір перерізів провідників ліній електропередачі за техніко-економічними показниками	25
2.3 Вибір схеми зовнішнього електропостачання	29
2.3.1 Визначення розрахункового навантаження заводу	29
2.3.2 Вибір перерізів провідників ліній електропередачі за техніко-економічними показниками	31
2.4 Визначення величини струмів короткого замикання	31
2.5 Висновки до розділу 2	36
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Вибір і перевірка електрообладнання за умовами роботи в режимі короткого замикання	37

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					
Розробив		Довжанин О.С.						Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бабюк С.М.						4	2	
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41		
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.								

3.2	Захист мереж від аварійних режимів	41
3.2.1	Максимальний струмовий захист і струмова відсічка	44
3.2.2	Захист знижувального трансформатора	44
3.3	Швидкодіючий пристрій автоматичного перемикання джерел живлення	49
3.4	Висновки до розділу 3	55
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1	Безпека і охорона праці при ремонті і обслуговуванні електрообладнання	56
4.2	Організаційні заходи захисту персоналу підприємства	59
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Однією з найголовніших проблем в промисловій енергетиці є енергозбереження та економія матеріальних, а також трудових ресурсів. Сюди можна віднести, наприклад випуск менш матеріаломістких, але більш надійних і довговічних виробів, більш повне використання вторинних сировинних і енергетичних ресурсів, підвищення ККД енергоустановок, зменшення втрат енергії.

Важливим резервом економії електроенергії в промисловості є в даний час застосування енергозберігаючих технологій (вдосконалення існуючих та розробка нових).

Економія електроенергії означає перш за все зменшення втрат електроенергії у всіх ланках СЕП і в самих електроприймачах. Основними шляхами зниження втрат електроенергії є наступні:

- раціональна побудова системи електропостачання при її реконструкції і проектуванні, що включає в себе застосування раціональних напруг, числа і потужності силових трансформаторів, загального числа трансформацій, місця розміщення підстанцій, схеми електропостачання, компенсації реактивної потужності та ін .;

- зниження втрат електроенергії в діючих системах електропостачання, що включає в себе управління режимами електроспоживання, регулювання напруги, обмеження холостого ходу електроприймачів, модернізацію існуючого та застосування нового, більш економічного і надійного технологічного і електричного обладнання, застосування економічно доцільного режиму роботи силових трансформаторів, заміну асинхронних двигунів (АТ) на синхронні (СД), де це можливо, автоматичне керування освітленням протягом доби, підвищення якості електроенергії та ін .;

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ВСТУП</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Довжанин О.С.						
Керівник		Бабюк С.М.					6	3
Н. Контр.		Вакуленко О.О.					ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41	
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

- нормування електроспоживання, розробка науково обґрунтованих норм питомих витрат електроенергії на одиницю продукції; нормування електроспоживання передбачає наявність на підприємствах надійних систем обліку і контролю витрат електроенергії;

- організаційно-технічні заходи, які розробляються конкретно на кожному підприємстві з урахуванням його специфіки.

У системах електропостачання промислових підприємств і установок енерго- і ресурсозбереження досягається за рахунок зменшення втрат електроенергії при її передачі і перетворення, а також за рахунок застосування менш матеріаломістких і більш надійних конструкцій всіх елементів цієї системи, що враховується, зокрема, при виборі варіантів системи електропостачання при її реконструкції і проектуванні (наприклад, при виборі номінальних напруг мереж).

У даній роботі розглядається система електропостачання заводу теплоізоляційних матеріалів. Метою роботи є розвиток здатності самостійно вирішувати практичні питання проектування системи електропостачання промислового підприємства. Виробництво продукції в одну зміну. Цілями даної роботи є: розрахунок навантаження заводу; визначення розрахункового навантаження підприємства в цілому по розрахунковим активним і реактивним навантажень цехів з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів і території підприємства, втрат потужності в трансформаторах цехових підстанцій, ДПП і лініях. Розрахунок проводиться окремо для високовольтних і низьковольтних навантажень; побудова картограми електричних навантажень з метою визначення найбільш оптимального місця розташування ГПП на території підприємства; розрахунок схеми внутрішньозаводського електропостачання. На даному етапі проводиться вибір числа і потужності цехових трансформаторних підстанцій та схеми їх електропостачання; вибір напруги живильної мережі заводу, перетину проводів, вибір потужності трансформаторів ГПП; розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000В для перевірки

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



правильності вибору перетинів провідників. На останньому етапі проводиться розрахунок електропостачання, який включає в себе: розподіл приймачів по пунктах харчування; визначення розрахункових навантажень за пунктами харчування; вибір перетинів мережі живлення по тривало допустимого струмового навантаження і перевірка їх по втраті напруги; вибір силової розподільної мережі і апаратів захисту; побудова епюр відхилення напруги від ДПП до найбільш потужного і віддаленого ЕП, розрахунок струмів короткого замикання в мережі нижче 1000 В для побудови карти селективності дії захисних апаратів

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Коротка характеристика об'єкту проектування

Головне виробництво на даний момент ще не запусрене, то можна виявити заздалегідь розраховані параметри, які надалі будуть піддані коригуванню. Вихід головного матеріалу складає мінімально 70% із загальної маси розплаву. При волокноутворенні утворюється 70% власне волокна і 30% крапель, які повертаються назад в процес утворення матеріалу.

Продуктивність по розплаву складає 4,18 тони/год. Продуктивність по волокну 2,925 тони/год. Витрата в'язучого складу – 0,075 тон/год. Вихід готової продукції – 3 тони/год.

Витратні матеріали, необхідні у виробництві базальтового волокна, використовуються по трьох напрямках: для використання в газовій печі, для в'язучого складу і для пакувального матеріалу. Для газової печі потрібні 1,35 кг базальту на одну тонну готового продукту, а також 400 кг доломіту на таку ж кількість продукції. Крім того, використовуються додаткові сировинні компоненти за потреби. Для утворення в'язучого складу вимагаються (по зменшенню в % використання в складі): фенолформальдегідна смола, сечовина, сульфат амонію, силан, аміак, пилозв'язувальні і водовідштовхувальні засоби. Витрата в'язучого складу, включаючи технологічну воду, складе 250 літрів на тонну продукту. Як пакувальний матеріал використовується поліетиленова плівка.

Робочий час за рік складає 8760 годин/рік. На ремонт обладнання відводиться 336 години за рік, на чищення – 500 годин, а на робочий час виробництва продукції – 7924 години. Готовність виробничих ліній складе 95% або 7520 годин. Фактичний час роботи складає 7000 годин.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Довжанин О.С.						
Керівник		Бабюк С.М.					9	8
Н. Контр.		Вакуленко О.О.				ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41		
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

Встановлена потужність електроприймачів підприємства орієнтовно складає близько 2500 кВА. Витрата електроенергії заздалегідь прийнята рівною 21000 МВт в рік.

В процесі технологічного виробництва використовуються компресорні установки, що вимагають витрату стиснутого повітря у кількості 3 м<sup>3</sup>/хв. при тиску 6 бар.

Також за технологією виробництва матеріалу потрібно воду для водоциркуляції центрифуги і плавильної печі, у кількості, відповідно, 4 і 3 м<sup>3</sup>/година.

Для процесів змащування центрифуги і її сушки потрібні 2,5 л/година мастильного матеріалу. Для чищення обладнання потрібна технологічна вода у розмірі 0,5 м<sup>3</sup>/година.

В процесі виробництва базальтового волокна здійснюється газопостачання, витрата якого за попередніми розрахунками повинна скласти 8600000 м<sup>3</sup> в рік.

На території заводу є 11 об'єктів: виробничий корпус з адміністративно-побутовим корпусом, склад готової продукції, відділення підготовки сировини, склад готової продукції з рампою, гараж, контрольно-перепускний пункт, майданчик для зберігання сировини, залізничний переїзд, залізничний тупиковий упор з лебідкою ТЛ-3А, майданчик під контейнери для сміття, стоянка для машин. З цих 11 об'єктів забезпечуються електроенергією 6. Інші з них мають в якості електроприймачів освітлювальні лампи, розташовані по усій території підприємства.

## **1.2 Загальні вимоги організації електропостачання промислового підприємства**

Параметри силової електроустановки (напруга, потужність, пусковий струм, реактивна складова і ін.) повинні відповідати параметрам мережі

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення у всіх розрахункових режимах роботи установки. Електрообладнання та матеріали повинні бути стійкими до впливу навколишнього середовища або мають бути надійно захищені від цього впливу.

Що застосовується в силових електроустановках електрообладнання і матеріали повинні відповідати вимогам державних стандартів або технічним умовам на їх виготовлення.

Елементи електроустановок (трансформатори, електродвигуни, апарати, кабелі, дроти, шини і т. П.) повинні бути обрані таким чином, щоб при нормальній роботі був виключений їх нагрівання, що перевищує допустиме значення. Нормовані перевантаження не повинні призводити до руйнування ізоляції.

Силові електроустановки повинні задовольняти вимогам діючих норм і правил в частині забруднення ними навколишнього середовища, шуму, вібрації, що генеруються електричних полів, електробезпеки, вибухопожежної безпеки.

При наявності силових електроустановок, що погіршують якість електроенергії в мережі їх мережі (вентильних перетворювачів, дугових електропечей, зварювальних апаратів та ін.), повинні вживатися заходи з підтримки показників якості електроенергії в нормованих межах згідно ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності».

Відключення електроживлення навіть на короткий термін може завдати непоправної шкоди виробництву, екології, а в деяких випадках може привести навіть до повної зупинки технологічного процесу. Згодом для відновлення останнього можуть бути потрібні великі капіталовкладення, тривалий час для реконструкції виробництва і т.п.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Особливості підключення до електричної мережі загального призначення електроприймачів технологічного обладнання промислового підприємства

Перетин лінії, яка живить електроприймачі (ЕП), слід вибирати по номінальному струму (встановленої потужності) ЕП. Для ЕП, що працюють в повторно-короткочасному режимі, - по току, наведеним до тривалого режиму. Для ЕП значної потужності, якщо відома їх фактичне завантаження, перетин лінії живлення слід вибирати з урахуванням їх завантаження. У випадках, коли на технологічному механізмі встановлені кілька ЕП, перетин лінії живлення слід вибирати по сумарною встановленою потужністю одночасно працюючих ЕП.

Захист живлять ЕП ліній здійснюється захисними апаратами, що встановлюються в РУ, на відгалуженнях від шинопроводів або в інших місцях.

При установці декількох паралельних технологічних агрегатів або автоматичних ліній живлення технологічно пов'язаних ЕП кожного агрегату, кожної лінії слід здійснювати від трансформаторів і РУ, які отримують харчування в нормальному режимі від одного незалежного джерела живлення.

Підключення до мережі загального призначення ЕП, що пред'являють підвищені вимоги до нормованих ДСТУ EN 50160:2014 показників якості електроенергії, слід здійснювати за допомогою спеціальних технічних засобів (стабілізаторів, автономних джерел і ін.).

Надійність роботи силових електроустановок значною мірою залежить від схем живлення взаєморезервування електроприймачів. Взаєморезервуючі механізми, як правило, відносяться до ЕП I категорії і особливої групи I категорії згідно з класифікацією по надійності електропостачання. Значно рідше має місце установка взаєморезервуючих механізмів, віднесених за наслідками їх відключення до ЕП II категорії. Живлення останніх слід

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати відповідно до рекомендацій щодо резервування ЕП, віднесених до I категорії, з заміною пристроїв АВР ручним керуванням.

Вимоги до числа незалежних джерел живлення і пристрою АВР для взаєморезервування ЕП можуть ставитися не до окремих ЕП, а до живильних їх секціях збірних шин РП.

При підключенні взаєморезервування ЕП, віднесених до I категорії, в залежності від кількості ЕП потрібно враховувати рекомендації:

– Два ЕП, один робочий, інший резервний:

а) живлення ЕП має здійснюватися радіальними лініями від двох секцій збірних шин, що живляться з окремих джерел живлення;

б) кола управління кожного ЕП повинні виконуватися окремо;

в) передбачається автоматичне заміщення - при аварійному відключенні робочого ЕП включається резервний ЕП.

– Три ЕП, два робочих, один резервний або один робочий, два резервних:

а) живлення двох ЕП здійснюється радіальними лініями від двох секцій збірних шин. Третій ЕП підключається через розвилку з двох захисних апаратів до обох секціях збірних шин;

б) може бути виконано також підключення кожного ЕП через розвилку з двох захисних апаратів до двох секціях збірних шин.

Згідно з вимогою гл. 5.3 ПУЕ не потрібно резервувати кабельну лінію, яка безпосередньо живить електродвигун, незалежно від категорії надійності ЕП. Однак при єдиному ЕП, віднесеному до I категорії, рекомендується при протяжній кабельній лінії або несприятливих умовах її прокладення виконувати резервування кабельної лінії. ЕП можуть бути напругою як до 1 кВ, так і напругою вище 1 кВ.

Майже кожне промислове підприємство утримує в складі навантажень системи електропостачання відповідальних споживачів, які пред'являють особливі вимоги до надійності електропостачання та якості електричної

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії. Це споживачі I категорії по надійності електропостачання, для харчування яких необхідно як мінімум два незалежних джерела електропостачання і споживачі особливої групи, додатково вимагають наявності резервного джерела електропостачання.

До приймачів особливої групи відносяться, в першу чергу різні обчислювальні комплекси і центри, системи управління складними технологічними процесами (АСУ ТП), системи власних потреб електростанцій, роботизовані виробництва, евакуаційне освітлення, на нафтопереробних підприємствах це - електрозасувки, апарати повітряного охолодження, в об'єктах інфраструктури - це сервери різного призначення, електроустановки висотних будівель.

З розвитком електронної техніки, силової промислової електроніки, обчислювальних машин, систем управління на базі комп'ютерної техніки, великих обчислювальних центрів і т.п. виникли дві великі проблеми:

- з'явилися приймачі електричної енергії, які практично не допускають перерв у електроживленні і вимагають безперебійного електропостачання;

Зі збільшенням частки цих приймачів в загальній потужності навантаження системи електропостачання (СЕП) погіршилася електромагнітна обстановка в живильних мережах, тобто з'явилася проблема електромагнітної сумісності (ЕМС) приймачів електричної енергії з різними вольтамперними характеристиками, які отримують живлення від однієї мережі.

Пристрої перетворювальної техніки: тиристорні регулятори напруги та потужності, установки вентильного управління електроприводами, регульовані джерела реактивної потужності, а також ряд інших навантажень (установки точкового зварювання, електролізні установки і т.п.) мають нелінійні вольтамперні характеристики. Нелінійність характеристик промислових споживачів призводить до споживання з мережі несинусоїдальних струмів, які, протікаючи за елементами мережі,

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викликають спотворення кривої напруги, тобто такі споживачі є джерелами вищих гармонік струму і напруги в мережі живлення.

Вищі гармоніки в нарузі шкідливо впливають на ряд приймачів електричної енергії. З'являються додаткові втрати в електричних машинах, мережах та трансформаторах, пропускна здатність яких знижується. Значно скорочується термін служби ізоляції електричних двигунів, кабелів, конденсаторів. З'являється ймовірність виникнення резонансних явищ в мережах з конденсаторними батареями, що часто є причиною виходу з ладу останніх. Погіршується робота пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку, значно зростають похибки вимірювальних приладів і різного роду датчиків. Вищі гармоніки часто є причиною збоїв в роботі обчислювальних машин, систем управління вентилями перетворювачами і автоматичних регуляторів.

Нелінійні навантаження споживають з мережі значну реактивну потужність. Дефіцит реактивної потужності і генерація в мережу вищих гармонік призводять до погіршення таких показників якості електричної енергії як відхилення напруги і несинусоїдності напруги, в зв'язку з чим, починають пред'являтися підвищені вимоги до енергетичних характеристик пристроїв живлення електротехнологічних установок.

Приймачі першої категорії особливої групи (з жорсткими вимогами до тривалості перерви електропостачання) отримують харчування не менше, ніж від трьох незалежних джерел. Для цього в загальній схемі системи електропостачання промислового підприємства виділяють одну або кілька підсистем змінного струму: безперебійного живлення приймачів змінного струму (БП); гарантованого живлення змінного струму (ДП); якісного харчування на змінному струмі (КП).

Ці підсистеми утворюють систему гарантованого живлення (СГЖ), що є складовою частиною системи електропостачання промислового підприємства, на якому є споживачі 1-ої категорії і особливої групи.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



СТЖ включає в себе різне електрообладнання: автономні джерела (генераторні агрегати), електророзподільні щити, електричні мережі з різними комутаційними апаратами і перетворювачами енергії.

### **1.3 Висновки до розділу 1. Постановка завдань кваліфікаційної роботи**

В даному розділі представлено загальну характеристику підприємства та описано технологічний процес виробництва теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто основні аспекти та вимоги до організації електропостачання промислових підприємств.

На основі приведених даних потрібно виконати розрахунок необхідної кількості енергетичних ресурсів для забезпечення нормального функціонування виробництва.

Відповідно до розрахункових потужностей споживачів необхідно спроектувати внутрішню, та зовнішню заводську мережі електропостачання. На основі техніко-економічних розрахунків вибрати повітряну лінію на напругу 10 кВ та одну трансформаторну підстанцію з розподільчим пристроєм 10 кВ, прибудовану до виробничого корпусу. За результатами техніко-економічного порівняння здійснити вибір силових трансформаторів. Для компенсації реактивної енергії вибрати компенсуючі установки. Також необхідно виконати вибір перерізів проводів мереж внутрішньої, та зовнішньої заводської мережі електропостачання за техніко-економічними показниками. Також необхідно здійснити перевірку електрообладнання на стійкість до струмів короткого замикання. Для запобігання аварійних режимів мережі передбачити вибір та встановлення пристроїв релейного захисту.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Визначення розрахункових потужностей об'єктів

Для розрахунку електричних навантажень необхідно мати наступні дані: встановлені потужності приймачів, коефіцієнти попиту, коефіцієнти потужності, питома навантаження освітлення, площі об'єктів з урахуванням їх поверховості [1, 2].

Розрахунок електричних навантажень вестимемо за методикою [2].

Активне розрахункове навантаження визначається по формулі:

$$P_p = k_n \cdot P_{уст}, \quad (2.1)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт попиту;

$P_{уст}$  – встановлена потужність об'єкту, кВт.

Далі визначається розрахункове реактивне навантаження по формулі:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.2)$$

де  $Q_p$  – реактивне розрахункове навантаження, кВАр;

$\operatorname{tg} \phi$  – відповідає характерному для цього об'єкту  $\cos \phi$ .

Далі визначається розрахункова активна потужність освітлення:

$$P_{p.o} = \frac{F \cdot P_{н.о.}}{1000}, \quad (2.3)$$

де  $F$  – площа об'єкту, м<sup>2</sup>;

$P_{н.о.}$  – питома навантаження освітлення Вт / м<sup>2</sup>, приймається по [1].

Сумарна розрахункова активна потужність з урахуванням освітлення визначається по формулі:

$$P_{p.сум} = P_p + P_{p.o}, \quad (2.4)$$

де  $P_{p.сум}$  – розрахункова активна потужність з врахуванням освітлення, кВт.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Довжанин О.С.						
Керівник		Бабюк С.М.					17	20
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.				ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41		

Визначаємо розрахункову повну потужність по формулі:

$$S_p = \sqrt{P_{p.сум}^2 + Q_p^2}. \quad (2.5)$$

По приведеному методу розрахунку визначимо електричні навантаження усіх приймачів заводу. Як приклад приведемо наочний розрахунок електричних навантажень виробничого корпусу (об'єкт №1 по генеральному плану).

Визначимо активне розрахункове навантаження згідно (2.1):

$$P_p = 0,85 \cdot 1300 = 1105 \text{ кВт.}$$

Визначимо розрахункове реактивне навантаження по формулі (2.2):

$$Q_p = 0,855 \cdot 1105 = 944,95 \text{ кВАр.}$$

Розрахуємо розрахункову активну потужність на освітлення по (2.3):

$$P_{p.o} = \frac{25 \cdot 4928}{1000} = 123,2 \text{ кВт.}$$

Визначимо розрахункову активну потужність з урахуванням освітлення, (2.4):

$$P_{p.сум} = 1105 + 123,2 = 1228,2 \text{ кВт.}$$

Визначаємо розрахункову повну потужність по приведеній вище формулі (2.5):

$$S_p = \sqrt{1228,2^2 + 944,95^2} = 1549,65 \text{ кВА.}$$

Аналогічно такому ж методу розраховуємо електричні навантаження по інших об'єктах підприємства.

Заповнивши таблицю і підсумувавши по стовпцях усі активні і реактивні потужності споживачів визначимо сумарну розрахункову повну потужність заводу (2.5):

$$\sum S_p = \sqrt{2372,6^2 + 997,96^2} = 2573,94 \text{ кВА.}$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

### 2.2.1 Обґрунтування застосовуваної схеми

Враховуючи усі потрібні при проектуванні умови, за оптимальну схему електропостачання приймаємо схему, зображену в графічній частині проекту. У цій мережі врахований варіант живлення споживачів, що належать до другої категорії по надійності електропостачання, по резервованих кабельних лініях від двох шин одного джерела живлення. Цим ми підвищимо рівень надійності системи електропостачання в цілому по підприємству, а також якість електроенергії. Живлення здійснимо по двоколовій повітряній лінії від близько розташованої підстанції «Глибоке введення» по напрузі 10 кВ на відстані 1,4 км. Оскільки кількість об'єктів на заводі невелика і відстані між ними невеликі, то приймемо до встановлення одну трансформаторну підстанцію поєднану з розподільчим пристроєм 10 кВ, прибудовану до будівлі виробничого корпусу.

### 2.2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень трансформаторній підстанції

Для визначення розрахункової потужності ТП необхідно за схемою внутрішнього електропостачання підприємства підсумувати активні і реактивні потужності споживачів, враховуючи при цьому коефіцієнт різночасності максимумів навантажень.

Приведемо порядок розрахунку потужності ТП [2].

Розрахункова активна потужність ТП із врахуванням коефіцієнту різночасності максимумів навантаження визначається згідно формули:

$$P_{p.ТП} = K_{p.m.} \cdot \sum P_{p.i} \quad (2.6)$$

Розрахункова реактивна потужність ТП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантаження розраховується по формулі:

$$Q_{p.ТП} = K_{p.m.} \cdot \sum Q_{p.i} \quad (2.7)$$

Повна розрахункова потужність ТП визначається по формулі:

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{p.ТП} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2}, \quad (2.8)$$

де  $K_{p.m}$  – коефіцієнт різночасності максимумів навантажень, приймаємо рівним 0,9 [3];

$\sum P_{p.i}$  – сумарні активні розрахункові потужності споживачів, що живляться від ТП, кВт;

$\sum Q_{p.i}$  – сумарні реактивні розрахункові потужності споживачів, що живляться від ТП, кВАр.

Визначимо активну розрахункову потужність ТП по вище приведеній формулі (2.6):

$$P_{p.ТП} = 0,9 \cdot 2307,33 = 2076,59 \text{ кВт.}$$

Визначимо реактивну розрахункову потужність ТП по формулі (2.7):

$$Q_{p.ТП} = 0,9 \cdot 1757,16 = 1581,44 \text{ кВАр.}$$

Розрахуємо повну розрахункову потужність ТП по формулі (2.8):

$$S_{p.ТП} = \sqrt{2076,59^2 + 1581,44^2} = 2610,21 \text{ кВА.}$$

### 2.2.3 Компенсація реактивної потужності

Далі визначимо розрахункову потужність ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності з встановленням конденсаторних батарей на шинах низької напруги 0,38 кВ.

Необхідну потужність конденсаторної установки визначаємо за наступним виразом:

$$Q_{\text{бк}} = Q_{p.ТП} - 0,33 \cdot P_{p.ТП}. \quad (2.9)$$

Повну розрахункову потужність ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності визначаємо по наступній формулі:

$$S_{p.к.} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + (Q_{p.ТП} - Q_{\text{бк}})^2}, \quad (2.10)$$

де  $P_{p.ТП}$  – розрахункова активна потужність ТП із урахуванням коефіцієнту різночасності максимумів навантаження;

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Q_{p.ТП}$  – розрахункова реактивна потужність ТП з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантаження;

$Q_{бк}$  – сумарна реактивна потужність конденсаторних батарей.

Коефіцієнт потужності з врахуванням компенсації реактивної потужності ТП:

$$\cos \varphi = \frac{P_{p.ТП}}{S_{p.к.}}. \quad (2.11)$$

Потужність трансформатора ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності за умови перевантаження трансформатора на 40%:

$$S_{p.пер} = \frac{S_{p.к.}}{1,4}. \quad (2.12)$$

По вище приведених формулах розрахуємо розрахункову потужність ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності.

По формулі (2.9) визначимо необхідну потужність конденсаторних батарей на ТП:

$$Q_{бк} = 1581,44 - 0,33 \cdot 2076,59 = 896,16 \text{ кВАр.}$$

Таким чином, передбачимо встановлення на підстанції двох конденсаторних батарей марки УКЛН-0,38-450.

Повну розрахункову потужність ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності визначимо по формулі (2.10):

$$S_{p.к.} = \sqrt{2076,59^2 + (1581,44 - 900)^2} = 2185,54 \text{ кВА.}$$

Перевіримо значення коефіцієнта потужності після компенсації реактивної потужності по формулі (2.11):

$$\cos \varphi = \frac{2076,59}{2185,54} = 0,95.$$

Визначимо потужність ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності за умови перевантаження по формулі (2.12):

$$S_{p.пер} = \frac{2185,54}{1,4} = 1561,1 \text{ кВА.}$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2.4 Визначення номінальної потужності трансформаторів підстанції

Вибір числа і потужності силових трансформаторів підприємств мають бути технічно і економічно обгрунтовані, оскільки це робить істотний вплив на раціональну побудову схем промислового електропостачання.

При виборі числа і потужності силових трансформаторів використовують методику техніко-економічних розрахунків, а також враховують такі показники, як надійність електропостачання споживачів, витрата кольорового металу і потрібна трансформаторна потужність. Бажано встановлювати трансформатори однакової потужності, але таке рішення не завжди здійсненне [2].

Вибір потужності силових трансформаторів виконуємо по повному розрахунковому навантаженню споживачів підключених до цієї підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності. При виборі номінальної потужності трансформаторів керуємося наступними міркуваннями:

- завантаження кожного трансформатора двохтрансформаторної ТП в нормальному режимі складає 60 - 80 %;
- перевантаження трансформатора в аварійному режимі (для забезпечення усіх споживачів II категорії) складає до 140 % номінальної потужності;
- остаточний вибір потужності трансформатора виконується за приведеними розрахунковими витратами:

$$Z = \left( E_n + \frac{P_a}{100} \right) \cdot K + B_{ne}. \quad (2.13)$$

Приведемо порядок визначення оптимальної потужності трансформаторів підстанцій шляхом техніко-економічного порівняння варіантів.

Коефіцієнт завантаження трансформатора визначається по формулі:

$$K_z = \frac{S_p}{2 \cdot S_n}. \quad (2.14)$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Вартість річних амортизаційних відрахувань визначається по формулі:

$$C_a = P_a \cdot K, \quad (2.15)$$

де  $P_a$  – норма амортизаційних відрахувань, рівна 18,4% [3];

$K$  – вартість трансформатора, тис.грн.

Вартість річних втрат потужності в трансформаторах ТП визначається по формулі:

$$C_n = (\Delta P_x \cdot 8760 + K_z^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau) \cdot u_e, \quad (2.16)$$

де  $\Delta P_x$  – втрати потужності холостого ходу трансформатора, кВт [2];

$\Delta P_k$  – втрати потужності к.з. трансформатора, кВт [2];

$u_e$  – ціна втрат електроенергії, грн/кВт·год.

Повні річні експлуатаційні витрати визначаються шляхом підсумовування вартості амортизаційних відрахувань і вартості річних втрат потужності в трансформаторах підстанцій, тис.грн/рік:

$$C_e = C_a + C_n. \quad (2.17)$$

Загальні річні приведені витрати можна визначити по формулі, тис.грн/рік:

$$Z = C_e + 0,15 \cdot K. \quad (2.18)$$

Визначивши загальні річні приведені витрати для двох порівнюваних трансформаторів, за часом окупності ( $T_{ок}$ ), можна визначити оптимальну потужність трансформатора:

$$T_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{C_{e2} - C_{e1}}, \quad (2.19)$$

де  $K_1$  – великі капіталовкладення, тис.грн.;

$K_2$  – менші капіталовкладення, тис.грн.;

$C_{e2}$  – повні річні експлуатаційні витрати для трансформатора з меншими капіталовкладеннями, тис.грн.;

$C_{e1}$  – повні річні експлуатаційні витрати трансформатора з великими капіталовкладеннями, тис.грн.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Якщо  $T_{ок} < 6,6$ , то приймаємо трансформатор з великими капіталовкладеннями, при  $T_{ок} > 6,6$  приймаємо трансформатор з меншими капіталовкладеннями. Також при розрахунках може вийти, що  $K_1 > K_2$ , але  $C_{e2} < C_{e1}$ . В даному випадку приймаємо трансформатор з меншими капіталовкладеннями.

Найбільш відповідним варіантом є трансформатори потужностями 1600 кВА і 1000 кВА.

Визначимо коефіцієнт завантаження трансформаторів по формулі (2.14):

- трансформатор  $S_n = 1600$  кВА:

$$K_3 = \frac{2185,54}{2 \cdot 1600} = 0,683;$$

- трансформатор  $S_n = 1000$  кВА:

$$K_3 = \frac{2185,54}{2 \cdot 1000} = 1,093.$$

Визначимо вартість річних амортизаційних відрахувань для кожного з трансформаторів по формулі (2.15):

- трансформатор  $S_n = 1600$  кВА:

$$C_a = 0,184 \cdot 2094 = 385,3 \text{ тис.грн./рік};$$

- трансформатор  $S_n = 1000$  кВА:

$$C_a = 0,184 \cdot 1440 = 264,96 \text{ тис.грн./рік}.$$

Визначимо вартість річних втрат потужності в трансформаторах ТП2 формулі (2.16):

- трансформатор  $S_n = 1600$  кВА:

$$C_n = \left( 4,5 \cdot 8760 + (0,683)^2 \cdot 16,5 \cdot 3000 \right) \cdot 6,9 / 1000 = 431,3 \text{ тис.грн./рік};$$

- трансформатор  $S_n = 1000$  кВА:

$$C_n = \left( 3,3 \cdot 8760 + (1,093)^2 \cdot 11,6 \cdot 3000 \right) \cdot 6,9 / 1000 = 486,2 \text{ тис.грн./рік}.$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повні річні експлуатаційні витрати визначаються шляхом підсумовування вартості амортизаційних відрахувань і вартості річних втрат потужності в трансформаторах ТП2 знайдемо по формулі (2.17), тис.грн/рік:

- трансформатор  $S_n = 1600 \text{ кВА}$ :

$$C_e = 385,3 + 431,3 = 816,6 \text{ тис.грн./рік};$$

- трансформатор  $S_n = 1000 \text{ кВА}$ :

$$C_e = 264,96 + 486,2 = 715,16 \text{ тис.грн./рік}.$$

Далі визначимо загальні річні приведені витрати по формулі (2.18), тис.грн./рік:

- трансформатор  $S_n = 1600 \text{ кВА}$ :

$$Z = 816,61 + 0,15 \cdot 2094 = 1130,71 \text{ тис.грн./рік};$$

- трансформатор  $S_n = 1000 \text{ кВА}$ :

$$Z = 751,16 + 0,15 \cdot 1440 = 967,16 \text{ тис.грн./рік}.$$

При розрахунку вийшло, що трансформатор потужністю 1000 кВА має коефіцієнт завантаження більше одиниці, що неприпустимо за умовами нагріву. Тому приймаємо до встановлення трансформатор марки ТМ-1600/10.

Результати зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Техніко-економічний розрахунок потужності трансформаторів

Марка Т-рів	$S_{нт},$ кВА	$S_{р.к},$ кВА	$\Delta P_x,$ кВт	$\Delta P_{кз},$ кВт	$K,$ тис. грн.	$K_3$	$t,$ год	$C_a,$ тис.грн.	$C_n,$ тис.грн.	$C_e,$ тис.грн.	$Z,$ тис.грн.
ТМ-1600/10	1600	2185,54	4,50	16,5	2094	0,68	3000	385,3	431,32	816,6	1130,71
ТМ-1000/10	1000	2185,54	3,3	11,6	1440	1,09	3000	264,96	486,2	751,2	967,16

### 2.2.5 Вибір перерізів провідників ліній електропередачі за техніко-економічними показниками

Визначимо аварійний струм на цій ділянці по формулі, А:

$$I_{ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (2.20)$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Визначимо розрахунковий струм на цій ділянці для споживачів другої категорії по наступній формулі, А:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n \cdot 2}, \quad (2.21)$$

де  $S_p$  – повна потужність на цій ділянці лінії, кВА;

$U_n$  – номінальна напруга на ділянці, кВ.

Для споживачів 3 категорії розрахунковий струм дорівнює аварійному струму.

Визначимо тривало допустимий струм з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантажень  $K_{p.m.}$ , приймаємо рівним 0,9:

$$I_{тр.доп} = K_{p.m.} \cdot I_{н.к.}, \quad (2.22)$$

де  $I_{н.к.}$  – тривало допустимий струм кабелю (А), визначається за довідковими даними [3].

Визначаємо втрати в кабелі на цій ділянці, кВт:

$$\Delta P_n = \Delta P_{пит} \cdot l, \quad (2.23)$$

де  $\Delta P_{пит}$  – питомі втрати в кабелі, кВт/км [3];

$l$  – довжина ділянки, км.

Визначимо коефіцієнт завантаження для цієї ділянки по формулі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{тр.доп.}}; \quad (2.24)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм на цій ділянці, А;

$I_{тр.доп.}$  – тривало допустиме струмове навантаження, А.

Визначаємо дійсні втрати в кабелі на цій ділянці лінії з урахуванням коефіцієнта завантаження; кВт:

$$\Delta P_o = \Delta P_n \cdot K_3^2, \quad (2.25)$$

де  $\Delta P_n$  – номінальні втрати в кабелі на цій ділянці, кВт;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження лінії.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо річну витрату електроенергії на втрати на цій ділянці по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta E_a = \Delta P_\partial \cdot \tau, \quad (2.26)$$

де  $\Delta P_\partial$  – дійсні втрати в кабелі, кВт;

$\tau$  – час максимальних втрат, год./рік.

Визначаємо вартість річних втрат, тис.грн/рік:

$$C_n = \frac{\Delta E_a \cdot \psi_e}{1000}, \quad (2.27)$$

де  $\Delta E_a$  – втрати електричної енергії на цій ділянці, кВт год/рік;

$\psi_e$  – вартість втрат електроенергії 1 кВт·год., грн./кВт·год.

Визначаємо капіталовкладення на спорудження цієї ділянки (вартість кабелю), тис.грн:

$$K = K_{num} \cdot l, \quad (2.28)$$

де  $K_{num}$  – вартість кабелю, тис.грн/км [2];

$l$  – довжина лінії ділянки мережі, км;

Визначаємо щорічні амортизаційні відрахування; тис.грн./рік:

$$C_a = K \cdot k_a, \quad (2.29)$$

де  $K$  – капіталовкладення на спорудження цієї ділянки, тис.грн.;

$k_a$  – коефіцієнт амортизації, рівний 0,15 [2].

Визначаємо загальні річні приведені витрати, тис.грн./рік:

$$Z = C_n + C_a, \quad (2.30)$$

де  $C_n$  – вартість річних втрат, тис.грн./рік;

$C_a$  – щорічні амортизаційні відрахування, тис.грн./рік.

Як приклад зробимо техніко-економічний розрахунок кабельної лінії напругою 0,38 кВ, що живить розподільний пункт складу готової продукції (ТП-РП2). Оскільки потужність цього об'єкту відносно велика, розрахунок вестимемо починаючи з кабелю максимального перерізу 185 мм<sup>2</sup> марки АВВГ.

Аварійний струм на ділянці ТП1-РП11 по формулі (2.20):

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{ав} = I_p = \frac{73.828}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 112,17 \text{ А.}$$

Визначимо тривало допустимий струм з урахуванням коефіцієнта різночасності максимумів навантажень по формулі (2.22):

$$I_{тр.доп.} = 0,9 \cdot 385 = 346,5 \text{ А.}$$

Визначимо втрати в кабелі на цій ділянці по формулі (2.23):

$$\Delta P_n = 71,15 \cdot 0,014 = 0,996 \text{ кВт.}$$

Визначимо коефіцієнт завантаження для цієї ділянки по формулі (2.24):

$$K_3 = \frac{112,17}{346,5} = 0,617.$$

Визначимо дійсні втрати в кабелі на цій ділянці лінії з урахуванням коефіцієнта завантаження по формулі (2.25):

$$\Delta P_o = 0,996 \cdot (0,617)^2 = 0,104 \text{ кВт.}$$

Визначимо річну витрату електроенергії на втрати на цій ділянці по формулі (2.26):

$$\Delta E_a = 0,104 \cdot 3000 = 313,2 \text{ кВт}\cdot\text{год./рік.}$$

Визначимо вартість річних втрат по наступній формулі (2.27):

$$C_n = \frac{313,2 \cdot 6,9}{1000} = 2,16 \text{ тис.грн./рік.}$$

Визначимо капіталовкладення на спорудження цієї ділянки (2.28):

$$K = 1392,24 \cdot 0,014 = 19,49 \text{ тис.грн.}$$

Визначимо щорічні амортизаційні відрахування, (2.29):

$$C_a = 19,49 \cdot 0,15 = 2,92 \text{ тис.грн./рік.}$$

Визначимо загальні річні приведені витрати, (2.30):

$$Z = 2,16 + 2,92 = 5,084 \text{ тис.грн./рік.}$$

Аналогічно проводимо розрахунок для інших перерізів кабелів цієї ділянки доки витрати не досягнуть мінімуму і не стануть рости. З отриманих значень вибираємо стандартні значення перерізів для ділянок з мінімальними річними приведеними витратами.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По наведеному прикладу знаходимо шляхом техніко-економічного порівняння оптимальні перерізи кабельних ліній живлячих споживачів напругою 0,38 кВ.

## 2.3 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

### 2.3.1 Визначення розрахункового навантаження заводу

Розрахункове навантаження заводу визначаємо, підсумовуючи розрахункові навантаження ТП з втратами активною і реактивною потужностей в силових трансформаторах [6].

Втрати активної потужності складуть;

- втрати потужності при х.х. складають  $\Delta P_x = 4,5$  кВт (табл. 2.1);
- втрати потужності в міді з урахуванням завантаження:

$$\Delta P_k = K_z^2 \cdot \Delta P_{к.н}; \quad (2.31)$$

$$\Delta P_k = 0,466 \cdot 16,5 = 7,689 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати активної потужності:

$$\Delta P = 2 \cdot (\Delta P_x + \Delta P_k);$$

$$\Delta P = 2 \cdot (4,5 + 7,689) = 24,38 \text{ кВт.}$$

Втрати реактивної потужності складуть:

- втрати реактивної потужності при холостому ході:

$$\Delta Q_x = \sqrt{\left(\frac{I_x \cdot S_n}{100}\right)^2 - \Delta P_x^2}, \quad (2.32)$$

де  $I_x$  – струм холостого ходу, для ТМ-1600/10 рівний 1,3% [2];

$$\Delta Q_x = \sqrt{\left(\frac{1,3 \cdot 1600}{100}\right)^2 - 4,5^2} = 20,307 \text{ кВАр};$$

- втрати потужності в міді:

$$\Delta Q_k = K_z^2 \cdot 0,003 \cdot I_n^2 \cdot X, \quad (2.33)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт завантаження трансформатора;

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$I_n$  – номінальний струм трансформатора, А, (2.20):

$$I_n = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92,376 \text{ А,}$$

$X$  – реактивний опір трансформатора, Ом:

$$X = \frac{10 \cdot u_k \cdot U_n^2}{S_n}, \quad (2.34)$$

де  $u_k$  – напруга короткого замикання трансформатора %;

$U_n$  – номінальна напруга трансформатора, кВ.

$$X = \frac{10 \cdot 5,5 \cdot 10^2}{1600} = 3,438 \text{ Ом.}$$

Втрати короткого замикання:

$$\Delta Q_k = K_z^2 \cdot 0,003 \cdot I_n^2 \cdot X; \quad (2.35)$$

$$\Delta Q_k = 0,466 \cdot 0,003 \cdot 92,376^2 \cdot 3,438 = 41,008 \text{ кВАр.}$$

Сумарні втрати реактивної потужності ТП складуть:

$$\Delta Q = 2 \cdot (\Delta Q_x + \Delta Q_k); \quad (2.36)$$

$$\Delta Q = 2 \cdot (20,307 + 41,008) = 122,631 \text{ кВАр.}$$

Сумарне розрахункове навантаження підприємства:

$$S_p = \sqrt{(\Sigma P_{p.ТП} + \Sigma \Delta P_{mp})^2 + (\Sigma Q_{p.ТП} + \Sigma \Delta Q_{mp})^2}, \quad (2.37)$$

де  $\Sigma P_{p.ТП}$  – сумарне активне навантаження ТП, кВт;

$\Sigma \Delta P_{mp}$ ,  $\Sigma \Delta Q_{mp}$  – сумарні втрати активної і реактивної потужності в трансформаторах підстанції, кВт, кВАр;

$\Sigma Q_{p.ТП}$  – сумарне реактивне навантаження ТП, з урахуванням компенсації реактивної потужності, кВАр.

$$S_p = \sqrt{(2076,59 + 24,378)^2 + (1581,44 - 900 + 122,631)^2} = 2249,58 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт потужності підприємства складе, (2.11):

$$\cos \varphi = \frac{2100,97}{2249,58} = 0,9339.$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3.2 Вибір перерізів провідників ліній електропередачі за техніко-економічними показниками

За методикою підпункту 2.2.5 визначаємо оптимальний переріз повітряної лінії напругою 10 кВ, що живить завод від підстанції глибокого вводу. За результатами розрахунку оптимальним перерізом виявився максимально можливий переріз проводу 120 мм<sup>2</sup>.

### 2.4 Визначення величини струмів короткого замикання

Базисну потужність приймає 100 МВА, виходячи з умови:

$$S_{ном.т} \leq \frac{S_{\sigma}}{50}. \quad (2.38)$$

Базисну напругу приймають для кожного ступеня напруги, оскільки у нас є два ступені напруги, то приймаємо:

$U_{\sigma 1} = 10,5 \text{ кВ}$  і  $U_{\sigma 2} = 0,4 \text{ кВ}$ . Живлення підприємство отримує від двох різних шин підстанції 110/10 кВ. Струм трифазного короткого замикання на шинах живлячої підстанції приймаємо рівним  $I_{ки}^{(3)} = 10 \text{ кА}$ .

Еквівалентна схема заміщення системи електропостачання заводу з точками можливих коротких замикань показана на рис. 2.1.

Нижче приведемо порядок розрахунку трифазних і двофазних струмів короткого замикання по методу відносних одиниць.

Базисні струми на усіх ступенях напруги визначаємо по формулі:

$$I_{\sigma i} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma i}}. \quad (2.39)$$

Відносний реактивний опір системи:

$$X_{c*} = \frac{I_{\sigma i}}{I_{ки}^{(3)}}, \quad (2.40)$$

де  $I_{ки}^{(3)}$  – струм трифазного к.з. на шинах живлячої ТП.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



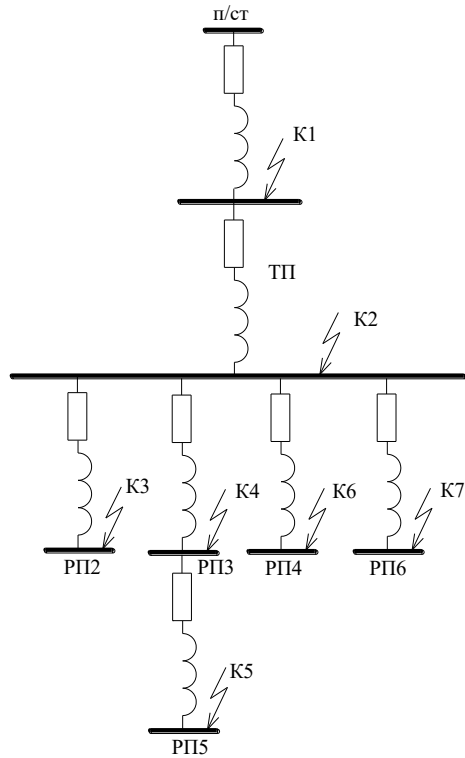


Рисунок 2.1 – Точки коротких замикань

Відносний активний опір живлячої лінії 10 кВ визначається по формулі:

$$r_{n^*} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma i}^2}, \quad (2.41)$$

де  $r_0$  – питомий активний опір живлячої лінії 10 кВ, Ом/км;  
 $l$  – довжина живлячої лінії 10 кВ, км.

Відносний реактивний опір живлячої лінії 10 кВ ділянки:

$$x_{n^*} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma i}^2}, \quad (2.42)$$

де  $x_0$  – питомий реактивний опір живлячої лінії, Ом/км;  
 $S_{\sigma}$  – базисна потужність, МВА.

Відносний активний опір трансформатора ТП визначається по формулі:

$$r_{mi^*} = \frac{\Delta P_{ki} \cdot S_{\sigma}}{S_{ni}^2}. \quad (2.43)$$

Відносний повний опір трансформатора ТП визначимо по формулі:

$$z_{mi*} = \frac{U_{ki} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ni}}. \quad (2.44)$$

Потім визначається відносний реактивний опір трансформатора ТП:

$$x_{mi*} = \sqrt{z_{mi*}^2 - r_{mi*}^2}. \quad (2.45)$$

Далі, розрахувавши усі відносні опори мережі, визначимо результуючі опори в розрахункових точках короткого замикання.

Результуючі опори до точок короткого замикання на схемі заміщення визначаються по формулі:

$$z_{резі*} = \sqrt{r_{\Sigma*}^2 + x_{\Sigma*}^2}, \quad (2.46)$$

де  $r_{\Sigma*}$  – результуючий (сумарний) відносний активний опір ділянки до розрахункової точки короткого замикання;

$x_{\Sigma*}$  – результуючий (сумарний) відносний реактивний опір ділянки до розрахункової точки короткого замикання.

Значення трифазного струму короткого замикання, що встановився, в розрахунковій точці (максимальне значення) визначається по формулі:

$$I_{ki}^{(3)} = \frac{I_{\sigma i}}{z_{резі*}}. \quad (2.47)$$

Значення двофазного струму короткого замикання, що встановилося, в розрахунковій точці (мінімальне значення):

$$I_{ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{ki}^{(3)}}{2}. \quad (2.48)$$

Визначимо амплітудне значення ударного струму в точці КЗ за схемою заміщення:

$$i_{yi} = \sqrt{2} \cdot K_{yi} \cdot I_{ki}^{(3)}, \quad (2.49)$$

де  $K_{yi}$  – ударний коефіцієнт, знаходиться за довідковими даними залежно від відношення результуючих опорів кола  $x/r$  [8].

Діючі значення повного струму:

$$I_{yi} = I_{ki}^{(3)} \sqrt{1 + 2(K_{yi} - 1)^2}. \quad (2.50)$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо базисні струми на усіх східцях напруги (2.39):

$$I_{\sigma 1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,3 \text{ кА}.$$

Визначимо відносний реактивний опір системи (2.40):

$$X_{c^*} = \frac{5,5}{10} = 0,55.$$

Наведемо приклад розрахунку струмів трифазного і двофазного к.з. в розрахунковій точці к.з. *K2* (рис. 2.1).

Відносний активний опір живлячої лінії 10 кВ ділянки «п/ст - ТП», виконаною двома паралельними повітряними лініями проводом марки АС перерізом 120 мм<sup>2</sup>, довжина лінії 0,4 км (2.41):

$$r_{n^*} = 0,42 \cdot 1,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,5333.$$

Відносний реактивний опір живлячої лінії 10 кВ (2.42):

$$x_{n^*} = 0,38 \cdot 1,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,4825.$$

Відносний активний опір трансформатора ТП2 марки ТМ-1600/10 визначимо по формулі (2.43):

$$r_{mi^*} = \frac{16,5 \cdot 100 \cdot 10^3}{1600^2} = 0,645.$$

Відносний повний опір трансформатора ТП2 визначимо згідно (2.44):

$$z_{mi^*} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^3}{100 \cdot 1600} = 3,44.$$

Далі визначимо відносний реактивний опір трансформатора ТП2 (2.45):

$$x_{mi^*} = \sqrt{3,44^2 - 0,645^2} = 3,379.$$

Активний результуючий опір в точці *K2* складе:

$$r_{рез.} = 0,533 + 0,645 = 1,178.$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реактивний результуючий опір в точці  $K2$ :

$$x_{рез.} = 0,55 + 0,4825 + 3,44 = 4,47.$$

Повний результуючий опір в точці  $K2$  рівний:

$$z_{рез.} = \sqrt{1,178^2 + 4,47^2} = 4,623.$$

Визначимо значення трифазного струму к.з., що встановився, в розрахунковій точці  $K2$  (максимальне значення) по формулі (2.47):

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{144,3}{4,623} = 31,23 \text{ кА.}$$

Значення двофазного струму короткого замикання, що встановився, в розрахунковій точці  $K2$  (2.48):

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 31,23}{2} = 27,04 \text{ кА.}$$

Визначимо амплітудне значення ударного струму в точці  $K2$  за схемою заміщення (2.49). Для визначення значення ударного коефіцієнта необхідно знати відношення  $x/r$ , яке в даному випадку дорівнює 3,795. По довіднику [2] визначаємо значення коефіцієнта  $K_y = 1,15$ .

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,15 \cdot 31,23 = 50,78 \text{ кА.}$$

Діючи значення повного струму (2.50):

$$I_y = 31,23 \cdot \sqrt{1 + 2(1,15 - 1)^2} = 31,92 \text{ кА.}$$

Аналогічно прикладу визначаються струми короткого замикання і для розрахункових точок, що залишилися.

Приведемо порядок розрахунку однофазних (мінімальних) струмів короткого замикання на шинах низької напруги трансформаторних підстанцій і на введенні в розподільні пункти об'єктів підприємства по методу розрахунку в іменованих одиницях.

Струм однофазного к.з. на шинах НН ТП визначається згідно формули:

$$I_{\kappa i}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_{m.oi}}, \quad (2.51)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, рівна 220 В;

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$z_{m,oi}$  – розрахунковий опір трансформатора при однофазному короткому замиканні, визначається за довідковими даними [7], Ом.

Струм однофазного короткого замикання у споживача (на введенні в РП) визначається по формулі:

$$I_{ki}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_{m,oi} + z_{ni}}, \quad (2.52)$$

де  $z_{ni}$  – опір петлі фаза-нуль кабельної лінії, Ом. Визначається як добуток питомого опору петлі фаза-нуль на довжину лінії.

Як приклад покажемо розрахунок точки К6 (РП4).

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{0,22}{0,014 + (0,45 \cdot 0,197)} = 2,143 \text{ кА.}$$

Аналогічно цьому прикладу розраховуються однофазні струми КЗ в усіх точках схеми, що залишилися.

## 2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі на основі визначених розрахункових потужностей споживачів було спроектовано внутрішню та зовнішню заводську мережі електропостачання. На основі техніко-економічних розрахунків було вибрано двоколову повітряну лінію на напругу 10 кВ та одну двотрансформаторну підстанцію з розподільчим пристроєм 10 кВ, прибудовану до виробничого корпусу. За результатами техніко-економічного порівняння запропоновано встановити два трансформатори марки ТМ-1600/10 потужністю 1600 кВА, а для компенсації реактивної енергії – дві конденсаторні батареї марки УКЛН-0,38-450 потужністю 450 кВАр кожна. Також виконано вибір перерізів проводів внутрішньої та зовнішньої заводської мережі електропостачання за техніко-економічними показниками.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір і перевірка електрообладнання за умовами роботи в режимі короткого замикання

У даній необхідно вибрати електричні апарати (вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму і напруги, запобіжники) для комірок розподільного пристрою 10 кВ на трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ.

Електричні апарати повинні задовольняти наступним вимогам:

- ізоляція апарату відповідає номінальній напрузі установки:

$$U_{ном.ап} \geq U_{ном.уст}, \quad (3.1)$$

- робочий струм приєднання в максимальному режимі не перевищує номінальний струм апарату:

$$I_{ном.уст} \leq I_{ном.ап}, \quad (3.2)$$

- апарат протистоїть електродинамічній дії струму КЗ:

$$i_{уд.уст} \leq i_{пр.с}, \quad (3.3)$$

де  $i_{уд.уст}$  – ударний струм к.з. в колі, де встановлений апарат, кА;

$i_{пр.с}$  – номінальний струм електродинамічної стійкості апарату, кА,

- по термічній стійкості:

$$I_{ном.т.с.} \geq I_k^{(3)} \sqrt{\frac{t_n}{t_{ном.т.с.}}}, \quad (3.4)$$

де  $I_{ном.т.с.}$  – номінальна термічна стійкість вимикача, кА,

- граничний струм, що відключається вимикачами і запобіжниками, має бути більшим максимального струму короткого замикання в місці його встановлення:

$$I_{гр.відкл.вим.} \geq I_k^{(3)}, \quad (3.5)$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Довжанин О.С.			3 ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бабюк С.М.					37	19
Н. Контр.		Вакуленко О.О.			ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41			
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

- допустима гранична потужність вимикача має бути більше потужності КЗ в місці встановлення вимикача:

$$S_{гр.відкл.} \geq S_k, \quad (3.6)$$

- навантаження вторинних кіл для трансформаторів струму і напруги не повинно перевищувати номінальне (при заданому класі точності):

1) для трансформаторів струму:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (3.7)$$

2) для трансформаторів напруги:

$$S_2 \leq S_{2ном}. \quad (3.8)$$

Зробимо вибір обладнання частини схеми електропостачання, наприклад, ділянки «лінія 10 кВ, трансформатор ТП2, лінія 0,38 кВ».

### **Вибір вимикача навантаження**

Виконаємо перевірку вакуумного вимикача *ВНПЗ-10* із заземлюючим ножом, що планується встановити на введенні в ТП по (3.1), (3.2):

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$100 > 63,09 \text{ А},$$

- по електродинамічній стійкості  $i_{ном.у} > i_{уд}$ :

$$52 \text{ кА} > 7,361 \text{ кА},$$

- по термічній стійкості (3.4):

$$20 > 4,732 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{20}}, \quad 20 > 0,473,$$

- по комутаційній здатності:

$$I_{ном.відкл.} \geq I_k^{(3)}, \quad (3.9)$$

де  $I_{ном.відкл.}$  – номінальний струм відключення, кА [5].

$$20 > 4,732.$$

Таким чином, вибраний вимикач задовольняє усі вимоги.

### **Вибір трансформаторів струму**

Трансформатори струму перевіряються за умовами (3.1) (3.2).

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіримо ТС, встановлені на шинах ТП 0,4 кВ, типу ТНШЛ-0,66:

$$660 \text{ В} > 380 \text{ В};$$

$$2000 \text{ А} > 1660,29 \text{ А}.$$

Перевірка по динамічній стійкості:

$$K_{\text{дин}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n \geq i_{y.p}, \quad (3.10)$$

де  $K_{\text{дин}}$  – коефіцієнт кратності динамічної стійкості [6].

$$114 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,154 > 50,78 \text{ кА};$$

$$508,48 \text{ кА} > 50,78 \text{ кА}.$$

Перевірка по термічній стійкості:

$$\frac{I_k^{(3)} \cdot \sqrt{t_n}}{I_{n.TC} \cdot \sqrt{t_{m.c}}} < K_{m.c}, \quad (3.11)$$

де  $I_{n.TC}$  – номінальний первинний струм трансформатора струму, А [5];

$t_{m.c}$  – час термічної стійкості, з [6];

$K_{m.c}$  – кратність односекундного струму термічної стійкості [6].

$$\frac{31230 \cdot \sqrt{0,15}}{2000 \cdot \sqrt{3}} < 45;$$

$$3,49 < 45.$$

Згідно з умовами приймаємо трансформатори струму типу ТНШЛ-0,66.

### **Вибір високовольтних запобіжників**

Запобіжники вибираються за умовами (3.1), (3.2), (3.5), а також по номінальному струму плавкої вставки [3]:

$$I_{\sigma} \geq I_p, \quad (3.12)$$

де  $I_p$  – робочий струм кола, що захищається запобіжником, з урахуванням коефіцієнта надійності (рівного 1,5), А.

Невиконання цих вимог може привести до збільшення часу горіння дуги і до руйнування запобіжника.

Приклад розрахунку вибору запобіжників для ТП:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$100 > 63,09 \text{ А.}$$

По граничному відключаючому струму цей запобіжник необмежений.

По номінальному струму плавкої вставки (3.12):

$$100 > (63,09 \cdot 1,5 = 94,63) \text{ А.}$$

Приймається запобіжник ПКТ-10 з номінальним струмом 100 А, номінальним струмом плавкої вставки 100 А.

### ***Вибір автоматичних вимикачів низької напруги***

Оскільки на відходящих лініях 0,38 кВ встановлюємо автоматичні вимикачі з комбінованими розчеплювачами, то їх необхідно перевірити за умовами (3.1) (3.2) (3.9). Застосуємо автомати марки «Електрон» (на шинах 0,38 кВ трансформаторній підстанції) і ВА-51 (на відходящих лініях).

Зробимо перевірку автоматичного вимикача на шинах 0,38 кВ ТП.

За умовами (3.1) і (3.2) приймаємо вимикач типу Э25:

$$660 > 380 \text{ кВ;}$$

$$2500 > 1660,29 \text{ А.}$$

Перевіримо вимикач по комутаційній здатності (3.11):

$$65 \text{ кА} > 31,23 \text{ кА.}$$

По струму розчеплювача:

$$2500 \text{ А} > (1,3 \cdot 1660,29 = 2158,37) \text{ А.}$$

Вибір автоматичних вимикачів низької напруги на відходящих лініях від шин трансформаторної підстанції представлений в табл. 2.8.

Таблиця 3.1 – Вибір автоматичних вимикачів

Марка обладнання	Місце встановлення	Дані мережі		Каталожні дані		
		$U_n,$ кВ	$I_p,$ А	$U_n,$ кВ	$I_n,$ А	$I_{н.р},$ кА
Э25	ТП	0,4	1660,29	0,66	2500	2500
ВА-51-37	ТП - РП3	0,4	305,70	0,4	400	400
ВА-51-39	ТП - РП1	0,4	372,78	0,4	630	500
ВА-51-25	ТП - РП5	0,4	12,37	0,4	25	20
ВА-51-33	ТП - РП2	0,4	112,2	0,4	160	160
ВА-51-25	ТП - РП6	0,4	1,54	0,4	25	6,3
ВА-51-33	ТП - РП4	0,4	109,2	0,4	160	160

## 3.2 Захист мереж від аварійних режимів

При виконанні цього розділу необхідно вибрати тип захисту від аварійних режимів для усіх елементів мережі (кабельних ліній 10 кВ, трансформаторів 10/0,38 кВ, кабельних ліній 0,38 кВ).

### 3.2.1 Максимальний струмовий захист і струмова відсічка

Пристрої релейного захисту і автоматики (РЗА) повинні забезпечувати мінімально можливий час відключення короткого замикання, необхідну селективність і чутливість, надійну роботу електричної системи. Для захисту КЛ-10 кВ від струмів короткого замикання зазвичай застосовують максимальний струмовий захист (МСЗ), виконаний на реле типу РТВ, і струмову відсічку (СВ), виконаною на реле типу РТМ. По можливості слід застосовувати схеми захисту з реле прямої дії і на оперативному змінному струмі. Після вибору схеми захисту визначається коефіцієнт трансформації трансформаторів струму. Номінальний первинний струм трансформатора струму має бути більшим максимального робочого струму лінії.

Мінімальне значення струму спрацювання захисту з витримкою часу на реле РТВ:

$$I_{c.з.1} \geq \frac{K_n \cdot K_{c.n.}}{K_n} \cdot I_{p.max}, \quad (3.13)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт надійності спрацювання реле,  $K_n = 1,3 \div 1,4$ ;

$K_n$  – коефіцієнт повернення реле  $K_n = 0,6 \div 0,8$ ;

$K_{c.n.}$  – коефіцієнт самозапуску, рівний 1,1.

Максимальне значення струму спрацювання захисту з витримкою часу:

$$I_{c.з.2} \leq \frac{I_{\kappa}^{(3)} \cdot 1000}{K_{\psi} \cdot n_{TC}}, \quad (3.14)$$

де  $K_{\psi}$  – коефіцієнт чутливості,  $K_{\psi} = 1,5$  для МСЗ в основній зоні;

$n_{TC}$  – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Струм спрацювання захисту вибирається з умови:

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{c.з.1} \leq I_{c.з.} \leq I_{c.з.2} \quad (3.15)$$

Струм спрацьовування реле захисту:

$$I_{c.р.} = \frac{I_{c.з.} \cdot K_{cx}}{n_{TC}}, \quad (3.16)$$

де  $K_{cx}$  – коефіцієнт схеми, приймаємо рівним 1.

По каталогу [8] визначається струм уставки реле і уточнюється струм спрацьовування захисту:

$$I_{c.з.} = \frac{I_{y.p.} \cdot n_{TC}}{K_{cx}} \quad (3.17)$$

Коефіцієнт чутливості захисту:

$$K_{\nu} = \frac{I_{\kappa}^{(3)} \cdot 1000}{I_{c.з.} \cdot n_{TC}} \quad (3.18)$$

Отримане значення коефіцієнта чутливості має бути більше значення 1,5, інакше струм спрацьовування захисту необхідно перерахувати на менше значення.

Струм спрацьовування струмової відсічки вибирається по умові:

$$I_{c.з.в.} \leq \frac{I_{\kappa}^{(3)}}{1,8 \cdot n_{TC}} \quad (3.19)$$

Струм спрацьовування реле відсічки:

$$I_{c.р.в.} = \frac{I_{c.з.в.} \cdot K_{cx}}{n_{TC}} \quad (3.20)$$

За каталожними даними вибирається найближча більша уставка реле.

Далі уточнюється струм спрацьовування відсічки:

$$I_{c.з.в.} = \frac{I_{y.p.} \cdot n_{TC}}{K_{cx}} \quad (3.21)$$

Приведемо розрахунок релейного захисту повітряної лінії 10 кВ, що живить трансформаторну підстанцію.

Мінімальне значення струму спрацьовування захисту з витримкою часу, визначимо по формулі (3.13):

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{c.з.1} = \frac{1,35 \cdot 1,1}{0,7} \cdot 63,09 = 133,84 \text{ А.}$$

Максимальне значення струму спрацьовування захисту з витримкою часу визначається по формулі (3.14):

$$I_{c.з.2} = \frac{4,732 \cdot 1000}{1,5 \cdot 12,6} = 250,37 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування захисту вибираємо з умови (3.15):

$$I_{c.з.} = \frac{133,84 + 250,37}{2} = 192,11 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування реле захисту визначимо з виразу (3.16):

$$I_{c.p.} = \frac{192,11 \cdot 1}{12,6} = 15,246 \text{ А.}$$

Згідно [8] приймаємо стандартний струм вставки реле рівний 16 А.

Уточнимо струм спрацьовування захисту (3.17):

$$I_{c.з.} = \frac{16 \cdot 12,6}{1} = 201,6 \text{ А.}$$

Коефіцієнт чутливості захисту при цьому буде рівний, (3.18):

$$K_q = \frac{4732}{201,6 \cdot 12,6} = 1,863.$$

Отримане значення коефіцієнта чутливості більше значення 1,5, що означає про правильний підбір МСЗ.

Далі визначимо параметри струмової відсічки на реле РТМ.

Струм спрацьовування струмової відсічки вибираємо по умові (3.19):

$$I_{c.з.в.} = \frac{4,732 \cdot 1000}{1,8 \cdot 12,6} = 208,6 \text{ А.}$$

Визначимо струм спрацьовування реле відсічки (3.20):

$$I_{c.p.в.} = \frac{208,6 \cdot 1}{12,6} = 16,55 \text{ А.}$$

За каталожними даними [8] вибираємо найближчу велику стандартну уставку реле, рівну 17,5 А.

Уточнимо струм спрацьовування відсічки за виразом (3.21):

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{c.з.в.} = \frac{17,5 \cdot 12,6}{1} = 220,5 \text{ А.}$$

Захист ліній напругою 0,38 кВ від аварійних режимів виконується автоматичними вимикачами. У пункті 3.1 автоматичні вимикачі вибиралися по умові відповідності номінальному струму комбінованого розчеплювача розрахунковому струму навантаження, зараз необхідно перевірити їх по умові відключення однофазних замикань у кінці лінії 0,38 кВ:

$$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{н.р.}} \geq 3. \quad (3.22)$$

Проведемо перевірку автоматичного вимикача ВА-51-37 кабельної лінії 0,38 кВ, що живить РПЗ:

$$\frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{н.р.}} = \frac{12,85}{400} = 32,13$$

Оскільки коефіцієнт чутливості більше 3, то умова (3.33) виконується. Таким чином, вибір автоматичного вимикача з розчеплювачем виконаний правильно. По цьому порядку здійснюємо вибір апарату захисту для інших ліній 0,38 кВ. Результати розрахунків зводимо в табл. 2.9.

Таблиця 3.2 – Розрахунок захисту ліній 0,38 кВ

Ділянка	$I_{\kappa}^{(1)}$ , кА	Тип автомата	$I_{н.р.}$ , А	$K_{\zeta}$
ТП	15,714	Э25	2500	6,286
ТП - РПЗ	12,85	ВА-51-37	400	32,13
ТП - РП1	15,714	ВА-51-39	500	31,43
ТП - РП5	0,5963	ВА-51-25	20	29,81
ТП - РП2	10,837	ВА-51-33	160	67,73
ТП - РП6	0,260	ВА-51-25	6,3	41,25
ТП - РП4	2,1432	ВА-51-33	160	13,4

### 3.2.2 Захист знижувального трансформатора

Для захисту силових трансформаторів пропонується використати пристрій, з підвищеною чутливістю до коротких замикань.

В графічній частині проекту зображена структурна схема пристрою для захисту знижувального трансформатора з одностороннім живленням, а також – структурна схема блоку гальмівного сигналу.

Пристрій для захисту знижувального трансформатора з одностороннім живленням містить трансформатори ТА1 і ТА2 струму, перший 1 і другий 2 проміжні погоджувальні трансформатори, фільтр 3 промислових частоти, перший перетворювач 4 сигналів, перший диференціюючий елемент 5, фільтр 6 вищих гармонік, другий перетворювач 7 сигналів, другий диференціюючий елемент 8, блок 9 анцапфного перемикача, блок 10 гальмівного сигналу, третій перетворювач 11 сигналів, третій диференціюючий елемент 12, випрямляч 13, блок 14 «ЗАБОРОНА», пороговий елемент 15, вихідний блок 16. Блок 10 гальмівного сигналу містить ключ 17 і одновібратор 18.

Пристрій працює таким чином.

У нормальному режимі роботи під дією струму навантаження у вторинних обмотках трансформаторів ТА1 і ТА2 струму протікають струми, які в проміжних трансформаторах 1 і 2 відповідно перетворюються в напругу. З виходу першого проміжного трансформатора 1 змінна синусоїдальна напруга поступає через фільтр 3 промислових частоти, в якому з напруги виділяється перша гармоніка, на перетворювач 4 сигналів, де відбувається перетворення напруги змінного струму в постійну. Перший диференціюючий елемент 5 пропускає тільки змінну напругу і, тому сигнал на дозволяючому вході блоку 14 "ЗАБОРОНА" відсутній.

З виходу другого проміжного трансформатора 2 напруга змінного струму подається на третій перетворювач 11 сигналів, в якому також напруга змінного струму перетвориться в постійну, оскільки третій диференціюючий елемент 12 також пропускає тільки змінну напругу, то на третьому заборонному вході блоку 12 "ЗАБОРОНА", підключеному через випрямляч 13 до виходу диференціюючого елемента 12, сигнал відсутній.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При збільшенні струму навантаження і зовнішніх коротких замиканнях в силовому колі з'являється аперіодична складова струму і тому на виходах перетворювачів 4 і 11 сигналів відбувається зміна рівня напруги від менших значень до великих, внаслідок чого на виходах першого і третього диференціюючих елементів 5 і 12 з'являються короткі імпульси напруги. Проте на виході блоку 14 "ЗАБОРОНА" залишається нульовий потенціал, оскільки напруга з виходу третього диференціюючого елементу 12 через випрямляч 13 подається на замикаючий вхід блоку "ЗАБОРОНА".

Якщо коротке замикання відбувається в силовому трансформаторі TV1 і імпульс напруги утворюється тільки на виході першого диференціюючого елементу 5, то на дозволяючий вхід блоку 14 "ЗАБОРОНА" подається сигнал, що призводить до спрацьовування останнього. З виходу блоку 14 "ЗАБОРОНА" напруга поступає на пороговий елемент 15, детектор перетину нульового рівня, а з виходу останнього сигнал з фіксованою амплітудою подається на вихідний блок 16, з виходу якого напруга подається в коло відключення комутаційного апарату. Для виключення неправдивих спрацьовувань захисту при кидках струму намагнічення в схему пристрою введені фільтр 6 вищих гармонік, перетворювач 7 сигналів і диференціюючий елемент 8. При кидках струму намагнічення в силовому колі з'являється аперіодична складова струму, що містить в собі першу і вищі гармоніки струму, внаслідок чого на виходах першого і другого диференціюючих елементів 5 і 8 з'являються короткі імпульси напруги. Проте спрацьовування блоку 14 "ЗАБОРОНА" не відбувається, оскільки з виходу диференціюючого елементу 10 сигнал подається на його замикаючий вхід. Блок 10 формує гальмівний сигнал в режимі переключення пристроїв регулювання напруги під навантаженням (БПН). Даний блок працює таким чином. При перемиканні перемикача 9 поступає сигнал, що запускає одинвібратор 18. У момент перемикання пристрою РПН в силовому колі з живлячого боку трансформатора виникає кидок струму, внаслідок чого на виході блоку 4 з'являється сигнал, що поступає на силовий вхід ключа 17

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

блоку 10. При спрацьовуванні одновібратора 18 ключ 17 відкривається і на другий заборонний вхід блоку 14 "ЗАБОРОНА" поступає гальмівний сигнал, що забороняє відключення комутаційного апарату. Час роботи одновібратора вибирається більшим постійної часу диференціюючого елементу 5 для виключення неправдивого спрацьовування захисту. Випрямляч 13 призначений для зрізування сигналу негативної полярності, що виникає на виході диференціюючого елементу 12 під час переходу рівня напруги на виході перетворювач сигналів 11 від більшої величини до меншої. Для виключення неправдивого спрацьовування захисту постійна часу другого 8 і третього 12 диференціюючих елементів вибирається дещо більшою за постійну час першого диференціюючого елементу 5.

В якості одновібратора пропонується використати одновібратор на операційному підсилювачі, схема якого представлена в графічній частині проекту і рис. 3.1. Такий одновібратор, або інакше релаксаційний генератор (релаксатор), відноситься до класу спускових пристроїв і заснований на застосуванні підсилювачів з позитивним зворотним зв'язком. На відміну від тригерів, що мають два стани стійкої рівноваги, релаксатор має не більше за один стан. Крім того, він має стан квазірівноваги, що характеризується порівняно повільними змінами струмів і напруги, що призводять до деякого критичного стану, при якому створюються умови для стрибкоподібного переходу релаксатора з одного стану в інший. У одновібратора перехід із стану стійкої рівноваги в стан квазірівноваги відбувається під впливом зовнішнього запускаючого імпульсу, а зворотний перехід – мимоволі після закінчення деякого часу, визначуваного параметрами пристрою. Таким чином, одновібратор генерує один імпульс з певними параметрами при дії запускаючого імпульсу.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



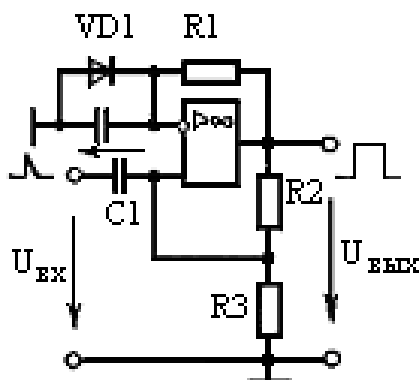


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема одновібратора на операційному підсилювачі

Припустимо, що вхідна напруга одновібратора рівна  $U_{вих.min}$  (рис. 3.2). Тоді на інверсному вході (на конденсаторі C1) напруга  $u_+$  рівно прямій напрузі відкритого діода VD1 і близька до нуля. На прямому вході напруга негативна і рівна:

$$u_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{вих.min} \quad (3.23)$$

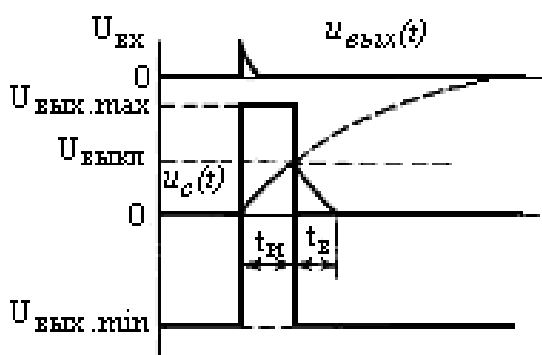


Рисунок 3.2 – Тимчасові діаграми одновібратора на операційному підсилювачі

Якщо на прямий вхід поступає короткий вхідний позитивний імпульс напруги, амплітуда якої не менше  $\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{вих.min}$ , то тригер Шмітта стрибком переходить в протилежний стан і  $u_{вих} = U_{вих.max}$ . Тоді і конденсатор

C1 починає заряджатися через резистор R1, при цьому напруга на ньому, рівна  $u_-$ , прагне до  $U_{вих.max}$  по експоненті. При  $u_- = U_{викл}$  відбувається зворотнє перемикання тригера Шміта, а конденсатор C1 починає перезаряджатися від  $U_{викл}$  до  $U_{вих.min}$ . Проте, коли напруга на конденсаторі  $u_C = u_-$  стає приблизно рівною нулю, відкривається діод VD1 і подальшої зміни напруги  $u_C$  не відбувається. Таким чином, одини́братор повертається в початковий стан після появи на виході поодинокого прямокутного імпульсу  $u_{вих}(t)$ . Тривалість імпульсу одини́братора не залежить від тривалості вхідного імпульсу, якщо вона менше  $t_i$ . Через час  $t_v$  одини́братор готовий до прийому наступного імпульсу.

Пропонований пристрій для захисту знижувального трансформатора з одностороннім живленням може бути використаний і для захисту трансформатора, що містить декілька вторинних обмоток. При цьому на кожен вторинну обмотку встановлюється трансформатор струму, а в схему пристрою додається проміжний трансформатор, перетворювач сигналів, диференціюючий елемент і випрямляч. При цьому відповідно збільшується кількість забороняючих входів блоку "ЗАБОРОНА".

### 3.3 Швидкодіючий пристрій автоматичного перемикання джерел живлення

Пропонований пристрій може бути використаний в пристроях автоматичного перемикання навантаження з одного джерела живлення на інше, і встановлюватися на підприємстві, наприклад, в трансформаторних підстанціях. Метою його застосування є поліпшення якості напруги, що подається споживачам, і підвищення надійності їх електропостачання.

У графічній частині проекту приведена структурна схема швидкодіючого пристрою автоматичного перемикання джерел живлення і функціональна схема логічного блоку пристрою.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрій містить підключену до джерел 1 і 2 живлення через датчики A1 і A2 струму і блоки VS1 і VS2 силових тиристорів, що мають вбудовану систему контролю відмов типу пробою, секцію 3 шин гарантованого живлення з клемми для підключення навантаження, датчики A3, A4 і A5 напруги, контролюючі напругу відповідно на джерелі живлення 1, джерелі живлення 2 і секції шин гарантованого живлення 3, датчик A6 порівняння напруги, підключений до датчиків A3 і A4 напруги, і логічний блок 4, що керує через блок 5 і 6 керування силовими тиристорами блоками силових тиристорів VS1 і VS2.

Логічний блок 4 містить п'ять елементів «НЕ» DD1 - DD5, чотири елементи «І» DD6 - DD9, вісім елементів «АБО» DD10 - DD17, два елементи «АБО-НІ» DD18, DD19 і чотири кнопки SB1 - SB4 розблокування логічного блоку 4 після усунення відмов блоків силових тиристорів VS1 і VS2.

Пропонований пристрій працює наступним чином. Секція шин гарантованого живлення 3 отримує живлення через блок силових тиристорів VS1 від джерела живлення 1 або через блок силових тиристорів VS2 від джерела живлення 2. Вибір джерела живлення, до якого підключається секція шин гарантованого живлення 3, здійснюється логічним блоком 4 на підставі інформації, що отримується від датчиків A3, A4 і A5 напруги, датчика A6 порівняння напруги, датчиків A1 і A2 струму і вбудованих систем контролю відмов силових тиристорів типу пробій блоків силових тиристорів VS1 і VS2.

Контроль напруги на джерелі живлення 1 і 2 виконується за допомогою датчиків A3 і A4 напруги, які видають на виходах сигнал логічної одиниці, якщо контрольована напруга знаходиться в допустимих межах. Якщо контрольована напруга будь-якої з фаз виходить за межі допуску ( $\Delta U > 10\%$ ), то на виході датчиків A3 і A4 напруги формується сигнал логічного нуля із витримкою часу  $\Delta t_1$ , необхідною для того, щоб не відбувалося перемикання при короткочасних кидках напруги.

Контроль напруги на секції шин гарантованого живлення 3 здійснюється за допомогою датчика A5 напруги, який працює аналогічно

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчикам А3 і А4 напруги. Межі допуску відхилення напруги, при якій відбувається спрацьовування датчика А5 напруги, встановлена на декілька процентів більше, ніж у датчиків А3 і А4 напруги, а затримка часу генерування сигналу логічного нуля складає  $\Delta t_2 > \Delta t_1$ , причому різниця  $\Delta t_2 > \Delta t_1$  залежить від швидкодії логічного елементу «НЕ» DD3 і потрібна для усунення хибного спрацьовування системи контролю відмов силових тиристорів типу обрив, виконаною на елементах «І» DD7, DD8 і «АБО» DD13, DD14.

Датчик А6 порівняння напруги, підключений до датчиків А3 і А4 напруги, має два виходи і робить порівняння напруги джерел живлення 1 і 2. Датчик А6 порівняння напруги формує сигнал логічної одиниці на першому виході А6.1 і сигнал логічного нуля на другому виході А6.2, якщо відхилення напруги від номінального значення джерела живлення 1 менше, а джерела живлення 2 більше і різниця між напругою джерел живлення 1 і 2 більше визначеного, наперед заданого значення  $\Delta U'$ . Значення  $\Delta U'$  розраховується і встановлюється індивідуально для кожної мережі. Якщо ж відхилення напруги від номінального значення джерела живлення 1 більше, а джерела живлення 2 менше і різниця між напругою джерел живлення 1 і 2 також більше  $\Delta U'$ , то сигнали на виходах А6.1 і А6.2 міняються на зворотні. У разі, якщо різниця між напругами джерел живлення 1 і 2 менше  $\Delta U'$ , то на обох виходах датчика А6 порівняння напруги формуються сигнали логічного нуля. Поява на обох виходах датчика А6 порівняння напруги сигналів логічної одиниці неприпустимо.

Датчики А1 і А2 струму роблять контроль струму в кожній фазі джерел живлення 1 і 2. Датчики А1 і А2 видають на перших виходах А1.1 і А2.1 сигнал логічного нуля при струмі в усіх фазах менше мінімального струму навантаження, а сигнал логічної одиниці в інших випадках із витримкою часу  $\Delta t_3 > \Delta t_2$ , причому  $\Delta t_3 - \Delta t_2 = \Delta t_2 - \Delta t_1$ . Витримка часу  $\Delta t_3$  також потрібна для усунення неправдивого спрацьовування системи контролю відмов силових тиристорів. На других виходах А1.2 і А2.2 сигнал логічної одиниці

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

формується, якщо струм у будь-якій з фаз перевищить мінімальне значення струму короткого замикання, а сигнал логічного нуля формується у всіх інших випадках.

Включення блоків силових тиристорів VS1 і VS2 відбувається через блоки 5 і 6 керування силовими тиристорами сигналом логічної одиниці, генерованої логічним блоком 4 на підставі сигналів від датчиків. Сигнал логічного нуля на виході логічного блоку 4 є сигналом на відключення блоків силових тиристорів VS1 і VS2. Блоки 5 і 6 керування силовими тиристорами мають електричне блокування одночасного включення блоків силових тиристорів VS1 і VS2.

Розглянемо роботу логічного блоку 4 в різних режимах роботи мережі. Припустимо, що на джерелах живлення 1 і 2 номінальна напруга. Припустимо також, що секція шин гарантованого живлення 3 отримує живлення від джерела живлення 1 через блок силових тиристорів VS1.

При відхиленні напруги від номінального значення на джерелі живлення 1 більше, ніж на  $\Delta U'$  в порівнянні з джерелом живлення 2, на елемент «НЕ» DD2 поступить сигнал логічної одиниці ("1") і відповідно на перший вхід елемента «АБО» DD10 (нумерація входів логічних елементів зверху вниз) поступить сигнал логічного нуля ("0"). На виході елемента «АБО» DD10 сформується "0" (на другому вході елемента «АБО» DD10 "0", якщо блок силових тиристорів VS2 виправлений), який поступає на третій вхід елемента «І» DD6. На виході останнього також "0", який через елемент «АБО» DD11 поступить на блок керування силовими тиристорами 5. Як тільки силові тиристори усіх фаз блоку силових тиристорів VS1 відключаються, на вході елемента «НЕ» DD5 з'явиться "0" і відповідно на другому вході елемента «І» DD9 буде "1". На інших входах елемента «І» DD9 також "1" і тому на його виході виробляється "1". На виході елемента «АБО» DD17 буде "1" і блок силових тиристорів VS2 включиться. Секція шин гарантованого живлення 3 отримає живлення від джерела живлення 2.

Розглянемо один з аварійних режимів роботи пристрою.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Припустимо, живлення секції шин гарантованого живлення 3 здійснювалося від джерела живлення 1 і сталася відмова типу обрив силових тиристорів в одній з фаз блоку силових тиристорів VS1. Через час  $\Delta t_2$  на вхід елемента «НЕ» DD3 поступить "0" і відповідно на другому вході елементу «І» DD7 з'явиться "1".

На першому і третьому входах елементу «І» DD7 також "1" і тому на виході елементів «І» DD7 і «АБО» DD12 буде "1", яка поступить в систему сигналізації, а також заблокує елемент «АБО» DD12 і поступить на елемент «АБО-НЕ» DD18. На четвертому вході елементу «І» DD6 буде "0", і блок силових тиристорів VS1 відключиться, а блок силових тиристорів VS2 включиться. Живлення секції шин гарантованого живлення 3 буде здійснюватися від джерела живлення 2 при будь-якому відхиленні його напруги від номінального значення межах  $\pm \Delta U$ . Сигнал на включення блоку силових тиристорів VS1 не поступатиме до тих пір, поки оператор після усунення несправності не скине "1" з другого входу елементу «АБО» DD12 кнопкою SB1. При цьому на третьому вході елементу «І» DD7 буде "0", оскільки блок силових тиристорів VS1 відключений, і тому на першому вході елементу «АБО» DD12 також буде "0". Після натиснення кнопки SB1 на виході елемента «АБО» DD12 встановиться "0", сигнал аварії скинеться, логічний блок 4 розблокується і продовжить роботу в нормальному режимі.

Усі нормальні і аварійні режими роботи пристрою представлені за допомогою таблиці істинності логічного блоку 4 (табл. 3.3).

У таблиці приведені логічні сигнали, що поступають на входи логічного блоку 4 і отримувані з його виходів. Таблиця складена для двох початкових режимів, коли включений блок силових тиристорів VS2 або коли включений блок силових тиристорів VS1 і якість напруги на джерелах живлення 1 і 2 однакова. Логічні сигнали для цих режимів приведені в рядках 1 і 7. В інших рядках приведені логічні сигнали, що отримуються після перемикачів при різних змінах початкового режиму, які вказані в графі "Режими роботи". У режимі "Коротке замикання у споживача" сигнали

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином, в порівнянні з існуючими пристроями запропонований пристрій має ряд переваг. По-перше, збільшена надійність електропостачання і якість електроенергії у споживачів за рахунок застосування додаткового датчика напруги і датчика порівняння напруги, що дозволяє підключати навантаження до джерела живлення з кращими показниками якості напруги. По-друге, збільшена надійність роботи самого пристрою за рахунок застосування системи контролю блоку силових тиристорів і елементів, що керують ними, що підвищує надійність електропостачання споживача.

### 3.4 Висновки до розділу 3

В даному розділі здійснено вибір та перевірку електрообладнання на стійкість до струмів короткого замикання. При проектуванні електричної мережі індивідуально розглядався кожен електроприймач для того, щоб зробити вибір надійної апаратури і обладнання. Для запобігання аварійних режимів мережі було передбачено пристроїв релейного захисту.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було запропоновано до встановлення максимальний струмовий захист та струмову відсічку для захисту кабельної лінії, а для захисту силового трансформатора пропонується використати пристрій з підвищеною чутливістю до коротких замикань.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Безпека і охорона праці при ремонті і обслуговуванні електрообладнання

Для виконання обов'язків електрика по ремонту і обслуговуванню електрообладнання допускаються особи старші 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання по спеціальних програмах в професійно-технічних учбових закладах, або на курсах чи в технічних школах, пройшли ввідний інструктаж по техніці безпеки та первинний інструктаж на робочому місці. Окрім цього пройшли навчання за 10-годинною програмою правил безпеки праці та здали екзамен.

Допуск до самостійної роботи в якості електрика здійснюється розпорядженням по службі сервісного обслуговування підприємства після ознайомлення з електрообладнанням, електричними схемами обслуговуваного підрозділу, його вивчення, після отримання практичних навичок в обслуговуванні і ремонті закріпленого електрообладнання, вивчення в необхідному об'ємі для своєї посади «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (далі по тексту ПТЕ і ПТБ), «Правил улаштування електроустановок», нормативних та експлуатаційних документів. Кожному працівнику, що успішно пройшло перевірку знань, видається посвідчення встановленої форми про перевірку знань з привласненням кваліфікаційної групи (II-V) по електробезпеці. Посвідчення надає право на обслуговування електроустановок в якості оперативно-ремонтного, ремонтного або оперативного персоналу. Під час виконання робіт електрик повинен мати цей документ при собі.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Довжанин О.С.			<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Бабюк С.М.					56	6
Консультант		Гурик О.Я.				ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41		
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

Електромонтер проходить щорічно медичний профогляд, теоретичне навчання за правилами техніки безпеки в об'ємі 10-годинної програми і перевірку знань з оформленням протоколу та записом в особистій картці інструктажу.

Повторні інструктажі електромонтер проходить двічі в рік з відміткою в особистій картці інструктажу з розписами працівника і майстра.

Позаплановий інструктаж за правилами ТБ проводиться у випадках:

- введення в дію нових або перероблених в установленому порядку інструкцій;
- порушення працівником правил ТБ;
- переведення на тимчасову роботу, що вимагає додаткових знань по ТБ;
- відсутності на роботі більше 30 днів з певних причин (хвороба, відпустка, відрядження).

Періодична перевірка знань ПТЕ і ПТБ у електромонтера проводиться і оформляється індивідуально в комісії, призначеній наказом по підприємству один раз в рік.

Особи, що допустили порушення ПТЕ і ПТБ піддаються позачерговій перевірці знань.

Позачергова перевірка знань проводиться також в наступних випадках:

- при незадовільній оцінці знань в терміни, встановлені кваліфікаційною комісією, але не раніше чим за два тижні;
- при переведенні на інші роботи;
- при введенні в дію нової редакції ПТЕ і ПТБ;
- на вимогу вищестоячої організації;
- на вимогу органів державного енергетичного нагляду.

Перед допуском до самостійної роботи в якості оперативно-ремонтного персоналу при обслуговуванні електроустановок позмінно, з метою вивчення оперативних електричних схем, посадової та експлуатаційної інструкцій, а також особливостей обладнання, електромонтер повинен стажуватися на робочому місці тривалістю не менше двох тижнів під керівництвом досвідченого

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівника. Допуск до стажування і до самостійної оперативної роботи оформляються розпорядженням по службі сервісного обслуговування підприємства. Допуск до роботи позмінно і закріплення за електромонтером електроустановок оформляються розпорядженнями по службі сервісного обслуговування підприємства. При оперативному обслуговуванні електроустановок напругою вище 1000 В в зміні електромонтер повинен мати кваліфікаційну групу по електробезпеці IV, при обслуговуванні електроустановок до 1000 В електромонтер повинен мати групу по електробезпеці не нижче III.

Оперативно-ремонтний електротехнічний персонал повинен працювати по графіку, затвердженому особою, відповідальною за електрогосподарство структурного підрозділу. У разі потреби з дозволу особи, що затверджує графік, допускається заміна одного електромонтера іншим.

Відповідно до ПТЕ і ПТБ, при оперативному обслуговуванні електроустановок позмінно, електромонтер має право здійснювати :

- спостереження за станом і режимом роботи усього електрообладнання;
- періодичний огляд електрообладнання;
- проводити в електроустановках і на обладнанні не передбачених планом невеликих за об'ємом робіт (згідно з переліком робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації);
- виконання оперативних перемикань;
- підготовку схем і робочих місць для ремонтних бригад, допуск їх до роботи, нагляд за ними під час роботи і відновлення схем після закінчення усіх робіт.

Електромонтер повинен виконувати тільки ту роботу, яка йому доручена і входить в його обов'язки.

Електромонтер працює, дотримуючись правил внутрішнього трудового розпорядку, виконуючи режим праці і відпочинку.

Електромонтер забезпечується спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту, згідно з галузевими нормами і зобов'язаний

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використати спецодяг і спецвзуття (костюм, взуття, каску, рукавиці, респіратор), що тільки відповідають технічним умовам.

В цілях забезпечення вимог пожежної безпеки електромонтер проходить двічі в рік інструктаж по пожежній безпеці. Проведення вогневих робіт при ремонті і обслуговуванні електрообладнання оформляється письмовим дозволом з умовою виконання протипожежних заходів.

Електромонтер, що виявив порушення правил ТБ, помітив несправність в обладнанні, повинен негайно повідомити про це безпосередньому керівникові (майстрові служби), а за його відсутності вищестоячому керівникові.

У разі травмування самого працівника або поруч працюючого, необхідно надати першу долікарську допомогу, негайно повідомити майстра служби і звернутися в медпункт.

Електромонтер зобов'язаний виконувати правила особистої гігієни. До роботи приступати в чистому справному спецодязі і спецвзутті. Пам'ятати, що палити і приймати їжу необхідно в спеціально відведеному для цього місці. Пити воду з фонтанчиків з поміткою "питна вода". Перед прийомом їжі ретельно помити руки і прополоскати порожнину рота.

У разі порушення правил ТБ і положень інструкції по безпеці праці, електромонтер несе відповідальність в порядку встановленому законодавством України та нормативними документами підприємства.

## **4.2 Організаційні заходи захисту персоналу підприємства**

Керування охороною праці на виробничих об'єднаннях і енергетичних підприємствах, організаціях здійснюється такими категоріями працівників:

- першими керівниками - у цілому, їхніми заступниками (головним інженерами) - безпосередньо;

- відділами (службами старшого інженера, інженерами) охорони праці, на які покладається організаційно-методична робота з керування охороною

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

праці і підготовка управлінських рішень (накази, розпорядження, інформаційні листи, вказівки ), а також здійснення контролю за їхньою реалізацією;

- посадовими особами відділів, служб, відповідальними за виконання задач керування охороною праці (відділи: виробничо-експлуатаційний, технічний, капітального будівництва, організації праці і заробітної плати, матеріально-технічний, планово-економічний, фінансовий, бухгалтерія);

- у підрозділах енергетичних підприємств, організацій (цехах, службах, виробничих ділянках) - керівниками відповідних підрозділів, а також старшими майстрами, майстрами, бригадирами і виконавцями робіт (керівниками робіт) при провадженні робіт в енергоустановках за нарядами-допусками.

Пропаганда питань охорони праці включає:

- проведення вступних інструктажів працівників, що поступають на роботу;

- навчання безпечним методам праці людей, що надходять на роботу з підвищеними вимогами безпеки праці;

- первинна перевірка знань з охорони праці й техніки безпеки експлуатації електроустановок, інструкцій, знань безпечних методів праці;

- проведення первинних інструктажів на робочому місці;

- дублювання повторних (планових) інструктажів, протиаварійних, протипожежних тренувань, планового навчання персоналу безпечним методам праці, періодичну (чергову) перевірку знань з охорони праці й техніки безпеки експлуатації електроустановок, інструкцій, знань безпечних методів праці.

Вимоги до персоналу: робітникам, що обслуговують електроустановки, повинна бути присвоєна група з електробезпеки, видане посвідчення установленної форми, яке вони зобов'язані мати при собі при провадженні робіт; в електроустановках вище 1000 В робітники з числа чергового чи

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оперативно-ремонтного персоналу, одноосібно обслуговуючі електроустановки, і старші по зміні повинні мати групу IV, інші - групу III.

Цивільний захист організують на всіх підприємствах, в установах та організаціях незалежно від форм власності й підпорядкування.

Завдання й обов'язки суб'єктів господарювання у сфері ЦЗ визначені в статті 20 КЦЗ. Так, до обов'язків суб'єктів господарювання належать, зокрема, такі:

- забезпечити працівників засобами індивідуального й колективного захисту;
- розмістити інформацію про заходи безпеки та відповідну поведінку у разі аварії;
- забезпечити працівників засобами індивідуального й колективного захисту; розмістити інформацію про заходи безпеки та відповідну поведінку у разі аварії;
- організувати і здійснити під час надзвичайних ситуацій евакуаційні заходи щодо працівників та майна; створити об'єктові формування ЦЗ, необхідну для їх функціонування матеріально-технічну базу та забезпечити готовність цих формувань до дій за призначенням тощо.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі бакалавра здійснено розробку системи електропостачання заводу теплоізоляційних матеріалів.

У першому розділі представлено загальну характеристику підприємства та описано технологічний процес виробництва теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто основні аспекти та вимоги до організації електропостачання промислових підприємств. На основі приведених даних виконано розрахунок необхідної кількості енергетичних ресурсів для забезпечення нормального функціонування виробництва.

У другому розділі на основі визначених розрахункових потужностей споживачів було спроектовано внутрішню та зовнішню заводську мережу електропостачання. На основі техніко-економічних розрахунків було вибрано двоколову повітряну лінію на напругу 10 кВ та одну двотрансформаторну підстанцію з розподільчим пристроєм 10 кВ, прибудовану до виробничого корпусу. За результатами техніко-економічного порівняння запропоновано встановити два трансформатори марки ТМ-1600/10 потужністю 1600 кВА, а для компенсації реактивної енергії – дві конденсаторні батареї марки УКЛН-0,38-450 потужністю 450 кВАр кожна. Також виконано вибір перерізів проводів внутрішньої та зовнішньої заводської мереж електропостачання за техніко-економічними показниками.

У третьому розділі виконано перевірку електрообладнання на стійкість до струмів короткого замикання. При проектуванні електричної мережі індивідуально розглядався кожен електроприймач для того, щоб зробити вибір надійної апаратури і обладнання. Для запобігання аварійних режимів мережі було передбачено пристроїв релейного захисту. В результаті виконання кваліфікаційної роботи було запропоновано до встановлення

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Довжанин О.С.						
Керівник		Бабюк С.М.					62	2
Н. Контр.		Вакуленко О.О.					ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41	
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

максимальний струмовий захист та струмову відсічку для захисту кабельної лінії, а для захисту силового трансформатора пропонується використати пристрій з підвищеною чутливістю до коротких замикань.

В четвертому розділі розглянуто питання безпеки і охорона праці при ремонті і обслуговуванні електрообладнання, а також здійснено розробку організаційних заходів захисту персоналу підприємства.

Використання всіх вище перелічених пристроїв і рекомендацій дозволяє створити економічно ефективну і надійну схему електропостачання заводу по виготовленню теплоізоляційних матеріалів.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия. Ч.1. Методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности «Электроснабжение» / Сост. В.И. Мошкин, Н.С. Деркач, Т.А. Стрижова. – Курган: Изд-во КГУ, 2005.
2. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. «Основи електропостачання», Національний університет «Львівська політехніка», 2005.
3. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. «Основи електроенергетики та електропостачання». Підручник – Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.
4. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991 г. – М.: Энергия, 1986 г. – 464 с.
5. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. Изд. 2-е переработ. М., “Энергия”, 1969. - 342с.
6. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258 ] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.
8. ДНАОП 0.00-2.32-2001 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
9. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. «Основи електропостачання», Національний університет «Львівська політехніка», 2005.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>		
Розробив		Довжанин О.С.					
Керівник		Бабюк С.М.				64	2
Н. Контр.		Вакуленко О.О.			ТНТУ, ФПТ, ЕТс-41		
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.					

10. Правила устройства электроустановок ПУЭ. 7-е изд., переработанное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 640 с.
11. Проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия. Ч.1. Методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности «Электроснабжение» / Сост. В.И. Мошкин, Н.С. Деркач, Т.А. Стрижова. – Курган: Изд-во КГУ, 2005.
12. Г.Я. Вагин, Н.Н. Головкин. Повышение надежности систем энергоснабжения промышленных предприятий путем сооружения собственных мини-ТЭЦ. Промышленная электроэнергетика и электротехника, № 1, 2006.
13. Когенерационная генераторная установка с газовым двигателем G3516B: техническое описание, 2009.
14. Справочник для проектирования электрического освещения. /Под ред. Г. М. Кноринга.- Л.: Энергия, 1976.- 384 с.
15. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
16. Комплектные распределительные устройства КРУ D – 12P: руководство по эксплуатации, Российская группа компаний «Таврида электрик», 2011.
17. М.А. Беркович Автоматика энергосистем / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 238 с.
18. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»,2007.
19. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

					КРБ 19-024.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65