

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Центр перепідготовки та післядипломної освіти

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Забезпечення надійності системи електропостачання
деревообробного цеху**

Виконав: студент VI курсу, групи ЕТмд-61
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

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

Керівник Сисак І.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Шелестовський Б.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » _____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Корюкова Сергія В'ячеславовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення надійності системи електропостачання деревообробного цеху

Керівник роботи Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1041

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. План цеху з нанесенням вибраного варіанта розподільчої мережі 1л. ф – А1

2. Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі 1л. ф – А1

3. Компенсація реактивної потужності 1л. ф – А1

4. Розрахунок струмів короткого замикання 1л. ф – А1

5. Однолінійна розрахункова схема мережі 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання ____ 202__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Проектно-конструкторський розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент

(підпис)

Корюков С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сисак І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Корюков С.В. Забезпечення надійності системи електропостачання деревообробного цеху. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ ім. І. Пулюя. ЦППО. Кафедра ЕІ, група ЕТмд-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2024.

Стор. – 80; рис. – 12; табл. – 22; креслень - ; джерел - 22; додатків - 4.

Розглядаються питання електропостачання деревообробного цеху промислового підприємства. Подано короткий опис технологічного процесу із зазначенням категорійності окремих споживачів за ступенем надійності та характеристики їхнього режиму роботи; розраховані трифазні навантаження виробничого обладнання цеху та освітлювального навантаження, потужність конденсаторних установок компенсації реактивної потужності; обраний трансформатор цехової КТП; визначено центр електричних навантажень, розглянуто конструктивне виконання та місце розміщення цехової КТП; розраховані електричні навантаження на стороні 10 кВ ТП, обрана кабельна лінія живлення 10 кВ; розглянуті два варіанти розподільної мережі – за магістральною та радіальною схемами, обладнання для намічених варіантів – шинопроводи, силові пункти, кабельні лінії, автоматичні вимикачі, запобіжники; проведено техніко-економічне порівняння двох варіантів та за його результатами обрано схему розподільчої мережі та виконано її розрахунок; розраховані струми КЗ; обрані запобіжники та автоматичні вимикачі. Побудовано однолінійну схему електропостачання та план цеху з нанесенням розподільчої мережі.

Аналіз небезпечних і шкідливих чинників у цеху і підстанції, розрахунок захисного заземлення розглянуто в підрозділі «Охорона праці». В підрозділі «Безпека в надзвичайних ситуаціях» виконані розрахунки стійкості деревообробного цеху в умовах радіоактивного забруднення та запропоновано заходи з її підвищення.

Ключові слова: надійність, система електропостачання, деревообробний цех, розрахункові навантаження, схеми мереж напругою до 1000 В, цехові трансформаторні підстанції, компенсація реактивної потужності.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
	1.1 Короткий опис технологічного процесу	8
	1.2 Огляд навчально-методичної літератури з питань забезпечення надійності систем електропостачання	11
	1.3 Методи визначення розрахункових навантажень	15
	1.4 Методика вибору числа та потужності цехових трансформаторів	16
	1.5 Рекомендації щодо вибору типу та конструктивного виконання ТП	17
	1.6 Порядок вибору варіантів схеми розподільчої мережі	18
2	РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	21
	2.1 Розрахунок трифазних електричних навантажень	21
	2.2 Розрахунок освітлювального навантаження	22
	2.3 Вибір числа та потужності цехових трансформаторів	24
	2.4 Визначення центру електричних навантажень. Вибір місця розташування цехової КТП	26
	2.5 Вибір типу і конструктивного виконання КТП	30
	2.6 Розрахунок електричних навантажень на стороні 10 кВ ТП, вибір живлячої кабельної лінії 10 кВ	30
	2.7 Вибір двох варіантів схеми розподільчої мережі	33
	2.7.1 Вибір розподільчих шинопроводів для магістральної схеми	33
	2.7.2 Вибір розподільчих шаф для радіальної схеми	41
	2.7.3 Вибір кабельних ліній	48
	2.8 Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі	51
3	ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	52
	3.1 Розрахунок струмів короткого замикання	52
	3.1.1 Розрахунок струмів КЗ в точці К1 (за вимикачем лінії на ШРА)	52

3.1.2 Розрахунок струмів КЗ в точці К2 (перед ШРА)	58
3.1.3 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.1 (перед найближчим електроприймачем)	61
3.1.4 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.2 (перед найвіддаленішим електроприймачем)	65
3.1.5 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.3 (перед найпотужнішим електроприймачем)	67
3.2 Вибір автоматичних вимикачів та запобіжників	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
4.1 Аналіз умов праці, небезпек та шкідливих факторів у цеху	69
4.2 Розрахунок захисного заземлення	71
4.3 Розрахунок стійкості в умовах надзвичайної ситуації	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78
ДОДАТКИ	1
Додаток А. Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі	2
Додаток Б. Вибір автоматичних вимикачів та запобіжників	16
Додаток В. Розрахунок заземлюючого пристрою деревообробного цеху	27
Додаток Г. Оцінка стійкості роботи деревообробного цеху до впливу радіоактивного забруднення і проникаючої радіації ядерного вибуху ...	31

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення надійності системи електропостачання деревообробного цеху - це критичний аспект для безперебійної роботи обладнання і виробничих процесів. Ось деякі ключові кроки для забезпечення цієї надійності:

- Резервне живлення: встановлення резервних джерел живлення, таких як дизельні генератори або акумуляторні системи, для запобігання перерв у подачі електроенергії у разі аварій або відключень;

- Системи регуляції напруги: використання систем автоматичного регулювання напруги для підтримання стабільності напруги у системі, що допомагає уникнути пошкоджень обладнання через напругові спади або підвищення;

- Моніторинг та планування обслуговування: постійний моніторинг стану обладнання та проведення планового технічного обслуговування, щоб уникнути можливих поломок;

- Заходи проти перенапруг: встановлення захисних пристроїв, таких як розрядники, для захисту від перенапруг, що можуть виникнути через блискавку або інші зовнішні фактори;

- Тренування персоналу та планування дій у надзвичайних ситуаціях: навчання персоналу ефективним заходам під час аварійних ситуацій та розроблення плану дій для швидкого відновлення роботи системи у разі виникнення проблем;

- Оновлення і модернізація обладнання: постійне оновлення системи електропостачання, щоб вона відповідала сучасним стандартам та технологіям, що сприяє зниженню ризиків аварій та підвищенню її надійності;

- Резервні запаси та запасні частини: збереження достатнього запасу необхідних матеріалів та запасних частин для швидкого усунення неполадок та відновлення роботи системи у найкоротший термін.

Тому, задача забезпечення надійності СЕП деревообробного цеху є актуальною [1, 2, 3].

Мета і завдання роботи Метою кваліфікаційної роботи магістра є забезпечення надійності СЕП деревообробного цеху.

Завдання:

1. Визначити розрахункові навантаження деревообробного цеху за розрахунковими активними та реактивними навантаженнями обладнання з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цеху.
2. Розрахувати центр електричних навантажень з метою визначення місця розташування цехової КТП.
3. Розрахувати схему внутрішньоцехового електропостачання. Вибрати число та потужності цехових трансформаторів, а також розрахувати втрати у ТП.
4. Розрахувати компенсацію реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехової ТП.
5. Розрахувати струми короткого замикання в мережі для перевірки правильності вибору перерізів провідників і вибору пристроїв захисту.

Об'єкт дослідження – процеси забезпечення надійності СЕП цеху.

Предмет дослідження – розробка заходів підвищення надійності роботи СЕП деревообробного цеху.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримало подальший розвиток застосування технічних заходів для забезпечення надійності СЕП цеху.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані технічні заходи дають змогу забезпечити надійність роботи електричного обладнання.

Апробація результатів. Результати досліджень Корюкова С.В. за темою кваліфікаційної роботи були представлені на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (6-7 грудня 2023 року), м. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (22 найменування).

Загальний обсяг текстової частини - 80 сторінок, 22 таблиці, 12 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Короткий опис технологічного процесу

Розглянутий у роботі деревообробний цех є одним із цехів промислового підприємства з виготовлення деталей із деревини для подальшого використання у основному виробництві. План розташування електроприймачів цеху представлений на рисунку 1.1 і включає столярну ділянку, розпилне відділення, камери сушіння сирової деревини, допоміжні приміщення.

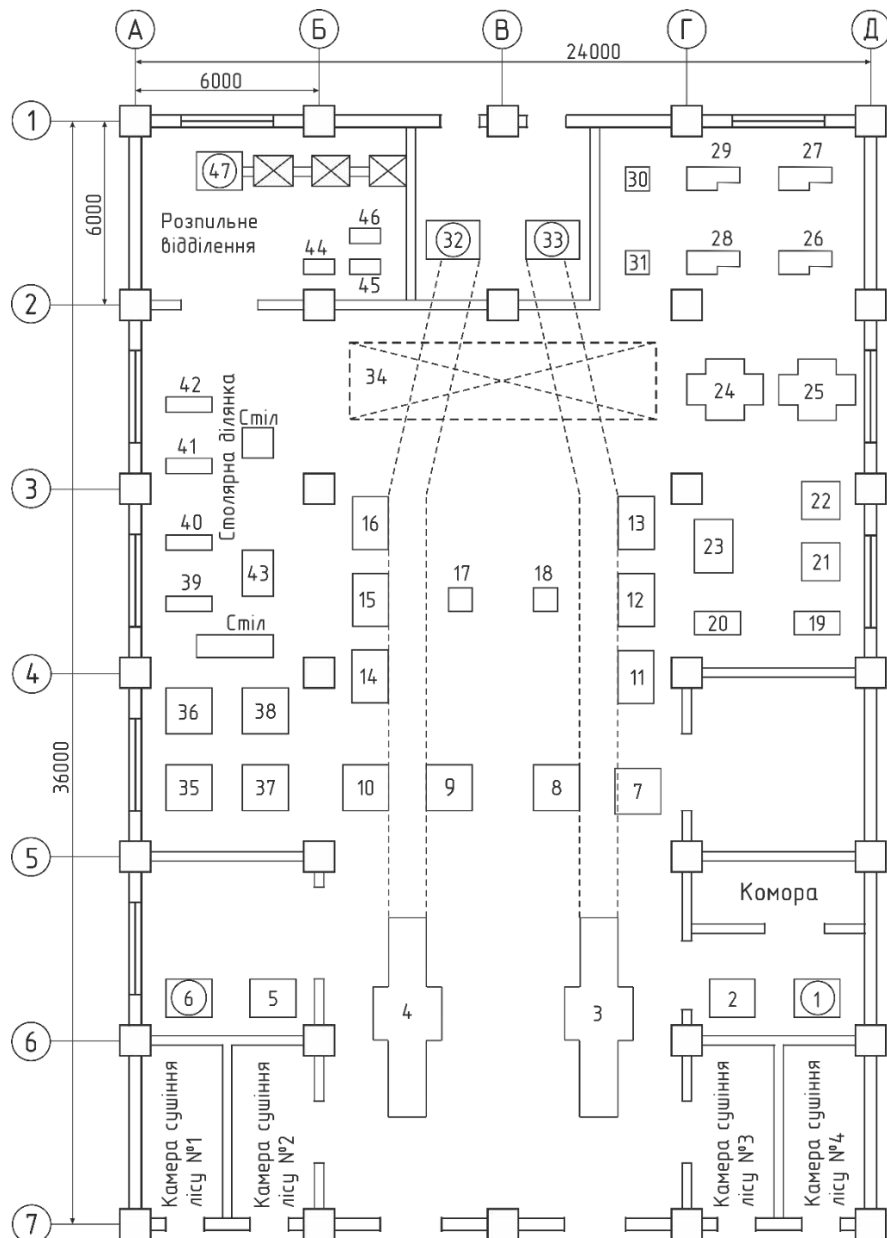


Рисунок 1.1 – План розташування електроприймачів деревообробного цеху

Встановлені потужності електроприймачів наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Електроустаткування цеху

№ на плані	Найменування ЕП	Номінальна потужність, $P_{ном}$, кВт
1; 6; 47	Вентилятор витяжний	7.5
2; 5	Високочастотна установка для сушіння деревини	70.0
3; 4	Лісопильна рама	30.0
7; 8; 9; 10	Електрорубанок	10.0
11; 12; 13	Циркулярно-маятникова пилка	4.0
14; 15; 16	Циркулярна пилка	3.0
17; 18	Механічний колун	4.0
19; 20	Заточувальний верстат	2.2
23; 43	Фугувальний верстат	4.0
21; 22	Шипорізний верстат	7.5
24; 25	Фрезерний верстат	4.0
26; 27; 28; 29	Комбінований деревообробний верстат	7.5
30; 31; 41; 42	Вертикально-свердлильний верстат	1.1
32; 33	Стружковий транспортер	22.0
34	Кран-балка на 3т	2.0+4.6+1.7
35; 36	Полірувальний верстат	1.1
37; 38	Круглошліфувальний верстат	2.2
39; 40	Рейсмусний верстат	4.0
44; 45; 46	Електронагрівальна плита	4.0

Різання деревини виконується різними методами: пилянням, фрезеруванням, струганням, свердлінням, довбанням, точінням і шліфуванням [4].

Пиляння – це процес розділення деревини пилкою на об'ємні недеформовані частини шляхом перетворення на стружку обсягу деревини між цими частинами. Пилорама (лісопильна рама) – верстат для поздовжнього розпилювання колод різних порід деревини на пиломатеріали.

Фрезерування – процес обробки матеріалу лезами, що обертаються, в результаті якого припуск знімається шляхом послідовного зрізання окремих серповидних стружок. Фрезерний верстат призначений для виконання різноманітних фрезерних робіт по дереву по напрямних лінійках з ручною подачею

(для виготовлення дошки для підлоги, плінтуса, вагонки, лиштви, фільонки та інших погонажних виробів).

Стругання - процес з прямолінійним поступальним рухом різання, при якому площина різання, поверхні різання та оброблена збігаються. Стругання проводиться на стругальних верстатах - фугувальних та рейсмусових. Фугувальний верстат призначений для зняття фасок під кутом і одностороннього прямолінійного стругання виробів з деревини по площині. Рейсмусовий верстат призначений для простругування заготовок розміром за товщиною.

Свердління та довбання виконуються спеціальними свердлами на свердлильних, свердлильно-пазувальних та довбурних верстатах. Довбання зазвичай проводиться довбурним інструментом для утворення в деревині отворів, головним чином для шипових з'єднань.

Шліфування деревини – це є процес зачистки оброблюваної поверхні різальними кромками абразивних зерен шліфувального ріжучого інструменту. Одним із видів шліфувальних верстатів є полірувальні.

Коефіцієнт використання потужності деревообробних верстатів 0,25 – 0,3.

Високочастотні сушильні камери на лампових генераторах застосовуються для забезпечення м'яких і нормальних режимів сушіння (бездефектне сушіння зі збереженням фізико-механічних властивостей деревини, у тому числі міцності та природного кольору).

Процес сушіння в полі струмів високої частоти характеризується значною швидкістю прогріву матеріалу і вельми інтенсивним випаром з нього вологи. Необхідне для випаровування вологи тепло не підводиться ззовні, а утворюється всередині матеріалу, що висушується, який поміщається в конденсатор генератора струмів високої частоти. Тепло виникає в результаті діелектричних втрат внаслідок поляризації молекул матеріалу, що здійснюють коливальні рухи. В теперішній час цей спосіб сушіння деревини застосовується в тих випадках, коли необхідно швидко висушити певну кількість матеріалу, коли при звичайній тепловій сушці виходить дефектна продукція або вдається знизити капітальні витрати за рахунок

різкого скорочення тривалості сушіння або експлуатаційні витрати за рахунок поточності виробництва.

Широкому використанню цього способу сушіння перешкоджають порівняно висока вартість обладнання і велика витрата електроенергії (2 - 3,5 кВт·год на 1 кг вологи, що випаровується), а також складність установки і необхідність кваліфікованого обслуговування.

Цех конструктивно є каркасною будівлею з колонами і стінами зі збірного залізобетону без перекриттів з дахом, покладеним по фермах. Ширина прольоту – 24 м. Крок колон усередині прольоту – 6 м. Як підйомно-транспортний засіб використовується кран-балка підвісна, вантажопідйомністю 3 т. Висота до низу ферми – 6 м. Підлога бетонна. Фугувальні, рейсмусові, стругальні, шипорізні, шліфувальні верстати встановлюються на гумометалевих віброізолюючих опорах типу ОВ-30.

Електричні навантаження цеху симетричні (мікрохвильові установки для сушіння деревини, плити електронагрівальні, асинхронні двигуни приводів верстатів, кранів) і споживають електричний струм 50 Гц 0,4 кВ.

Відповідно до поділу всіх електроприймачів за надійністю електропостачання на три категорії [5, п. 1.2.17 – 1.2.19] електроприймачі цеху можуть бути віднесені до III категорії і тому можуть отримувати живлення від одного джерела, із допустимими перервами у електропостачанні до однієї доби (для ремонту чи заміни елемента системи, що вийшов з ладу) [5, п. 1.2.20].

Електропостачання цеху забезпечує розподільчий пристрій 10 кВ головної понижувальної підстанції (ГПП-110/10), віддаленої від будівлі цеху на 2,15 км.

1.2 Огляд навчально-методичної літератури з питань забезпечення надійності систем електропостачання

В Україні вийшло в світ багато довідкової і особливо навчальної літератури, присвяченої питанням проектування електропостачання цехів промислових підприємств.

Посібники [2, 3] присвячені комплексу питань, пов'язаних з електропостачанням промислових підприємств, муніципальних об'єктів, окремих виробництв та виробничих підрозділів. Подані рекомендації щодо розрахунку електричних навантажень для різних категорій споживачів; компенсації зайвої реактивної потужності; улаштування електромереж, підстанцій; забезпечення надійності електропостачання. Значну увагу приділено питанням експлуатації систем із дотриманням правил безпеки.

На електронному ресурсі [4] описано призначення та основні характеристики обладнання, яке зазвичай використовується в деревообробних цехах, тобто є електроприймачами, живлення яких треба забезпечити в цій роботі. Розглянуті види верстатів для обробки деревини; детально описані: універсальне деревообробне обладнання, верстати для торцювання заготовок, строгальний (фугувальний) станок, призначення рейсмусу, розпилювальні верстати: верстат-лобзик, стрічковий тип розпилювання, циркулярна пила, можливості та особливості використання токарного верстата, фрезерувального обладнання.

У підручнику [6] розглянуто базові питання, пов'язані з управлінням електропостачанням промислових підприємств, правильним розподілом електричного навантаження, оптимальним розташуванням трансформаторних підстанцій з компенсацією реактивної потужності. Значну увагу приділено техніці безпеки та охороні праці на підприємствах промисловості.

У підручнику [7] розглянуті основи електропостачання - населених пунктів, промислових підприємств, житлових і громадських будинків. Крім теоретичних відомостей, викладено технічні характеристики, конструкцію, схеми основного обладнання, що застосовується в сучасних електропостачальних системах. Показане практичне застосування пристроїв управління, захисту, обліку електричної енергії, компенсації зайвої реактивної потужності.

У підручнику [8] наведені загальні відомості про виробництво, передачу і розподіл електроенергії, розглянуті: характеристики проводів, кабелів, вибір їх за припустимим довготривалим струмом; вибір автоматичних вимикачів та запобіжників. Описано використання і вибір електричної апаратури і

струмопровідних елементів розподільних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів і вимірювальних трансформаторів, розрахунок струмів короткого замикання і струмів замикання на землю та релейний захист. Також розглянуті сучасні методи автоматизації електричних станцій і підстанцій, захисту від атмосферних перенапруг, організація заземлення та розрахунок заземлюючих пристроїв.

У підручнику [9] розглянуто ключові питання систем електроенергетики та електропостачання, а саме: поняття про такі системи, їх компоненти та обладнання, схеми, основні положення теорії електричних навантажень, компенсації реактивної потужності, якості електроенергії, схем та конструкцій ліній, підстанцій систем електропостачання, сучасну інформацію про нове обладнання різних класів напруги, нормальні та аварійні режими, захист від перевантажень, КЗ, випадкових кидків струму й напруги та, найголовніше, персоналу від уражень електричним струмом, захист навколишнього середовища та підземних споруд.

У посібнику [13] наведені варіанти завдань, необхідні початкові дані, зміст, структура, вимоги щодо написання пояснювальної записки, оформлення графічної частини проекту системи цехового електропостачання. Для виконання кожного з розділів проекту студентів надаються потрібні теоретичні відомості, приклади відповідних розрахунків, таблиці та довідкові матеріали. Розглянуті найновіші методики розрахунків, додані корисні керівні вказівки. Певним чином вихід у світ цього видання, завдяки наявному довідковому матеріалу, позбавив здобувачів вищої освіти в галузях електротехніки та електромеханіки, інженерно-технічний персонал необхідності користуватися довідковою літературою радянського та російського видавництва.

У посібнику [20] викладені вимоги до побудови розділу охорони праці у кваліфікаційних роботах магістрів, рекомендації щодо змісту окремих підрозділів. Запропоновані методики розрахунків необхідних технічних засобів з питань охорони праці в енергетиці та корисні довідкові дані для розрахункового обґрунтування прийнятих рішень із цих питань.

У методичному посібнику [21] наведені вимоги до підрозділу кваліфікаційної роботи магістра «Безпека в надзвичайних ситуаціях», його структура та обсяг; наведені приклади розробки цього підрозділу.

У довіднику [22] викладені відомості про бойові властивості зброї масового ураження, характер їх впливу на роботу промислових об'єктів. Розглянуті основи стійкості роботи об'єктів національної економіки в особливий період, порядок дослідження та алгоритми оцінки стійкості роботи підприємств, їх структурних підрозділів до впливу вражаючих факторів ядерного вибуху. Доданий довідковий матеріал для розв'язання задач оцінки стійкості об'єктів, рекомендовані заходи для її підвищення.

Після уважного вивчення і аналізу цих джерел розроблений алгоритм проектування електропостачання електричних навантажень деревообробного цеху, в якому реалізовані найсучасніші методи проведення розрахунків та вибору обладнання, а також додані деякі нові ідеї, передусім пов'язані із зміненням нормативно-правової бази та появою сучасного електротехнічного обладнання.

1.3 Методи визначення розрахункових навантажень

У практиці проектування систем електропостачання напрацьовано багато різних методів визначення електричних навантажень.

Відповідно до рекомендацій щодо вибору методу визначення розрахункових навантажень з метою підвищення надійності системи електропостачання [2, 6, 7, 9]:

- при розрахунках навантажень за окремими групами електроприймачів до 1 кВ у цехових електромережах, а також для вибору трансформаторів цехової підстанції застосовується метод розрахункового коефіцієнту;

- при розрахунках усіх вищих щаблів електропостачання застосовується метод коефіцієнта попиту, у деяких випадках за питомими показниками;

- при розрахунках різко змінних навантажень рекомендується використовувати метод коефіцієнта форми;

- при розрахунку освітлювальних навантажень слід використовувати методи питомого навантаження на одиницю виробничої площі або коефіцієнту використання світлового потоку.

1.4 Методика вибору числа та потужності цехових трансформаторів

Вибір числа і потужності цехових трансформаторів виконується виходячи з потрібного ступеня надійності постачання електроприймачів, компенсації реактивної потужності в електромережах напругою до 1 кВ, перевантажувальної здатності трансформаторів у випадку переходу в аварійний режим.

Однотрансформаторні підстанції застосовують, як правило, (за наявності складського резерву) для споживачів II-ї та III-ї категорій надійності, та у випадку наявності в мережі споживачів I-ї категорії, якщо їх кількість не перевищує 20%.

Двотрансформаторні підстанції доцільно застосовувати:

- при переважанні споживачів I-ї категорії та наявності - особливої категорії;
- для живлення зосередженого цехового навантаження, а також окремих об'єктів загальнозаводського призначення, таких як насосні та компресорні станції;
- для цехів з великою питомою густиною навантажень (більше $0,5 \div 0,7$ кВА/м²).

Вибір числа та потужності цехових трансформаторів вирішується одночасно з питанням компенсації реактивної потужності в мережі напругою до 1000 В.

Потужність трансформатора визначається за формулою:

$$S_{ном.т} \geq \frac{P_{p\Sigma}}{k_3 \cdot N}, \quad (1.1)$$

де N – число трансформаторів;

k_3 - коефіцієнт завантаження трансформатору.

При виборі оптимального завантаження цехових трансформаторів враховують категорію надійності електроприймачів, число трансформаторів та спосіб резервування.

Відповідно до [13] рекомендується використовувати наступні коефіцієнти завантаження трансформаторів:

- якщо переважають навантаження I-ї категорії для двотрансформаторних ТП $k_3 = 0,65 \div 0,7$;

- якщо переважають навантаження II-ї категорії для однострансформаторних підстанцій при взаємному резервуванні трансформаторів на стороні нижчої напруги $k_3 = 0,7 \div 0,8$;

- якщо переважають навантаження II-ї категорії та підприємство забезпечене складським резервом трансформаторів, а також у випадку навантажень тільки III-ї категорії $k_3 = 0,9 \div 0,95$.

Коефіцієнти завантаження для перших двох випадків встановлені виходячи з необхідності взаємного резервування у випадку виходу з ладу одного з трансформаторів і з урахуванням допустимого навантаження трансформатора, що залишився в роботі.

1.5 Рекомендації щодо вибору типу та конструктивного виконання ТП

В даний час для живлення цехових споживачів широко використовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП).

КТП поставляються із заводів-виробників або повністю в зборі, або готовими для складання, і включають крім силового трансформатора вимірювальну, комутаційну та захисну апаратуру.

КТП загального призначення для установки в приміщеннях випускають напругою (6-10)/(0,4-0,23) кВ з маслонаповненими і сухими трансформаторами до 2500 кВА.

Цехові трансформаторні підстанції напругою 6-10/(0,4 ÷ 0,69) кВ виконують без збірних шин первинної напруги як при радіальному, так і при магістральному живленні.

При магістральній схемі живлення трансформатора потужністю 1000 кВА і вище замість роз'єднувача необхідно встановлювати вимикач навантаження, так як при напрузі 6 - 10 кВ роз'єднувачем можна відключати холостий хід трансформатора потужністю не більше 630 кВА.

При радіальній схемі живлення цеховий трансформатор зазвичай має глухе приєднання до лінії 6 - 10 кВ, що йде від розподільної підстанції. Комутаційний апарат (роз'єднувач або вимикач навантаження) перед цеховим трансформатором застосовують у таких випадках: джерело живлення знаходиться у віданні іншої експлуатуючої організації, підстанція значно (більше 3 км) віддалена від джерела живлення, вона живиться по повітряній лінії, на стороні нижчої напруги не встановлений апарат, що відключає. Так як причин застосування комутаційного апарату немає, вибираємо варіант приєднання високовольтних кабелів безпосередньо до виводів силового трансформатора - шафа «глухого вводу» ВВ-1.

1.6 Порядок вибору варіантів схеми розподільчої мережі

Найбільша перевага в процесі проектування розподільчої мережі в закритих приміщеннях та в сприятливих умовах навколишнього середовища останнім часом віддається магістральним шинопроводам типу ШМА, розподільчим шинопроводам типу ШРА, а також відкритому прокладенню кабелів у коробах чи лотках по стінах та конструкціях будівель.

Цехові розподільчі мережі повинні забезпечувати:

- потрібний ступінь надійності постачання електроприймачів залежно від їхньої категорії;
- безпечність та зручність під час експлуатації;
- оптимальні техніко-економічні показники (за критерієм мінімуму приведених витрат).

Схеми цехових електромереж поділяють на магістральні та радіальні. Розподільні магістралі застосовують для живлення електроприймачів малої та середньої потужності, рівномірно розподілених уздовж лінії магістралі. В таких

схемах використовують комплектні розподільчі шинопроводи серії ШРА на струми до 630 А із живленням від головних магістралей (або РПНН).

Магістральні схеми мають універсальність і гнучкість (дозволяють замінювати, знімати чи додавати технологічне обладнання без необхідності суттєвих змін в електричній мережі).

Радіальна схема цехової мережі є сукупністю кабельних ліній, які відходять від розподільчих пунктів, що отримують живлення від цехової КТП. Радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання.

Якщо за критерієм забезпечення на електроприймачах напруги потрібної величини декілька варіантів схем розподільної мережі прийнятні, тоді для кінцевого вибору одного з них необхідне їх техніко-економічне порівняння.

У техніко-економічних розрахунках використовуються укрупнені показники вартості (УПВ) елементів системи електропостачання.

До УПВ не включені деякі статті витрат, тому їх не застосовують для визначення реальної вартості споруди об'єкта, а використовують при порівняльних розрахунках варіантів.

При порівнянні варіантів основним критерієм визначення економічності є мінімум приведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C_e, \quad (1.2)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, рівний 0,125;

K - одноразові капітальні вкладення;

C_e - щорічні експлуатаційні витрати:

$$C_e = B_a \cdot K + B_{np} \cdot K + C_e; \quad (1.3)$$

B_a , B_{np} - коефіцієнти відрахувань відповідно на амортизацію та поточний ремонт та обслуговування;

C_e - вартість втрат електричної енергії.

Розмір, зворотний нормі амортизаційних відрахувань, відповідає терміну служби відповідного устаткування, тобто терміну, за який основні фонди будуть компенсовані повністю:

$$T_{cl} = \frac{1}{B_a} \cdot 100. \quad (1.4)$$

Відрахування на поточний ремонт та обслуговування призначені для забезпечення засобами профілактичних та ремонтних робіт, утримання експлуатаційного персоналу, придбання матеріалів, інструментів, приладів.

Річні змінні (навантажувальні на нагрівання проводів) втрати електроенергії в активних елементах мережі визначаються за формулою:

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \cdot \tau, \quad (1.5)$$

де ΔP_{\max} - максимальні втрати потужності, τ - час максимальних втрат.

Втрати навантаження електроенергії визначають, коли річний графік навантаження за тривалістю невідомий, а задане число годин використання максимального навантаження:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \quad (1.6)$$

Щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії C_e рекомендується визначати за ціною електроенергії C_0 , яка приймається рівною середньозваженому тарифу на електроенергію в даній енергосистемі на рік:

$$C_e = C_0 \cdot \Delta W. \quad (1.7)$$

Якщо порівнювані варіанти відрізняються за надійністю, додатково включається ймовірний щорічний збиток від перерв електропостачання споживачів.

При визначенні приведених витрат вартості капітальних вкладень враховуємо лише елементи, які відсутні, або відрізняються за вартістю елементів у іншому варіанті.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок трифазних електричних навантажень

Вихідні дані:

- найменування електроприймачів;
- n_i - кількість однотипних електроприймачів у групі i , шт.;
- N - число груп електроприймачів, шт. ($N = 19$);
- $P_{ном.i}$ - номінальна активна потужність одиничного електроприймача групи, кВт.

Коефіцієнти використання активної потужності $k_{в.а.i}$ і коефіцієнти потужності $\cos \varphi$ електроприймачів визначаємо за довідковими даними, наведеними у [9, табл. Д.2.1]. Дані заносимо до таблиці 2.1.

За значенням $\cos \varphi$ знаходимо $tg \varphi$.

Сумарна номінальна потужність електроприймачів групи i

$$P_{номi} = n_i \cdot P_{ном.i} \quad (2.1)$$

Сумарна середня потужність електроприймачів групи:

$$P_{ci} = k_{в.а.i} \cdot P_{ном.i}, \quad (2.2)$$

$$Q_{ci} = P_{ci} \cdot tg \varphi. \quad (2.3)$$

Середні сумарні по цеху активне та реактивне навантаження:

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{ci}; \quad (2.4)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{ci}. \quad (2.5)$$

Середньозважений коефіцієнт використання:

$$K_{B.C} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{ci}}{\sum_{i=1}^N P_{ном.i}}. \quad (2.6)$$

Таблиця 2.1 – Характеристики електроприймачів цеху

№ групи з/п	№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i , шт.	$P_{ном.i}$, кВт	$k_{в.а.i}$	$\cos \varphi$
1.	1; 6; 47	Вентилятор витяжний	3	7.5	0.73	0.80
2.	2; 5	Високочастотна установка для сушіння деревини	2	70.0	0.60	0.80
3.	3; 4	Лісопильна рама	2	30.0	0.30	0.50
4.	7; 8; 9; 10	Електрорубанок	4	10.0	0.30	0.50
5.	11; 12; 13	Циркулярно-маятникова пилка	3	4.0	0.30	0.50
6.	14; 15; 16	Циркулярна пилка	3	3.0	0.30	0.50
7.	17; 18	Механічний колун	2	4.0	0.30	0.50
8.	19; 20	Заточувальний верстат	2	2.2	0.30	0.50
9.	23; 43	Фугувальний верстат	2	4.0	0.30	0.50
10.	21; 22	Шипорізний верстат	2	7.5	0.30	0.50
11.	24; 25	Фрезерний верстат	2	4.0	0.30	0.50
12.	26; 27; 28; 29	Комбінований деревообробний верстат	4	7.5	0.30	0.50
13.	30; 31; 41; 42	Вертикально-свердлильний верстат	4	1.1	0.30	0.50
14.	32; 33	Стружковий транспортер	2	22.0	0.30	0.50
15.	34	Кран-балка на 3т	1	2.0+4.6+ +1.7	0.25	0.50
16.	35; 36	Полірувальний верстат	2	1.1	0.30	0.50
17.	37; 38	Круглошліфувальний верстат	2	2.2	0.30	0.50
18.	39; 40	Рейсмусний верстат	2	4.0	0.30	0.50
19.	44; 45; 46	Електронагрівальна плита	3	4.0	0.80	0.97

Ефективне число електроприймачів:

$$n_E = \frac{\left(\sum_{i=1}^N n_i \cdot P_{ном.i} \right)^2}{\sum_{i=1}^N n_i \cdot P_{ном.i}^2}. \quad (2.7)$$

Розрахунки, результати яких наведені в таблиці 2.2, показують, що $K_{B.C} = 0,49$, $n_E = 14$. Розрахунковий коефіцієнт K_P визначаємо відповідно до $K_{B.C}$

та n_E при обчисленні навантажень для вибору силового трансформатора за довідковими даними [9, табл. Д.2.1], $K_p = 0,8$.

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = K_p \cdot P_{c\Sigma}. \quad (2.8)$$

Розрахункове реактивне навантаження при виборі трансформаторів:

$$Q_p = K_p \cdot Q_{c\Sigma}. \quad (2.9)$$

При розрахунку номінальної потужності крана $P_{ном.крану}$ враховуємо, що приведена до коефіцієнту увімкнення $k_{ув} = 1$, вона дорівнює сумі номінальних потужностей двох найпотужніших двигунів (як правило, підйому і мосту):

$$P_{ном.крану} = 4,6 + 2 = 6,6 \text{ кВт.}$$

Сумарна номінальна активна потужність електроприймачів цеху за (2.1) складає 438,5 кВт; середня - за (2.2) - 216,8 кВт; розрахункова – за (2.8) – 173,4 кВт. Сумарна середня реактивна потужність цехових електроприймачів складає 234,8 кВАр; розрахункова - за (2.9) – 187,8 кВАр.

2.2 Розрахунок освітлювального навантаження

Освітлювальне навантаження розраховується по питомому навантаженню на одиницю виробничої площі. Площа цеху $F = 24 \times 36 = 864 \text{ м}^2$.

Розрахункове активне навантаження

$$P_{Poc} = p_{нит} \cdot F, \quad (2.10)$$

де $p_{нит}$ - питома потужність на одиницю площі цеху.

В пожежонебезпечних зонах категорії П-П повинні застосовуватися світильники, що мають ступінь захисту не менше IP53. З [10] вибираємо світлодіодні світильники типу ДРП (KOA LINE COB/GL S/EW 327 W) з технічними даними: $P = 327 \text{ Вт}$; світловий потік лампи 42280 лм, ефективний світловий потік світильника $\Phi_1 = 32608 \text{ лм}$; напруга $U_{ном} = 220...240 \text{ В}$; $\cos \varphi = 0,91$. Ступінь захисту - IP65.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані і розрахунок навантаження трифазних електроприймачів

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	k_{Bi}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр	S_P , кВА	I_P , А
1, 6, 47	Вентилятор витяжний	3	7.5	22.5	0.73	0.8	0.75	16.3	12.2	168.75						
2, 5	ВЧ установка для сушіння	2	70	140	0.8	0.8	0.75	112	84	9800						
3, 4	Лісопилна рама	2	30	60	0.3	0.5	1.73	18	31.2	1800						
7, 8, 9, 10	Електрорубанок	4	10	40	0.3	0.5	1.73	12	20.8	400						
11, 12, 13	Циркулярно-маятникова пила	3	4	12	0.3	0.5	1.73	3.6	6.24	48						
14, 15, 16	Циркулярна пила	3	3	9	0.3	0.5	1.73	2.7	4.68	27						
17, 18	Механічний колун	2	4	8	0.3	0.5	1.73	2.4	4.16	32						
19, 20	Заточний станок	2	2.2	4.4	0.3	0.5	1.73	1.32	2.29	9.68						
23, 43	Фугувальний станок	2	4	8	0.3	0.5	1.73	2.4	4.16	32						
21, 22	Шипорізний станок	2	7.5	15	0.3	0.5	1.73	4.5	7.79	112.5						
24, 25	Фрезерний станок	2	4	8	0.3	0.5	1.73	2.4	4.16	32						
26, 27, 28, 29	Комбінований станок	4	7.5	30	0.3	0.5	1.73	9	15.6	225						
30, 31, 41, 42	Вертикально-свердильний станок	4	1.1	4.4	0.3	0.5	1.73	1.32	2.29	4.84						
32, 33	Стружковий транспортер	2	22	44	0.3	0.5	1.73	13.2	22.9	968						
34	Кран-балка на 3т	1	6.6	6.6	0.25	0.5	1.73	1.65	2.86	43.56						
35, 36	Полірувальний станок	2	1.1	2.2	0.3	0.5	1.73	0.66	1.14	2.42						
37, 38	Круглошліфувальний станок	2	2.2	4.4	0.3	0.5	1.73	1.32	2.29	9.68						
39, 40	Рейсмусний станок	2	4	8	0.3	0.5	1.73	2.4	4.16	32						
44, 45, 46	Електронагрівальна плита	3	4	12	0.8	0.97	0.20	9.6	1.95	48						
	Разом	47		438.5	0.49			217	235	13795.4	14	0.8	173.4	187.8	255.7	369.0
	Освітлювальне навантаження												14.3	19.1	23.9	34.5
	Разом по цеху												187.8	207.0	279.4	403.3

По довідкових таблицях для розрахункової висоти приміщення $h = 6$ м, площі приміщення $F = 864$ м² і нормованої освітленості $E = 300$ лк для світлодіодних світильників для коефіцієнтів відбиття стелі, стін і робочої поверхні $\rho_n = 0,5$, $\rho_c = 0,3$, $\rho_p = 0,1$ знаходимо значення питомої потужності на одиницю площі цеху $p_{\text{норм}} = 0,0166$ кВт/м², тоді $P_{\text{ос}} = 0,0166 \cdot 864 = 14,34$ кВт.

$$Q_{\text{ос}} = P_{\text{ос}} \cdot \text{tg} \varphi. \quad (2.11)$$

Приймаючи $\cos \varphi$ використовуваних світлодіодних ламп 0,91, знаходимо $\text{tg} \varphi = 0,46$ и $Q_{\text{ос}} = 14,34 \cdot 0,46 = 6,53$ кВАр.

При спільному живленні загальне навантаження по нагріву визначається алгебраїчним додаванням розрахункових навантажень від силових електроприймачів $P_{\text{р.с.}}$, $Q_{\text{р.с.}}$ та освітлення $P_{\text{р.ос.}}$ і $Q_{\text{р.ос.}}$:

$$P_{\text{р}\Sigma} = P_{\text{р.с.}} + P_{\text{р.ос.}}; \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{р}\Sigma} = Q_{\text{р.с.}} + Q_{\text{р.ос.}}. \quad (2.13)$$

$$P_{\text{р}\Sigma} = 173,4 + 14,3 = 187,8 \text{ кВт}; \quad Q_{\text{р}\Sigma} = 187,8 + 6,5 = 194,4 \text{ кВАр}.$$

Загальну по цеху розрахункову повну потужність визначаємо по формулі:

$$S_{\text{р}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{р}\Sigma}^2 + Q_{\text{р}\Sigma}^2}. \quad (2.14)$$

$$S_{\text{р}\Sigma} = \sqrt{187,8^2 + 194,4^2} = 270,3 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Загальний по цеху розрахунковий струм навантаження:

$$I_p = \frac{S_{\text{р}\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (2.15)$$

$$I_p = \frac{270,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 390,1 \text{ А}.$$

2.3 Вибір числа та потужності цехових трансформаторів

Відповідно до рекомендацій, викладених у підрозділі 1.3, визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатору: $k_3 = 0,9$.

Потужність трансформатора по формулі (1.1) $S_{ном.т} \geq \frac{187,8}{0,9 \cdot 1} = 208,6$ кВА.

Так як підстав (підрозділ 1.4) для вибору двотрансформаторної підстанції немає, вибираємо однострансформаторну підстанцію. Вибираємо трансформатор номінальною потужністю 250 кВА.

Вибір типу трансформатора здійснюється згідно [5, п. 7.4.29] в залежності від вимог навколишнього середовища. У зонах із підвищеною пожежною небезпекою допускається на захищених ділянках установка КТП з трансформаторами сухими або з негорючим заповненням. Водночас із застосуванням протипожежних заходів, обумовлених у [5, пп. 7.4.29, 7.4.30] у зазначених вище зонах можуть застосовуватися вбудовані та прибудовані КТП і КПП з маслонаповненими трансформаторами.

Виходячи з розташування електроприймачів у цеху, вибираємо прибудовану до стіни цеху КТП і за каталогом ПАТ «Укрелектроапарат» [11] (м. Хмельницький) вибираємо трансформатор ТМГ-250/10, з дотриманням протипожежних заходів.

Трансформатор ТМГ-250/10 – масляний понижувальний трифазний двообмотковий загального призначення, призначений для потреб народного господарства для внутрішньої та зовнішньої установки.

Бак трансформатора виготовлений без маслорозширювача з гофрованими стінками, які змінюють конфігурацію і обсяг у випадку об'ємного розширення мастила при зміні температури. Мастило не контактує з навколишнім середовищем, отже, і не окислюється. Втрати неробочого ходу $\Delta P_x = 550$ Вт, струм неробочого ходу $i_x = 2,3\%$, втрати КЗ $\Delta P_K = 3700$ Вт, напруга КЗ $u_K = 5\%$.

За вибраним числом трансформаторів (один) знаходимо реактивну потужність, яку економічно доцільно передати через обраний трансформатор у мережу за формулою [13, (3.2)]:

$$Q_T = \sqrt{(N \cdot k_3 \cdot S_{ном.т})^2 - P_{p\Sigma}^2} \quad (2.16)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 250)^2 - 187,8^2} = 124,0 \text{ кВАр.}$$

Визначаємо першу складову потужності батарей конденсаторів:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_T. \quad (2.17)$$

Якщо згідно розрахунку $Q_{нк1} < 0$, то приймається $Q_{нк1} = 0$.

$$Q_{нк1} = 194,4 - 124,0 = 70,4 \text{ кВАр.}$$

З метою зниження втрат потужності в трансформаторах визначається додаткова потужність батарей конденсаторів:

$$Q_{нк2} = Q_{p\Sigma} - Q_{нк1} - P_{p\Sigma} \cdot tg\varphi_e, \quad (2.18)$$

де $tg\varphi_e$ - економічний коефіцієнт реактивної потужності; у більшості розрахунків приймається $tg\varphi_e = 0,25$.

Якщо трапиться, що $Q_{нк2} < 0$, то приймається $Q_{нк2} = 0$.

$$Q_{нк2} = 194,4 - 70,4 - 187,8 \cdot 0,25 = 77,0 \text{ кВАр.}$$

Потужність КУ в мережі низької напруги:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (2.19)$$

$$Q_{нк} = 70,4 + 77,0 = 147,4 \text{ кВАр.}$$

2.4 Визначення центру електричних навантажень та місця розташування цехової КТП

Місце розташування КТП істотно впливає на систему цехового електропостачання, сумарну довжину ліній, що пов'язують джерело живлення з окремими споживачами. Тому, при зміні розташування підстанції змінюються сумарні капітальні вкладення, втрати електроенергії.

У таблицю 2.3 зведемо дані про потужності та координати електроприймачів цеху, визначивши їх на плані. За цими даними знаходимо центр електричних навантажень (ЦЕН).

Координати ЦЕН визначаємо за такими формулами:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^N P_i}; \quad (2.20)$$

де $N = 24$ - число груп електроприймачів;

P_i - потужність групи електроприймачів;

x_i, y_i - координати групи електроприймачів.

Отримуємо по формулах (2.20):

$$x_0 = \frac{5521,2}{440,2} = 12,54 \text{ м}; \quad y_0 = \frac{7193,0}{440,2} = 16,34 \text{ м.}$$

Зобразимо ЦЕН на плані (рисунок 2.1). З метою мінімізації втрат електроенергії цехову трансформаторну підстанцію вигідно розташувати в безпосередній близькості до знайденого центру електричних навантажень.

У зв'язку з тим, що в безпосередній близькості від центру електричних навантажень усередині цеху КТП розташувати неможливо, вибираємо прибудовану до правої стіни цеху КТП. Відповідний віконний отвір у стіні цеху заглушується.

Таблиця 2.3 – Розрахунок ЦЕН

Групи ЕП	Потужність одного ЕП P_i , кВт	Кількість ЕП в групі n	Потужність групи ЕП P_i , кВт	Координати групи ЕП, м		$x_i \cdot P_i$, кВт·м	$y_i \cdot P_i$, кВт·м
				x_i	y_i		
1	7.5	1	7.5	22.40	7.38	168.0	55.3
2	7.5	1	7.5	1.63	7.38	12.2	55.3
3, 4	70.0	1	70.0	19.38	7.38	1356.3	516.3
5	70.0	1	70.0	4.63	7.38	323.8	516.3
6	30.0	2	60.0	12.00	6.75	720.0	405.0
7 – 10	10.0	4	40.0	12.00	14.25	480.0	570.0
11 – 13	4.0	3	12.0	16.38	20.50	196.5	246.0
14 – 16	3.0	3	9.0	7.63	20.50	68.6	184.5
17 – 18	4.0	2	8.0	12.00	20.40	96.0	163.2

Продовження таблиці 2.3

19 – 20	2.2	2	4.4	20.63	19.15	90.8	84.3
21 – 22	7.5	2	15.0	22.38	22.63	335.6	339.4
23	4.0	1	4.0	18.88	22.13	75.5	88.5
24 – 25	4.0	2	8.0	20.75	27.28	166.0	218.2
26 – 29	7.5	4	30.0	20.38	32.75	611.3	982.5
30 – 31	1.1	2	2.2	16.40	32.75	36.1	72.1
32 – 33	22.0	2	44.0	12.00	32.13	528.0	1413.5
34	8.3	1	8.3	12.00	27.75	99.6	230.3
35 – 36	1.1	2	2.2	1.75	15.50	3.9	34.1
37 – 38	2.2	2	4.4	4.25	15.50	18.7	68.2
39 – 40	4.0	2	8.0	1.75	21.13	14.0	169.0
41 – 42	1.1	2	2.2	1.75	25.63	3.9	56.4
43	4.0	1	4.0	4.00	21.50	16.0	86.0
44 – 46	4.0	3	12.0	6.75	31.75	81.0	381.0
47	7.5	1	7.5	2.63	34.38	19.7	257.8
Разом			440.2			5521.2	7193.0

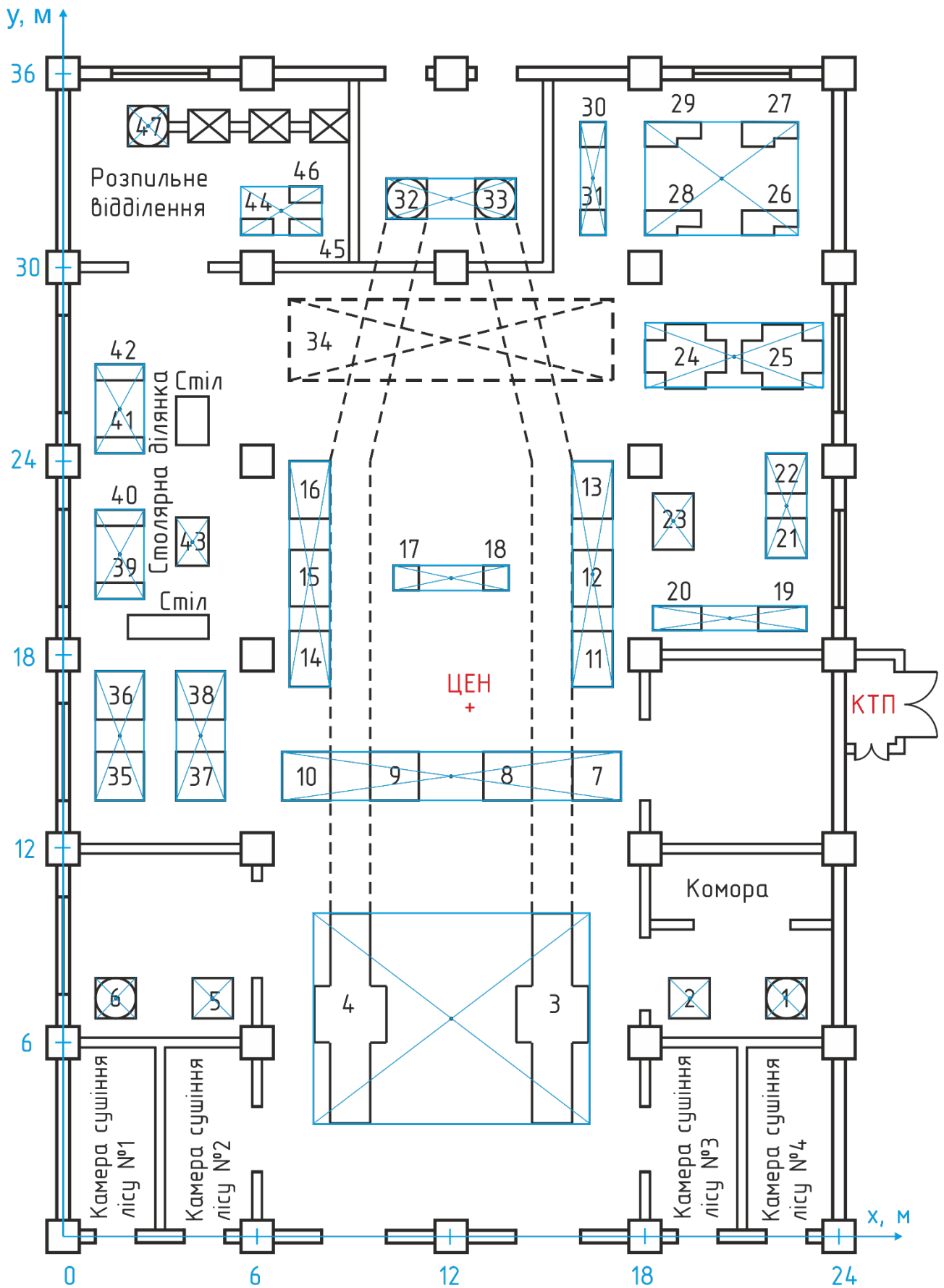


Рисунок 2.1 – Розташування центру електричних навантажень і КТП

2.5 Вибір типу та конструктивного виконання ТП

Вибираємо підстанцію трансформаторну комплектну КТПЦ-250/10/0,4 УЗ, що застосовується в системах електропостачання промислових підприємств у районах з помірним кліматом для встановлення всередині неопалюваних приміщень за каталогом торгово-виробничого об'єднання «Східний експрес» (м. Запоріжжя) [11].

Раніше обрано трифазний двообмотковий трансформатор ТМГ-250/10.

Розподільний пристрій нижчої напруги (РПНН) підстанції є шафою відхідних ліній ШВЛ, що представляє собою металевий каркас, у середині якого закріплені автоматичні вимикачі, шини, апаратура, прилади та монтаж вторинної комутації. Для обліку спожитої енергії в КТП встановлюються прилади обліку активної та реактивної (на замовлення) енергії. На вимогу замовника в комірках ліній, що відходять, можуть встановлюватися трансформатори струму і амперметри. КТП можуть укомплектовуватися автоматичними вимикачами фірм "Schneider Electric", "ABB", "Siemens" та інших виробників. Вибираємо автоматичні вимикачі фірми Siemens.

Схема з'єднання обмоток трансформатора (Y/Y-o).

До контуру заземлення приварені чи механічно приєднані всі металеві компоненти підстанції, і навіть устаткування ТП. Зовнішнє заземлення – заземлюючий пристрій, його розрахунок наведено у розділі 4.

2.6 Розрахунок електричних навантажень на стороні 10 кВ ТП, вибір кабельної лінії живлення 10 кВ

Розрахункове навантаження на стороні ВН КТП визначається за формулою:

$$S_{pВН} = \sqrt{\left(P_{cp.НН} + \Delta P_T\right)^2 + \left(Q_{cp.НН} + \Delta Q_T\right)^2}, \quad (2.21)$$

де $P_{cp.НН}$, $Q_{cp.НН}$ - розрахункові навантаження, середні активна і реактивна потужності за найбільш завантаженою зміну на стороні НН цехової ТП;

ΔP_T , ΔQ_T - втрати активної та реактивної потужності в цеховому трансформаторі.

За потужністю S_{pBH} обирається переріз лінії, що живить цехову КТП.

Відповідно до завдання передача електроенергії від джерела живлення до приймального пункту здійснюється кабельною лінією.

За результатами розрахунку електричних навантажень маємо:

$$P_{p.\Sigma} = 187,8 \text{ кВт}, Q_{p.\Sigma} = 194,4 \text{ кВАр}.$$

З урахуванням установки компенсації реактивної потужності $Q_{нк} = 160 \text{ кВАр}$

$$P_{cp.HH} = P_{p.\Sigma} = 187,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{cp.HH} = Q_{p.\Sigma} - Q_{нк} = 194,4 - 160,0 = 34,4 \text{ кВАр}.$$

$$S_{cp.HH} = \sqrt{P_{cp.HH}^2 + Q_{cp.HH}^2}; \quad (2.22)$$

$$S_{cp.HH} = \sqrt{187,8^2 + 34,4^2} = 190,9 \text{ кВА}.$$

Для трансформатора потужністю $S_{ном}$ із навантаженням $S_{cp.HH}$ втрати потужності в трансформаторі дорівнюють:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \frac{\Delta P_K \cdot S_{cp.HH}^2}{S_{ном}^2}, \quad (2.23)$$

$$\Delta Q_T = \frac{i_X \cdot S_{ном}}{100} + \frac{u_K \cdot S_{cp.HH}^2}{100 \cdot S_{ном}}. \quad (2.24)$$

$$\Delta P_T = 550 + \frac{3700 \cdot 192,9^2}{250^2} = 2754 \text{ Вт} \approx 2,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = \frac{2,3 \cdot 250}{100} + \frac{5 \cdot 190,9^2}{100 \cdot 250} \approx 13,0 \text{ кВАр}.$$

Тоді, за формулою (2.21):

$$S_{pBH} = \sqrt{(187,8 + 2,8)^2 + (34,4 + 13,0)^2} = 196,4 \text{ кВА}.$$

Розрахунковий струм у кабельній лінії визначаємо за формулою:

$$I_p = \frac{S_{p.BH}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.25)$$

$$I_p = \frac{196,4}{\sqrt{3} \cdot 10} = 11,3 \text{ А.}$$

З асортименту продукції ПАТ «Завод «Южкабель», м. Харків вибираємо кабель ААБл.

Вибираємо перетин кабелю за економічною густиною струму:

$$q_e = \frac{I_p}{J_e}, \quad (2.26)$$

де економічна густина струму $J_e = 1,4 \text{ А/мм}^2$ за [13, табл. 4.4] для кабелів із алюмінієвими жилами та паперовою ізоляцією при $T_{\max} = 3000 \text{ год}$.

$$q_e = \frac{11,3}{1,4} = 8,1 \text{ мм}^2.$$

За каталогом підприємства ПАТ «Завод «Южкабель» вибираємо найменший переріз жили кабелів, що випускаються, на номінальну напругу 10 кВ, що відповідає вимогам економічної щільності струму – 35 мм^2 . Відповідно до технічних характеристик тривале допустиме струмове навантаження при прокладанні в ґрунті кабелю ААБл $3 \times 35-10$ становить 110 А [14], що значно перевищує розрахунковий струм 11,5 А. Отже, всі умови виконуються.

Втрату напруги в лініях напругою до 35 кВ визначаємо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l (r_{y\partial} \cdot \cos \varphi + x_{y\partial} \cdot \sin \varphi), \quad (2.27)$$

де I_p - розрахунковий струм лінії, А;

$r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ - активний і реактивний питомі опори лінії, Ом/км;

l - довжина лінії, км;

$\cos \varphi$ і $\sin \varphi$ відповідають коефіцієнту потужності ($\text{tg} \varphi$) наприкінці лінії.

Кабель ААБл $3 \times 35-10$ має характеристики [10, таблиця 3.5]: $r_{y\partial} = 0,89 \text{ Ом/км}$, $x_{y\partial} = 0,095 \text{ Ом/км}$, задана довжина лінії $l = 2,15 \text{ км}$.

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{ср.НН}} + \Delta P_T}{S_{\text{рВН}}}, \quad (2.28)$$

$$\cos \varphi = \frac{187,8 + 2,8}{196,4} = 0,97;$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_{cp.HH} + \Delta Q_T}{S_{pBH}} \quad (2.29)$$

$$\sin \varphi = \frac{34,4 + 13,0}{196,4} = 0,24.$$

Тоді втрата напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 11,3 \cdot 2,15(0,89 \cdot 0,97 + 0,095 \cdot 0,24) = 37,4 \text{ В.}$$

З розрахунків видно, що втрати напруги в лінії незначні (0,37 %), отже, напруга у споживачів практично не буде відрізнятися від номінального.

2.7 Вибір двох варіантів схеми розподільчої мережі

Вибираємо попередньо два варіанти схеми розподільчої мережі: магістральну схему з ШРА (рисунок 1.3), і радіальну схему з розподільними пунктами (рисунок 1.4). За результатами техніко-економічного порівняння двох варіантів схем остаточно виберемо один із варіантів.

2.7.1 Вибір розподільних шинопроводів для магістральних схем

Розподільні шинопроводи ШРА призначені для виконання всередині приміщень розподільчих електричних мереж змінного струму частотою 50 і 60 Гц, напругою до 660 В. Шинопроводи трифазні з нульовим робочим провідником виготовляються на номінальні струми 250, 400, 630А з відгалужувальними коробками на струм 100, 160, 250А.

Шинопровід складається з типових елементів: секцій прямих на 2 і 4 відгалуження, прямих прогінних, кутових вертикальних та горизонтальних, вступних, для вертикальної прокладки, відгалужувальних коробок, торцевих

заглушок, муфт перехідних та конструкцій для кріплення. Поєднання секцій – збірно-розбірне. Вступні секції для приєднання проводів чи кабелів живлення можна встановлювати на кінці або в середині лінії. Провід або кабелі підводяться зверху або знизу секції і приєднуються до затискачів, розрахованих на подвійний номінальний струм.

Шинопровід ШРА99 - чотирипровідний; нульовий (N) провід замкнений на захисний металевий кожух і утворює суміщений PEN – провідник у системі з глухозаземленою нейтраллю.

Розрахунок навантажень для вибору розподільних шинопроводів проводимо методом розрахункового коефіцієнту (таблиці 2.4 та 2.5). Відмінність від розрахунку, наведеного в підрозділі 2.1, полягає в тому, що тривалість максимальних тривалих навантажень приймаємо не 2,5 години, як для розрахунку силових трансформаторів і магістральних шинопроводів, коли $K_p < 1$ і визначається за [7, табл. 4.6], а 10 хв, причому $K_p > 1$ і визначається за [7, табл. 4.5]. Крім того, розрахункове реактивне навантаження визначається залежно від ефективного числа електроприймачів n_E , при $n_E \leq 10$ визначається виразом $Q_p = 1,1 \cdot Q_C$, при $n_E > 10$ $Q_p = Q_C$.

Розрахунки, результати яких наведені в таблицях 2.4 та 2.5, показують, що для ШРА-1 ефективне число електроприймачів $n_E = 8$, середньозважений (груповий) коефіцієнт використання $K_B = 0,47$, таким чином визначаємо розрахунковий коефіцієнт (коефіцієнт максимуму) $K_p = 1,08$, $P_p = K_p \cdot P_C$, $Q_p = 1,1 \cdot Q_C$; для ШРА-2 $n_E = 6$, $K_B = 0,53$, таким чином визначаємо розрахунковий коефіцієнт $K_p = 1,12$, $P_p = K_p \cdot P_C$, $Q_p = 1,1 \cdot Q_C$.

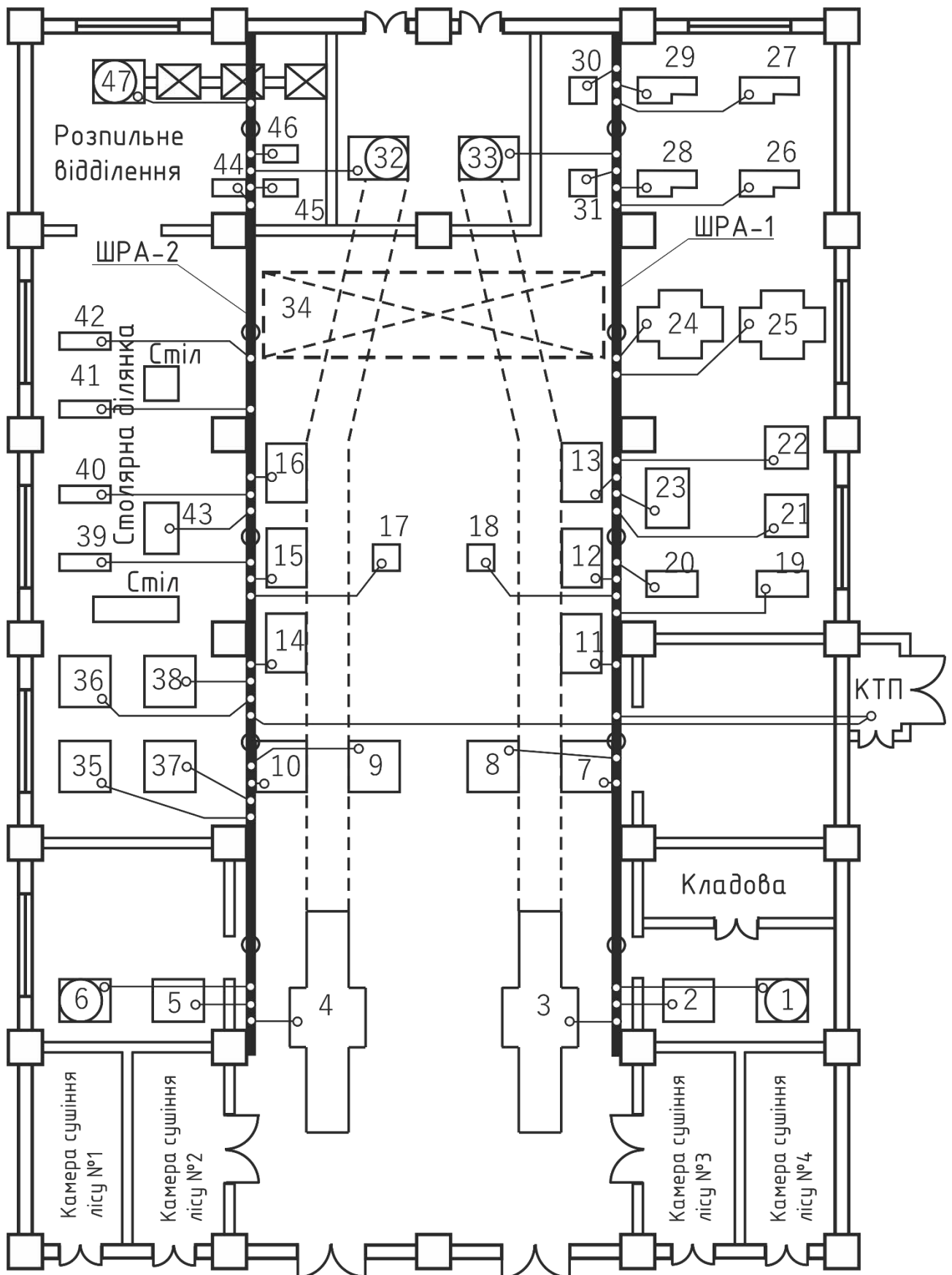


Рисунок 2.2 – Магістральна схема із ШРА

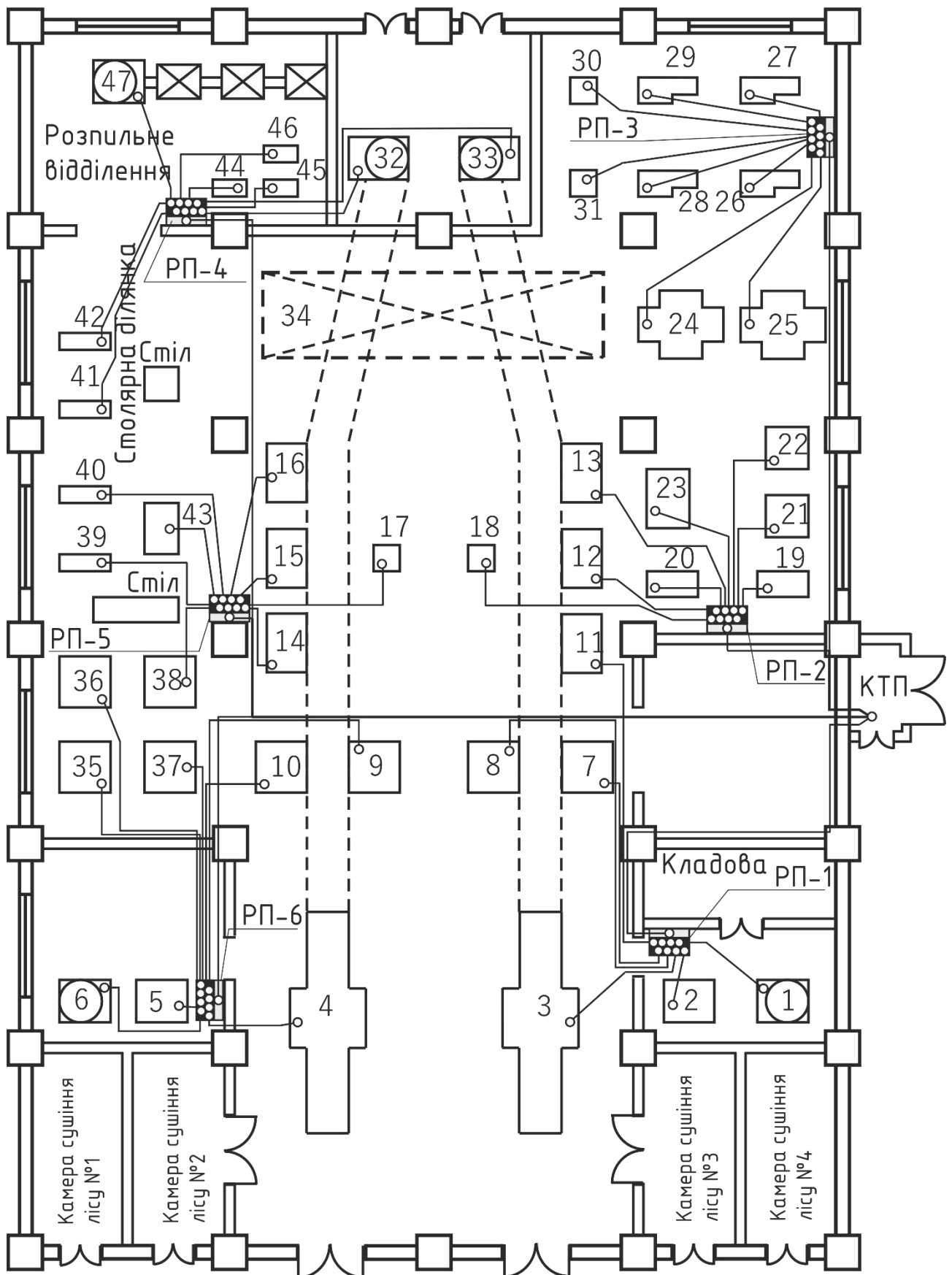


Рисунок 2.3 – Радіальна схема із розподільними пунктами

По результатах розрахунків розрахункових значень активної і реактивної потужностей визначаємо значення повних потужностей, розрахункових струмів і коефіцієнтів потужності.

Для ШРА-1 $P_p = 115,5$ кВт, $Q_p = 137,3$ кВАр; повну розрахункову потужність визначаємо за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.30)$$

$$S_p = \sqrt{115,5^2 + 137,3^2} = 179,4 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм визначаємо за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (2.31)$$

$$I_p = \frac{179,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 259,0 \text{ А.}$$

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ визначаємо за формулою:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (2.32)$$

$$\cos \varphi = \frac{115,5}{179,4} = 0,64.$$

Для ШРА-2 $P_p = 121,2$ кВт, $Q_p = 117,8$ кВАр.

По формулах (2.30), (2.31), (2.32):

$$S_p = \sqrt{121,2^2 + 117,8^2} = 169,0 \text{ кВА;}$$

$$I_p = \frac{169,0}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 243,9 \text{ А.}$$

$$\cos \varphi = \frac{121,2}{169,0} = 0,72.$$

Розподільні шинопроводи ШРА обираємо за розрахунковим струмом I_p :

$$I_p \leq I_{ном}, \quad (2.33)$$

де $I_{ном}$ - номінальний струм шинопроводу.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані і розрахунок навантаження електроприймачів ШРА-1

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	$k_{\delta i}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
1	Вентилятор витяжний	1	7.5	7.5	0.73	0.8	0.75	5.4	4.1	56.3				
2	Високочастотна установка для сушіння деревини	1	70.0	70.0	0.80	0.8	0.75	56.0	42.0	4900.0				
3	Лісопильна рама	1	30.0	30.0	0.30	0.5	1.73	9.0	15.6	900.0				
7, 8	Електрорубанок	2	10.0	20.0	0.30	0.5	1.73	6.0	10.4	200.0				
11, 12, 13	Циркулярно-маятникова пилка	3	4.0	12.0	0.30	0.5	1.73	3.6	6.2	48.0				
18	Механічний колун	1	4.0	4.0	0.30	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
19, 20	Заточний верстат	2	2.2	4.4	0.30	0.5	1.73	1.3	2.1	9.7				
23	Фугувальний верстат	1	4.0	4.0	0.30	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
21, 22	Шипорізний верстат	2	7.5	15.0	0.30	0.5	1.73	4.5	7.8	112.5				
24, 25	Фрезерний верстат	2	4.0	8.0	0.30	0.5	1.73	2.4	4.2	32.0				
26, 27, 28, 29	Комбінований деревобробний верстат	4	7.5	30.0	0.30	0.5	1.73	9.0	15.6	225.0				
30, 31	Вертикально-свердлильний верстат	2	1.1	2.2	0.30	0.5	1.73	0.7	1.1	2.4				
33	Стружковий транспортер	1	22.0	22.0	0.30	0.5	1.73	6.6	11.4	484.0				
	Разом	23		229.1	0.47			106.9	124.9	7001.9	8	1.08	115.5	137.3

Таблиця 2.5 – Вихідні дані і розрахунок навантаження електроприймачів ШРА-2

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	$k_{\epsilon i}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot p^2_{ном.i}$	n_E	K_P	P_p , кВт	Q_p , кВАр
6, 47	Вентилятор витяжний	2	7.5	15.0	0.73	0.80	0.75	10.9	8.2	112.5				
5	Високочастотна установка для сушки деревини	1	70.0	70.0	0.80	0.80	0.75	56.0	42.0	4900.0				
4	Лісопилна рама	1	30.0	30.0	0.30	0.50	1.73	9.0	15.6	900.0				
9, 10	Електрорубанок	2	10.0	20.0	0.30	0.50	1.73	6.0	10.4	200.0				
14, 15, 16	Циркулярна пилка	3	3.0	9.0	0.30	0.50	1.73	2.7	4.7	27.0				
17	Механічний колун	1	4.0	4.0	0.30	0.50	1.73	1.2	2.1	16.0				
43	Фугувальний верстат	1	4.0	4.0	0.30	0.50	1.73	1.2	2.1	16.0				
41, 42	Вертикально-свердильний верстат	2	1.1	2.2	0.30	0.50	1.73	0.7	1.1	2.4				
32	Стружковий транспортер	1	22.0	22.0	0.30	0.50	1.73	6.6	11.4	484.0				
35, 36	Полірувальний верстат	2	1.1	2.2	0.30	0.50	1.73	0.7	1.1	2.4				
37, 38	Круглошліфувальний верстат	2	2.2	4.4	0.30	0.50	1.73	1.3	2.3	9.7				
39, 40	Рейсмусний верстат	2	4.0	8.0	0.30	0.50	1.73	2.4	4.2	32.0				
44, 45, 46	Електронагрівальна плита	3	4.0	12.0	0.80	0.98	0.20	9.6	2.0	48.0				
	Разом	23		202.8	0.53			108.2	107.1	6750.0	6	1.12	121.2	117.8

За каталогом торгівельно-виробничого об'єднання «Східний експрес» (м. Запоріжжя) [15] обираємо шинопроводи ШРА-99 з номінальним струмом $I_{ном} = 400$ А – з метою уніфікації та можливою перспективою нарощування потужності обладнання електроприймачів.

Попередньо обираємо для захисту ліній відгалужень автоматичні вимикачі фірми «Siemens» [16] типу 3VT3, номінальний струм блоку комутації ВН630NE305 630 А; номінальний струм розчеплювача максимального струму SE-ВН-0315-L001 315 А, характеристика ETU LP (захисту ліній). Час перемикання при I_{cu} 10 мс.

Ввідні секції ділять шинопроводи за довжиною у співвідношенні 1:2; разом з тим потужність споживачів на короткій ділянці вдвічі перевищує потужність споживачів на довгій ділянці. Тому оцінити втрату напруги в розподільчому шинопроводі можна за формулою, що застосовується для випадку з розташуванням вступної секції в середині шинопроводу з рівномірним навантаженням

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} (r_{y\delta} \cdot \cos \varphi + x_{y\delta} \cdot \sin \varphi), \quad (2.34)$$

де I_p - розрахунковий струм розподільчого шинопроводу, А;

l - довжина розподільчого шинопроводу, км;

$r_{y\delta}$, $x_{y\delta}$ - питомі активний та індуктивний опори шинопроводу, Ом/км.

1. Визначаємо втрату напруги в ШРА-1.

$I_{p1} = 259,0$ А; $l = 0,03$ км; $r_{y\delta 1} = 0,15$ Ом/км; $x_{y\delta 1} = 0,17$ Ом/км; $\cos \varphi_1 = 0,64$;

$\sin \varphi_1 = 0,77$;

$$\Delta U_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 259,0 \cdot 0,03 \cdot 100}{400} (0,15 \cdot 0,64 + 0,17 \cdot 0,77) = 0,38 \%$$

2. Визначаємо втрату напруги в ШРА-2.

$I_{p2} = 243,9$ А; $l = 0,03$ км; $r_{y\delta 2} = 0,15$ Ом/км; $x_{y\delta 2} = 0,17$ Ом/км; $\cos \varphi_2 = 0,72$;

$\sin \varphi_2 = 0,70$;

$$\Delta U_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 243,9 \cdot 0,03 \cdot 100}{400} (0,15 \cdot 0,72 + 0,17 \cdot 0,70) = 0,36 \%$$

Розподільний шинопровод встановлюємо на висоті 2,6 м, кріпимо до опор кронштейнами, між опорами використовуємо стійки.

Для живлення крана використовується тролейний шинопровід типу ШТА-75.

Для виконання освітлювальної 4-провідної електричної мережі використовуємо освітлювальний шинопровід ШОС-73А на струм до 63 А.

2.7.2 Вибір розподільчих шаф для радіальної схеми

Для прийому та розподілу електричної енергії до груп промислових споживачів змінного трифазного струму напругою 0,4 кВ застосовуються силові розподільні пункти (шафи). Торгово-виробниче об'єднання «Східний експрес» (м. Запоріжжя) реалізує шафи розподільні силові СПМ75 на 8 ліній, що відходять, представлені в таблиці 2.6. Номінальний струм – 400 А.

Розрахунок трифазних навантажень відхідних ліній шаф виконуємо методом розрахункового коефіцієнта, описаним у підрозділі 2.1, з відмінностями, викладеними в п. 2.7.1 (таблиці 2.7 - 2.13).

Таблиця 2.6 – Характеристики шаф розподільних силових СПМ75

Тип шафи	Кількість груп запобіжників		
	НПН2-60	ПН2-100	ПН2-250
СПМ75-4	8	-	-
СПМ75-5	-	8	-
СПМ75-6	4	4	-
СПМ75-9	2	4	2

Розрахунки, результати яких наведені в таблиці 2.7, показують, що для РП-1 ефективне число електроприймачів $n_E = 3$, середньозважений коефіцієнт використання $K_B = 0,59$, таким чином визначаємо розрахунковий коефіцієнт $K_p = 1,29$; $P_p = K_p \cdot P_c$, $Q_p = 1,1 \cdot Q_c$; по формулах (2.30), (2.31)

$$S_p = \sqrt{100,2^2 + 81,6^2} = 129,2 \text{ кВА}, I_p = \frac{129,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 186,4 \text{ А}.$$

Таблиця 2.7 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-1

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	$k_{\epsilon i}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot p^2_{ном.i}$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
1	Вентилятор витяжний	1	7.5	7.5	0.73	0.8	0.75	5.4	4.1	56.3				
2	Високочастотна установка для сушіння деревини	1	70.0	70.0	0.80	0.8	0.75	56.0	42.0	4900.0				
3	Лісопильна рама	1	30.0	30.0	0.30	0.5	1.73	9.0	15.6	900.0				
7, 8	Електрорубанок	2	10.0	20.0	0.30	0.5	1.73	6.0	10.4	200.0				
11	Циркулярно-маятникова пилка	1	4.0	4.0	0.30	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
	Разом	6		131.5	0.59			77.6	74.1	6072.3	3	1.29	100.2	81.6

Таблиця 2.8 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-2

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	$k_{\epsilon i}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot p^2_{ном.i}$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
12, 13	Циркулярно-маятникова пилка	2	4.0	8.0	0.3	0.5	1.73	2.4	4.2	32.0				
18	Механічний колун	1	4.0	4.0	0.3	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
19, 20	Заточний верстат	2	2.2	4.4	0.3	0.5	1.73	1.3	2.3	9.7				
23	Фугувальний верстат	1	4.0	4.0	0.3	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
21, 22	Шипорізний верстат	2	7.5	15.0	0.3	0.5	1.73	4.5	7.8	112.5				
	Разом	8		35.4	0.3			10.6	18.4	186.2	7	1.25	13.3	20.2

Таблиця 2.9 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-3

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	k_{ei}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
24, 25	Фрезерний верстат	2	4.0	8.0	0.3	0.5	1.73	2.4	4.2	32.0				
26, 27, 28, 29	Комбінований деревообробний верстат	4	7.5	30.0	0.3	0.5	1.73	9.0	15.6	225.0				
30, 31	Вертикально-свердильний верстат	2	1.1	2.2	0.3	0.5	1.73	0.7	1.1	2.4				
	Разом	8		40.2	0.3			12.1	20.9	259.4	6	1.28	15.4	23.0

Таблиця 2.10 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-4

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	k_{ei}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
47	Вентилятор витяжний	1	7.5	7.5	0.73	0.80	0.75	5.4	4.1	56.3				
41, 42	Вертикально-свердильний верстат	2	1.1	2.2	0.30	0.50	1.73	0.7	1.1	2.4				
32, 33	Стружковий транспортер	2	22.0	44.0	0.30	0.50	1.73	13.2	22.9	968.0				
44, 45, 46	Електронагрівальна плита	3	4.0	12.0	0.80	0.98	0.20	9.6	2.0	48.0				
	Разом	8		65.7	0.44			28.9	30.0	1074.7	4	1.30	37.6	33.0

Таблиця 2.11 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-5

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	k_{ei}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
14, 15, 16	Циркулярна пилка	3	3.0	9.0	0.3	0.5	1.73	2.7	4.7	27.0				
17	Механічний колун	1	4.0	4.0	0.3	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
43	Фугувальний верстат	1	4.0	4.0	0.3	0.5	1.73	1.2	2.1	16.0				
38	Круглошліфувальний верстат	1	2.2	2.2	0.3	0.5	1.73	0.7	1.1	4.8				
39, 40	Рейсмусний верстат	2	4.0	8.0	0.3	0.5	1.73	2.4	4.2	32.0				
	Разом	8		27.2	0.3			8.2	14.1	95.8	8	1.19	9.7	15.6

Таблиця 2.12 – Вихідні дані та розрахунок електричних навантажень РП-6

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$P_{ном.i}$, кВт	k_{ei}	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_{Ci}	Q_{Ci}	$n_i \cdot P_{ном.i}^2$	n_E	K_P	P_P , кВт	Q_P , кВАр
6	Вентилятор витяжний	1	7.5	7.5	0.73	0.8	0.75	5.4	4.1	56.3				
5	Високочастотна установка для сушіння деревини	1	70.0	70.0	0.80	0.8	0.75	56.0	42.0	4900.0				
4	Лісопилна рама	1	30.0	30.0	0.30	0.5	1.73	9.0	15.6	900.0				
9, 10	Електрорубанок	2	10.0	20.0	0.30	0.5	1.73	6.0	10.4	200.0				
35, 36	Полірувальний верстат	2	1.1	2.2	0.30	0.5	1.73	0.7	1.1	2.4				
37	Круглошліфувальний верстат	1	2.2	2.2	0.30	0.5	1.73	0.7	1.1	4.8				
	Разом	8		131.9	0.59			77.8	74.3	6063.5	3	1.29	100.3	81.8

Розподільну шафу СПМ75 вибираємо за розрахунковим струмом I_p з умови $I_p \leq I_{ном}$, де $I_{ном}$ - номінальний струм шафи, і по номінальних струмах електроприймачів у відхідних лініях (таблиця 2.13).

Таблиця 2.13 – Номінальні струми електроприймачів РП-1

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
1	Вентилятор витяжний	1	7.5	0.8	13.5
2	Високочастотна установка для сушіння деревини	1	70.0	0.8	126.3
3	Лісопилна рама	1	30.0	0.5	86.6
7, 8	Електрорубанок	2	10.0	0.5	28.9
11	Циркулярно-маятникова пилка	1	4.0	0.5	11.5

Розрахункові струми у відхідних лініях для силових електроприймачів і печей визначаємо за формулою:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (2.35)$$

Таким чином (бо один із струмів перевищує 100 А, а інший – 60 А), вибираємо шафу СПМ75-9.

Аналогічно проводимо розрахунки:

- для РП-2 ($n_E = 7$, $K_B = 0,3$, $K_P = 1,25$, $S_P = 24,2$ кВА, $I_p = 34,9$ А), результати - у таблиці 2.14, обираємо шафу СПМ75-4 (всі струми не перевищують 60 А);
- для РП-3 ($n_E = 6$, $K_B = 0,3$, $K_P = 1,28$, $S_P = 27,7$ кВА, $I_p = 40,0$ А), результати - у таблиці 2.15, обираємо шафу СПМ75-4 (всі струми не перевищують 60 А);
- для РП-4 ($n_E = 4$, $K_B = 0,44$, $K_P = 1,3$, $S_P = 50,0$ кВА, $I_p = 72,2$ А), результати - у таблиці 2.16, обираємо шафу СПМ75-4 (всі струми не перевищують 60 А);
- для РП-5 ($n_E = 8$, $K_B = 0,3$, $K_P = 1,19$, $S_P = 18,3$ кВА, $I_p = 26,5$ А), результати - у таблиці 2.17, обираємо шафу СПМ75-4 (всі струми не перевищують 60 А);

- для РП-6 ($n_E = 3$, $K_B = 0,59$, $K_P = 1,29$, $S_P = 129,4$ кВА, $I_P = 186,8$ А), результати
- у таблиці 2.18, обираємо шафу СПМ75-9 (один із струмів перевищує 100 А, а інший – 60 А).

Таблиця 2.14 – Номінальні струми електроприймачів РП-2

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
12, 13	Циркулярно-маятникова пилка	2	4.0	0.5	11.5
18	Механічний колун	1	4.0	0.5	11.5
19, 20	Заточний верстат	2	2.2	0.5	6.4
23	Фугувальний верстат	1	4.0	0.5	11.5
21, 22	Шипорізний верстат	2	7.5	0.5	21.7

Таблиця 2.15 – Номінальні струми електроприймачів РП-3

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
24, 25	Фрезерний верстат	2	4.0	0.5	11.6
26, 27, 28, 29	Комбінований деревообробний верстат	4	7.5	0.5	21.7
30, 31	Вертикально-свердлильний верстат	2	1.1	0.5	3.2

Таблиця 2.16 – Номінальні струми електроприймачів РП-4

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
47	Вентилятор вытяжний	1	7.5	0.80	13.5
41, 42	Вертикально-свердлильний верстат	2	1.1	0.50	3.2
32, 33	Стружковий транспортер	2	22.0	0.50	63.5
44, 45, 46	Електронагрівальна плита	3	4.0	0.98	5.9

Таблиця 2.17 – Номінальні струми електроприймачів РП-5

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
14, 15, 16	Циркулярна пила	3	3.0	0.5	8.7

Продовження таблиці 2.17

17	Механічний колун	1	4.0	0.5	11.6
43	Фугувальний верстат	1	4.0	0.5	11.6
38	Круглошліфувальний верстат	1	2.2	0.5	6.4
39, 40	Рейсмусний верстат	2	4.0	0.5	11.6

Таблиця 2.18 – Номінальні струми електроприймачів РП-6

№ на плані	Найменування електроприймачів	n_i	$P_{ном.i}$, кВт	$\cos \varphi$	$I_{ном}$, А
6	Вентилятор витяжний	1	7.5	0.8	13.5
5	Високочастотна установка для сушіння деревини	1	70.0	0.8	126.3
4	Лісопилна рама	1	30.0	0.5	86.6
9, 10	Електрорубанок	2	10.0	0.5	28.9
35, 36	Полірувальний верстат	2	1.1	0.5	3.2
37	Круглошліфувальний верстат	1	2.2	0.5	6.4

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Результати розрахунку навантажень розподільних шаф

Номер РП	Розрахункова повна потужність S_p , кВА	Розрахунковий струм I_p , А	Коефіцієнт потужності		
			$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$tg \varphi$
РП-1	129.2	186.4	0.78	0.63	0.81
РП-2	24.2	34.9	0.55	0.84	1.52
РП-3	27.7	40.0	0.56	0.83	1.49
РП-4	50.0	72.2	0.75	0.66	0.88
РП-5	18.3	26.5	0.53	0.85	1.60
РП-6	129.4	186.8	0.78	0.63	0.82

Попередньо вибираємо в РПНН КТП автоматичні вимикачі фірми «Siemens»: на лініях РП-1 і РП-6 – 3VT2, номінальний струм комутуючого блоку BD250NE305 та розчіплювача BD-0250-L001 - 250 А; на лінії РП-4 - 3VT1, номінальний струм 80 А, струм спрацьовування розчіплювача короткого замикання BC160NT305-80-L -

320 А; на лініях РП-2, РП-3, РП-5 - 3VT1, номінальний струм 40 А, струм спрацьовування розчеплювача короткого замикання BC160NT305-40-L - 160 А.

2.7.3 Вибір кабельних ліній

Переріз жил кабелів цехової мережі вибираємо за розрахунковим струмом за умовою:

$$I_p \leq I_{тр.доп.}, \quad (2.36)$$

де I_p - розрахунковий струм, А;

$I_{тр.доп.}$ - тривалий допустимий струм даного перерізу, А.

Для асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором повинна виконуватися умова:

$$1,25 \cdot I_p \leq I_{тр.доп.}. \quad (2.37)$$

За умовами застосування та рекомендаціями, викладеними в довідковій літературі використовуємо кабель КГВ – кабель силовий гнучкий, з мідними РПЖ, з ізоляцією з ПВХ пластикату, із зовнішньою оболонкою з ПВХ пластикату виробництва ПАТ «Завод «Южкабель» (м. Харків) [17]. Допустимі тривалі струми визначаємо по заводському каталогу та [5, табл. 1.3.6].

Результати розрахунку кабельних ліній для магістральної схеми зведемо до таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 - Результати розрахунку кабельних ліній магістральної схеми

Початок кабелю	Кінець кабелю	Розрахунковий струм I_p , А	Допустимий струм $I_{тр.доп.}$, А	Переріз, мм ²
РПНН	ШРА-1	259.0	260	3×120+1×70
РПНН	ШРА-2	243.9	260	3×120+1×70
ШРА	ЕП 1, 6, 47	13.5	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 2, 5	126.3	145	3×50+1×25
ШРА	ЕП 3, 4	86.6	95	3×25+1×10

Продовження таблиці 2.20

ШРА	ЕП 7 - 10	28.9	35	3×4+1×2,5
ШРА	ЕП 11 - 13	11.6	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 14 - 16	8.7	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 17 - 18	11.6	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 19 - 20	6.4	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 21 - 22	13.5	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 23, 43	11.6	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 24 - 25	11.6	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 26 - 29	13.5	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 30, 31, 41, 42	3.2	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 32 - 33	63.5	84	3×25+1×16
РПНН	ЕП 34	24.0	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 35 - 36	3.2	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 37 - 38	6.4	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 39 - 40	11.6	25	3×2,5+1×1,5
ШРА	ЕП 44 - 46	11.6	25	3×2,5+1×1,5
РПНН	ШОС	34.5	35	3×4+1×2,5

Результати розрахунку кабельних ліній для радіальної схеми (за виключенням представлених у таблиці 2.20) зведемо до таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Результати розрахунку кабельних ліній радіальної схеми

Початок кабелю	Кінець кабелю	Розрахунковий струм I_p , А	Допустимий струм $I_{mp.дон.}$, А	Перетин, мм ²
РПНН	РП-1	186.4	220	3×95+1×50
РПНН	РП -2	34.9	35	3×4+1×2,5
РПНН	РП -3	40.0	42	3×6+1×4
РПНН	РП -4	72.2	75	3×16+1×6
РПНН	РП -5	26.5	35	3×4+1×2,5
РПНН	РП-6	186.8	220	3×95+1×50

Вибраний перетин перевіряємо за втратою напруги:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} (r_{y0} \cdot \cos \varphi + x_{y0} \cdot \sin \varphi), \quad (2.38)$$

де l - довжина лінії, км;

$r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ - активний і реактивний питомі опори ліній, Ом/км;

$\cos \varphi$, $\sin \varphi$ - відповідають коефіцієнту потужності $\text{tg} \varphi$ наприкінці лінії.

Перевіримо втрату напруги на шляху до найбільш віддаленого та потужного електроприймача № 5 (ВЧ установка для сушіння деревини).

У магістральній схемі електропостачання ЕП №5 здійснюється з використанням кабелю КГВ 3×120+1×70 довжиною 23 м (РПНН - ШРА-2), ділянки ШРА-99 250 А та кабелю КГВ 3×50+1×25 довжиною 5,5 м (ШРА- 2 – ЕП №5).

Втрата напруги на кабельній лінії від РПНН до ШРА-2 (розрахунковий струм $I_p = 243,9$ А, $\cos \varphi = 0,72$, $\sin \varphi = 0,70$, кабель 3×120+1×70, $l = 0,023$ км, $r_{y\partial} = 0,153$ Ом/км, $x_{y\partial} = 0,0602$ Ом/км):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 243,9 \cdot 0,023 \cdot 100}{400} (0,153 \cdot 0,72 + 0,0602 \cdot 0,70) = 0,37 \%$$

Втрата напруги на ШРА-2 була оцінена раніше (0,36%).

Втрата напруги на кабельній лінії від ШРА-2 до ЕП №5 (розрахунковий струм $I_p = 126,3$ А, $\cos \varphi = 0,8$, $\sin \varphi = 0,6$, кабель 3×50+1×25, $l = 0,0055$ км, $r_{y\partial} = 0,37$ Ом/км, $x_{y\partial} = 0,0625$ Ом/км):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 126,3 \cdot 0,0055 \cdot 100}{400} (0,37 \cdot 0,8 + 0,0625 \cdot 0,6) = 0,1 \%$$

Загальна втрата напруги від РПНН КТП до ЕП №5 складає 0,37% + 0,36% + 0,1% = 0,83%, що не перевищує допустимого значення $\Delta U = 5\%$.

У радіальній схемі електропостачання ЕП №5 здійснюється з використанням кабелю КГВ 3×95+1×50 довжиною 30,7 м (РПНН – РП-6) та кабелю КГВ 3×50+1×25 довжиною 3 м (РП-6 – ЕП №5).

Втрата напруги на кабельній лінії від РПНН до РП-6 (розрахунковий струм $I_p = 186,8$ А, $\cos \varphi = 0,78$, $\sin \varphi = 0,63$, кабель 3×95+1×50, $l = 0,0307$ км, $r_{y\partial} = 0,194$ Ом/км, $x_{y\partial} = 0,0602$ Ом/км):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 186,8 \cdot 0,0307 \cdot 100}{400} (0,194 \cdot 0,78 + 0,0602 \cdot 0,63) = 0,47 \%$$

Втрата напруги на кабельній лінії від РП-6 до ЕП №5 (розрахунковий струм $I_p = 126,3$ А, $\cos \varphi = 0,8$, $\sin \varphi = 0,6$, кабель $3 \times 50 + 1 \times 25$, $l = 0,003$ км, $r_{y\partial} = 0,37$ Ом/км, $x_{y\partial} = 0,0625$ Ом/км):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 126,3 \cdot 0,003 \cdot 100}{400} (0,37 \cdot 0,8 + 0,0625 \cdot 0,6) = 0,05 \%$$

Загальна втрата напруги від РПНН КТП до ЕП №5 складає $0,47\% + 0,05\% = 0,52\%$, що не перевищує допустимого значення $\Delta U = 5\%$.

Таким чином, з точки зору забезпечення на електроприймачах напруги потрібної величини, обидва варіанти схем розподільної мережі прийнятні, і для кінцевого вибору одного з них необхідне їх техніко-економічне порівняння.

2.8 Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі

Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі наведене у додатку А. Із двох варіантів вибрано магістральну схему із розподільчими шинопроводами.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) в електроустановках змінної напруги до 1000 В виконують для вибору і перевірки електрообладнання, комутаційних апаратів з метою підвищення надійності системи електропостачання. При цьому розраховують максимальне та мінімальне значення періодичної складової струму КЗ та ударний струм КЗ.

Розрахунок струмів КЗ в електричних мережах до 1000 В ведемо в іменованих одиницях, враховуємо всі опори кола КЗ, як індуктивні, так і активні. Також враховуємо перехідні активні опори всіх контактів цього кола (на шинах, на вводах та виводах апаратів, роз'ємні контакти апаратів, контакт у місці КЗ), а також опору обмоток струмових автоматичних вимикачів.

Розрахунок ведемо для наступних точок:

К1 – КЗ за вимикачем лінії на ШРА-1, ШРА-2;

К2 – КЗ перед ШРА-1, ШРА-2;

К3.1 - КЗ перед найближчим електроприймачем (№11);

К3.2 - КЗ перед найбільш віддаленим електроприймачем (№47);

К3.3 - КЗ перед найпотужнішим електроприймачем (№2).

3.1.1 Розрахунок струмів КЗ у точці К1 (за вимикачем лінії на ШРА)

Схему кола представимо на рисунку 3.1. Дані трансформатора: втрати неробочого ходу $\Delta P_x = 550$ Вт, втрати короткого замикання $\Delta P_K = 3700$ Вт, напруга короткого замикання $u_K = 5$ %, струм неробочого ходу $i_x = 2,3$ %. Автоматичний вимикач QF типу 3VT3 фірми «Siemens»: на лінії ШРА-1 – номінальний струм комутуючого блоку 630 А; номінальний струм розчеплювача 315 А; на лінії ШРА-2 – номінальний струм комутуючого блоку та розчеплювача 250 А; активний та

індуктивний опір струмових котушок автоматичного вимикача $R_{кв} = 0,65$ мОм;
 $X_{кв} = 0,17$ мОм. Контактні з'єднання: $r_{к} = 0,021$ мОм; $n = 4$.

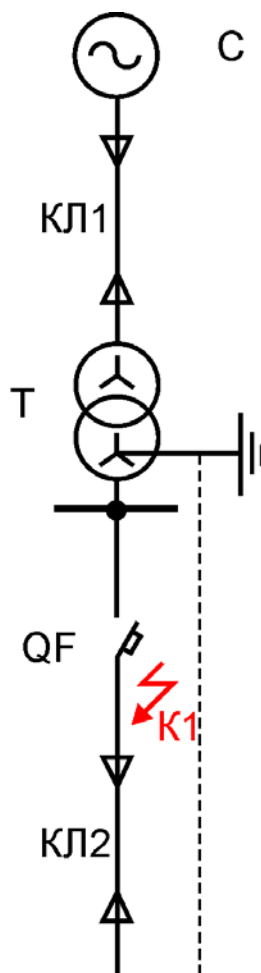


Рисунок 3.1 – Вихідна схема для розрахунку струмів КЗ в точці К1

Визначимо опір схеми заміщення прямої послідовності (рисунок 3.2).

При розрахунках трифазного струму КЗ не враховують опір електричної дуги з метою отримання максимально можливого значення струму.

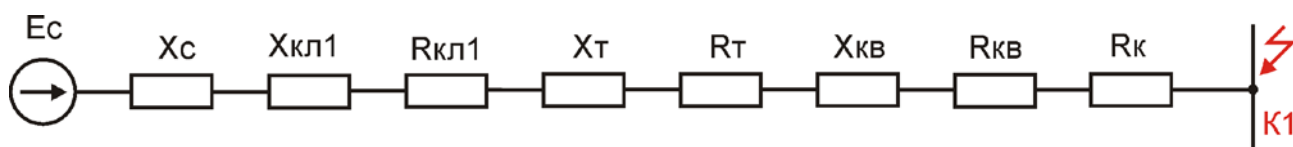


Рисунок 3.2 – Схема заміщення прямої послідовності

Опір системи X_c , мОм, приведений до ступеня нижчої напруги мережі визначаємо за формулою:

$$X_c = \frac{U_{cp.nn}^2}{S_{кз}} \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

де $U_{cp.nn}$ - середня номінальна напруга мережі, підключеної до обмотки нижчої напруги трансформатора, В;

$S_{кз}$ - потужність короткого замикання у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, В·А.

$$X_c = \frac{400^2}{360} \cdot 10^{-3} = 0,4444 \text{ мОм.}$$

Індуктивний $X_{кл1}$, мОм і активний $R_{кл1}$, мОм опори кабельної лінії від ГПП до КТП (дані кабелю по [13, табл. М.11]) визначаємо по формулах:

$$X_{кл} = x \cdot l, \quad (3.2)$$

$$R_{кл} = r \cdot l, \quad (3.3)$$

де x - питомий індуктивний опір кабелю, мОм/м;

r - питомий активний опір кабелю, мОм/м;

l - довжина кабельної лінії, м.

$$X_{кл1} = 0,113 \cdot 2,15 \cdot 1000 = 243,0 \text{ мОм;}$$

$$R_{кл1} = 1,94 \cdot 2,15 \cdot 1000 = 4171 \text{ мОм.}$$

При розрахунку опорів схеми в іменованих одиницях всі опори приводять до однієї базової напруги, у нашому випадку 0,4 кВ. Перераховуємо опори кабельної лінії зі ступеня $U_{cp1} = 10,5$ кВ на ступінь $U_{cp2} = 0,4$ кВ з використанням коефіцієнта трансформації між цими ступенями за формулами:

$$X_{кл1(U_{cp2})} = X_{кл1(U_{cp1})} \cdot \left(\frac{U_{cp2}}{U_{cp1}} \right)^2, \quad (3.4)$$

$$R_{кл1(U_{cp2})} = R_{кл1(U_{cp1})} \cdot \left(\frac{U_{cp2}}{U_{cp1}} \right)^2, \quad (3.5)$$

де $X_{кл1(U_{cp2})}$ - індуктивний опір лінії на щаблі $U_{cp2} = 0,4$ кВ;

$X_{кл1(U_{cp1})}$ - індуктивний опір лінії на щаблі $U_{cp1} = 10,5$ кВ;

$R_{кл1(U_{cp2})}$ - активний опір лінії на щаблі $U_{cp2} = 0,4$ кВ;

$R_{кл1(U_{cp1})}$ - активний опір лінії на щаблі $U_{cp1} = 10,5$ кВ.

$$X_{кл1(U_{cp2})} = 243,0 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,3526 \text{ мОм};$$

$$R_{кл1(U_{cp2})} = 4171 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 6,053 \text{ мОм}.$$

Повний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$Z_T = \frac{u_{K\%} U_{cp.нн}^2}{100 S_{ном.Т}}. \quad (3.6)$$

$$Z_T = \frac{5 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 250} \cdot 10^6 = 32 \text{ мОм}.$$

Активний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{cp.нн}^2}{S_{ном.Т}^2}. \quad (3.7)$$

$$R_T = \frac{3,7 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 9,472 \text{ мОм}.$$

Індуктивний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}. \quad (3.8)$$

$$X_T = \sqrt{32^2 - 9,472^2} = 30,57 \text{ мОм}.$$

Активний опір контактних з'єднань знаходимо, помноживши опір одного контактного з'єднання r_k на їх число n :

$$R_K = 0,021 \cdot 4 = 0,084 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори прямої послідовності щодо точки КЗ знаходимо за формулами:

$$R_{1\Sigma} = R_{кл1} + R_T + R_{кв} + R_K, \quad (3.9)$$

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_{кЛ1} + X_T + X_{кВ} \quad (3.10)$$

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 0,084 = 16,26 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 = 31,53 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму при трифазному КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.лн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}} \quad (3.11)$$

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,26^2 + 31,53^2}} = 6,509 \text{ кА}.$$

Ударний струм трифазного КЗ в електроустановках з одним джерелом енергії розраховується за такою формулою:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0}^{(3)} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot I_{n0}^{(3)} \cdot k_{y\partial}, \quad (3.12)$$

де $k_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$ - ударний коефіцієнт;

T_a - стала часу згасання аперіодичної складової струму КЗ, с.

Сталу часу згасання аперіодичної складової струму КЗ T_a , с, визначаємо за формулою:

$$T_a = \frac{X_{1\Sigma}}{\omega \cdot R_{1\Sigma}}, \quad (3.13)$$

де ω - синхронна кутова частота напруги мережі, рад/с.

$$T_a = \frac{31,53}{2\pi \cdot 50 \cdot 16,26} = 0,0062 \text{ с};$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0062}} = 1,198;$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 6,509 \cdot 1,198 = 11,03 \text{ кА}.$$

Визначимо опір схеми заміщення нульової послідовності (рисунок 3.3).

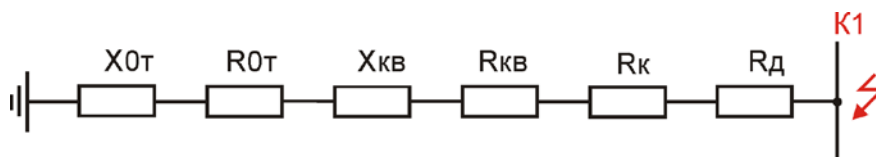


Рисунок 3.3 – Схема заміщення нульової послідовності

Активний опір трансформатора нульової послідовності дорівнює активному опору трансформатора прямої послідовності:

$$R_{0T} = 9,472 \text{ мОм.}$$

Індуктивний опір трансформатора нульової послідовності дорівнює індуктивному опору трансформатора прямої послідовності:

$$X_{0T} = 30,57 \text{ мОм.}$$

Активний опір дуги при КЗ біля виводів напруги 0,4 кВ трансформатора потужністю 250 кВА $R_{\delta} = 15 \text{ мОм}$.

Сумарний активний опір прямої послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за такою формулою:

$$R'_{1\Sigma} = R_{1\Sigma} + R_{\delta}. \quad (3.14)$$

$$R'_{1\Sigma} = 16,26 + 15 = 31,26 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори нульової послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за формулами:

$$R_{0\Sigma} = R_{0T} + R_{кв} + R_K + R_{\delta}, \quad (3.15)$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{кв}. \quad (3.16)$$

$$R_{0\Sigma} = 9,472 + 0,65 + 0,084 + 15 = 24,73 \text{ мОм;}$$

$$X_{0\Sigma} = 30,57 + 0,17 = 30,74 \text{ мОм.}$$

Початкове значення періодичної складової струму визначаємо за формулою:

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.лн}}}{\sqrt{(2 \cdot R'_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}. \quad (3.17)$$

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 31,26 + 24,73)^2 + (2 \cdot 31,53 + 30,74)^2}} = 5,408 \text{ кА.}$$

3.1.2 Розрахунок струмів КЗ в точці К2 (перед ШРА)

Розрахуємо струми КЗ у точці перед ШРА-1. Схема кола на рисунку 3.4.

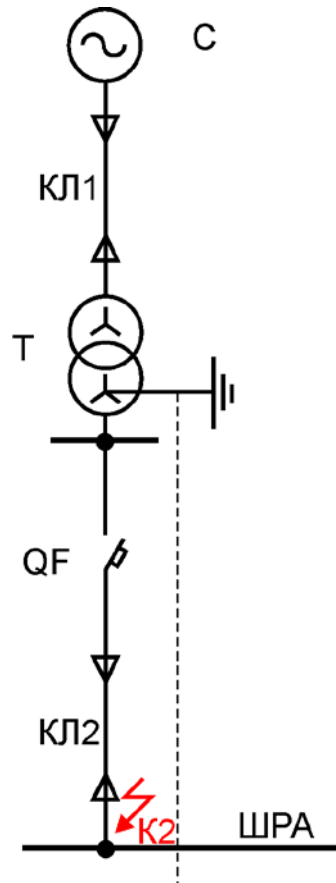


Рисунок 3.4 - Вихідна схема для розрахунку струмів КЗ у точці К2

Контактні з'єднання: $r_k = 0,021$ мОм; $n = 6$.

Визначимо опір схеми заміщення прямої послідовності (рисунок 3.5).

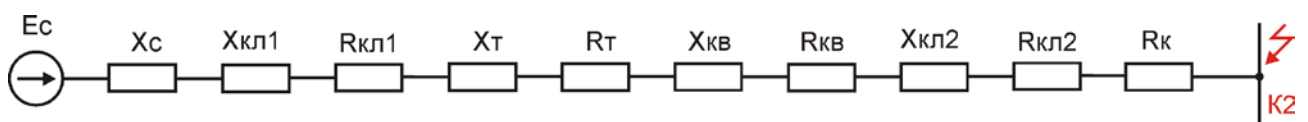


Рисунок 3.5 – Схема заміщення прямої послідовності

Опори кабельної лінії від РПНН до ШРА визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{кл2} = 0,063 \cdot 11,8 = 0,7434 \text{ мОм};$$

$$R_{кл2} = 0,256 \cdot 11,8 = 3,021 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори прямої послідовності щодо точки КЗ визначаємо за формулами:

$$R_{1\Sigma} = R_{кл1} + R_T + R_{кв} + R_{кл2} + R_K, \quad (3.18)$$

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_{кл1} + X_T + X_{кв} + X_{кл2}. \quad (3.19)$$

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 3,021 + 0,126 = 19,32 \text{ мОм;}$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 + 0,7434 = 32,28 \text{ мОм.}$$

Початкове значення періодичної складової струму при трифазному КЗ визначаємо за формулою (3.11):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{U_{cp.HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{19,32^2 + 32,28^2}} = 6,139 \text{ кА.}$$

По формулах (3.12), (3.13)

$$T_a = \frac{32,28}{2\pi \cdot 50 \cdot 19,32} = 0,0053 \text{ с;}$$

$$k_{y0} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0053}} = 1,152;$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 6,139 \cdot 1,152 = 10,01 \text{ кА.}$$

Перевіримо кабель між РПНН та ШРА на термічну стійкість. Розрахуємо інтеграл Джоуля за формулою:

$$B_K = I_{n0}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a), \quad (3.20)$$

де $t_{відкл}$ - час відключення кола з КЗ захисними пристроями, с.

Враховуючи, що на лінії вимикач з часом відключення 0,01 с,
 $B_K = 6,139^2 (0,01 + 0,0053) = 0,5773 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$

Мінімальний переріз кабелю з термічної стійкості

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (3.21)$$

де C визначаємо по [13, табл. М.8], для кабелів 10 кВ з мідними жилами й полівінілхлоридною ізоляцією $C = 118 \frac{A \cdot c^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$.

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{0,5773 \cdot 10^6}}{118} = 6,44 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, вибраний кабель $3 \times 120 + 1 \times 70$ термічно стійкий.

Аналогічно розрахуємо струми КЗ в точці перед ШРА-2.

Опори кабельної лінії від РПНН до ШРА визначаємо по формулах (3.2), (3.3):

$$X_{\text{кл}2} = 0,063 \cdot 23,0 = 1,449 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{кл}2} = 0,256 \cdot 23,0 = 5,888 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори прямої послідовності щодо точки КЗ визначаємо за (3.18), (3.19):

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 5,888 + 0,126 = 22,19 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 + 1,449 = 32,98 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму при трифазному КЗ визначаємо за (3.11):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{22,19^2 + 32,98^2}} = 5,810 \text{ кА}.$$

По формулах (3.12), (3.13)

$$T_a = \frac{32,98}{2\pi \cdot 50 \cdot 22,19} = 0,0047 \text{ с};$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0047}} = 1,121;$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 5,810 \cdot 1,121 = 9,209 \text{ кА}.$$

Перевіримо кабель між РПНН та ШРА на термічну стійкість. Розрахуємо інтеграл Джоуля за (3.20):

$$B_K = 5,810^2 \cdot (0,01 + 0,0047) = 0,4972 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

За формулою (3.21) $q_{\min} = \frac{\sqrt{0,4972 \cdot 10^6}}{140} = 5,04 \text{ мм}^2$.

Таким чином, вибраний кабель $3 \times 120 + 1 \times 70$ термічно стійкий.

3.1.3 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.1 (перед найближчим ЕП)

Розрахуємо струми КЗ у точці перед найближчим електроприймачем (ЕП №11, циркулярно-маятникова пилка). Схему кола представимо на рисунку 3.6. Контактні з'єднання: $r_k = 0,021 \text{ мОм}$; $n = 10$.

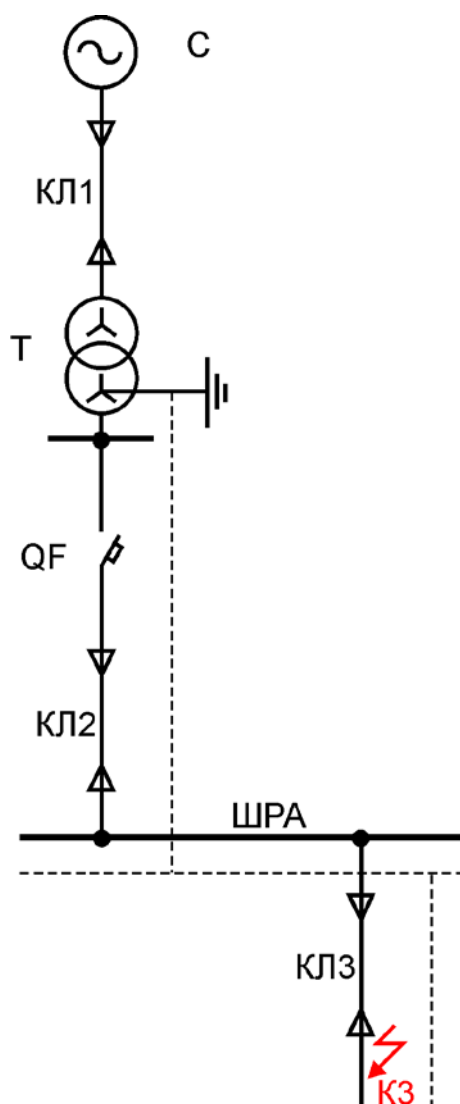


Рисунок 3.6 – Вихідна схема для розрахунку струмів КЗ в точці КЗ

Визначимо опір схеми заміщення прямої послідовності (рисунок 3.7).

Опір кабельної лінії від РПНН до ШРА-1 за [13, табл. М.11] визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{кл2} = 0,063 \cdot 11,8 = 0,7434 \text{ мОм},$$

$$R_{кл2} = 0,256 \cdot 11,8 = 3,021 \text{ мОм}.$$

Характеристики шинопроводу ШРА99 400 А: $l_{ш} = 1,5$ м (від вводу до відгалужувальної коробки ЕП №11); опір фази: активний $r_{ш} = 0,15$ мОм/м; реактивний $x_{ш} = 0,17$ мОм/м; опір нульового провідника: активний $r_{нуш} = 0,162$ мОм/м; реактивний $x_{нуш} = 0,164$ мОм/м.

Опір ШРА (від вводу до відгалужувальної коробки ЕП №11) за (3.2), (3.3):

$$X_{ш} = 0,17 \cdot 1,5 = 0,2550 \text{ мОм},$$

$$R_{ш} = 0,15 \cdot 1,5 = 0,2250 \text{ мОм}.$$

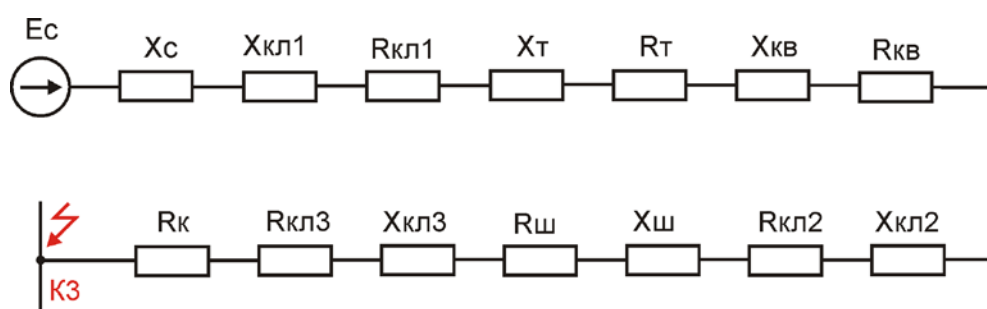


Рисунок 3.7 – Схема заміщення прямої послідовності

Параметри кабелю КГВ $3 \times 2,5 + 1 \times 2,5$: $l_{ш} = 4,2$ м (від відгалужувальної коробки до ЕП №11); опір прямої послідовності – активний $r_1 = 9,61$ мОм/м; реактивний $x_1 = 0,098$ мОм/м; опір нульової послідовності - активний $r_0 = 11,71$ мОм/м; реактивний $x_0 = 2,11$ мОм/м.

Опір кабельної лінії від відгалужувальної коробки до ЕП №11 за (3.2), (3.3):

$$X_{кл3} = 0,098 \cdot 4,2 = 0,4116 \text{ мОм};$$

$$R_{кл3} = 9,61 \cdot 4,2 = 40,36 \text{ мОм}.$$

Активний опір контактних з'єднань знаходимо, помноживши опір одного контактного з'єднання r_k на їх число n :

$$R_K = 0,021 \cdot 10 = 0,21 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори прямої послідовності щодо точки КЗ визначаємо за формулами:

$$R_{1\Sigma} = R_{\text{кл1}} + R_T + R_{\text{кв}} + R_{\text{кл2}} + R_{1ш} + R_{\text{кл3}} + R_K, \quad (3.22)$$

$$X_{1\Sigma} = X_C + X_{\text{кл1}} + X_T + X_{\text{кв}} + X_{\text{кл2}} + X_{1ш} + X_{\text{кл3}}. \quad (3.23)$$

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 3,021 + 0,225 + 40,36 + 0,21 = 59,99 \text{ мОм;}$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 + 0,7434 + 0,255 + 0,4116 = 32,94 \text{ мОм.}$$

Початкове значення періодичної складової струму при трифазному КЗ визначаємо за (3.11):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{59,99^2 + 32,94^2}} = 3,374 \text{ кА.}$$

По формулах (3.12), (3.13)

$$T_a = \frac{32,94}{2\pi \cdot 50 \cdot 59,99} = 0,0018 \text{ с;}$$

$$k_{yd} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0018}} = 1,003;$$

$$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot 3,374 \cdot 1,003 = 4,787 \text{ кА.}$$

Отже, ШРА1 400 А, що має електродинамічну стійкість 25 кА, стійкий.

Визначимо опір схеми заміщення нульової послідовності (рисунок 3.8).

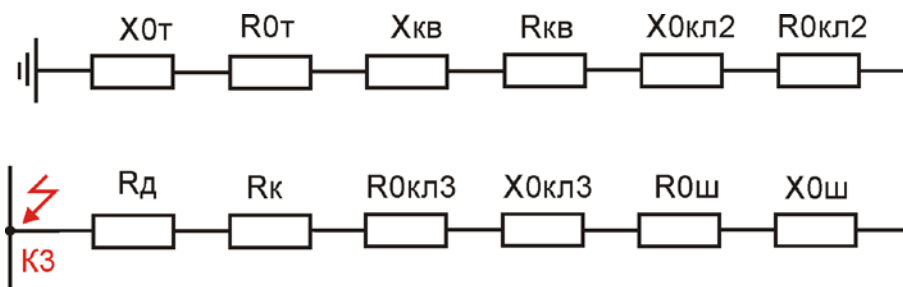


Рисунок 3.8 – Схема заміщення нульової послідовності

Сумарний активний опір прямої послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги за (3.14): $R'_{1\Sigma} = R_{1\Sigma} + R_{\delta} = 59,99 + 15 = 74,99$ мОм.

Розраховуємо опір нульової послідовності кабельної лінії КГВ 3×120+1×70 від РПНН до ШРА-1 за (3.2), (3.3):

$$X_{0кл2} = 0,43 \cdot 11,8 = 5,074 \text{ мОм};$$

$$R_{0кл2} = 1,276 \cdot 11,8 = 15,06 \text{ мОм}.$$

Опір шинопроводу нульової послідовності визначаємо за формулами:

$$R_{0ш} = R_{1ш} + 3 \cdot r_{нш} \cdot l, \quad (3.24)$$

$$X_{0ш} = X_{1ш} + 3 \cdot x_{нш} \cdot l. \quad (3.25)$$

$$R_{0ш} = 0,225 + 3 \cdot 0,162 \cdot 1,5 = 0,954 \text{ мОм};$$

$$X_{0ш} = 0,255 + 3 \cdot 0,164 \cdot 1,5 = 0,993 \text{ мОм}.$$

Знаходимо опори нульової послідовності кабельної лінії КГВ 3×2,5+1×1,5 від ШРА-1 до ЕП №11 за (3.2), (3.3):

$$X_{0кл3} = 2,11 \cdot 4,2 = 8,862 \text{ мОм};$$

$$R_{0кл3} = 11,71 \cdot 4,2 = 49,18 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори нульової послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за формулами:

$$R_{0\Sigma} = R_{0T} + R_{кв} + R_{0кл2} + R_{0ш} + R_{0кл3} + R_K + R_{\delta}, \quad (3.26)$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{кв} + X_{0кл2} + X_{0ш} + X_{0кл3}. \quad (3.27)$$

$$R_{0\Sigma} = 9,472 + 0,65 + 15,06 + 0,954 + 49,18 + 0,21 + 15 = 90,52 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 30,57 + 0,17 + 5,074 + 0,993 + 8,862 = 45,67 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму знаходимо за (3.17):

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 74,99 + 90,52)^2 + (2 \cdot 32,94 + 45,67)^2}} = 2,613 \text{ кА}.$$

3.1.4 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.2 (перед найвіддаленішим ЕП)

Розрахуємо струми КЗ у точці перед найбільш віддаленим електроприймачем (ЕП №47, вентилятор витяжний). Схеми кола, схеми заміщення прямої та нульової послідовностей ідентичні поданим у пункті 3.1.3.

У цьому пункті подаємо розрахунки, що відрізняються від поданих у п. 3.1.3.

Розраховуємо опір лінії КГВ $3 \times 120 + 1 \times 70$ від РПНН до ШРА-2 по (3.2), (3.3):

$$X_{кл2} = 0,063 \cdot 23,0 = 1,449 \text{ мОм};$$

$$R_{кл2} = 0,256 \cdot 23,0 = 5,888 \text{ мОм}.$$

Характеристики шинопроводу ШРА99 400 А: $l_{uu} = 18$ м (від вводу до відгалужувальної коробки ЕП №47); опір фази: активний $r_{uu} = 0,15$ мОм/м; реактивний $x_{1uu} = 0,17$ мОм/м; опір нульового провідника: активний $r_{nnuu} = 0,162$ мОм/м; реактивний $x_{nnuu} = 0,164$ мОм/м.

Опори ШРА (від вводу до коробки ЕП №47) визначаємо по (3.2), (3.3):

$$X_{1uu} = 0,17 \cdot 18 = 3,06 \text{ мОм};$$

$$R_{1uu} = 0,15 \cdot 18 = 2,7 \text{ мОм}.$$

Опори кабельної лінії КГВ $3 \times 2,5 + 1 \times 1,5$ довжиною $l_3 = 7,1$ м від відгалужувальної коробки до ЕП №47 визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{кл3} = 0,098 \cdot 7,1 = 0,6958 \text{ мОм};$$

$$R_{кл3} = 9,61 \cdot 7,1 = 68,23 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори прямої послідовності визначаємо за (3.22), (3.23):

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 5,888 + 3,78 + 68,23 + 0,21 = 94,28 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 + 1,449 + 3,78 + 0,6958 = 37,46 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму при трифазному КЗ визначаємо за (3.11):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{94,28^2 + 37,46^2}} = 2,276 \text{ кА}.$$

За формулами (3.12), (3.13)

$$T_a = \frac{37,46}{2\pi \cdot 50 \cdot 94,28} = 0,0013 \text{ с};$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0013}} = 1,000;$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 2,276 \cdot 1,000 = 3,220 \text{ кА}.$$

Отже, ШРА-2 400 А, що має електродинамічну стійкість 25 кА, стійкий.

Сумарний опір прямої послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за (3.14):

$$R'_{1\Sigma} = 94,28 + 15 = 109,3 \text{ мОм}.$$

Опір нульової послідовності кабельної лінії КГВ 3×120+1×70 від РПНН до ШРА-2 визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{0кл2} = 0,43 \cdot 23 = 9,89 \text{ мОм};$$

$$R_{0кл2} = 1,276 \cdot 23,0 = 29,35 \text{ мОм}.$$

Опір шинопроводу ШРА-2 (від вводу до відгалужувальної коробки ЕП №47) визначаємо по (3.24), (3.25):

$$R_{0ш} = 2,7 + 3 \cdot 0,162 \cdot 18 = 11,45 \text{ мОм};$$

$$X_{0ш} = 3,06 + 3 \cdot 0,164 \cdot 18 = 11,92 \text{ мОм}.$$

Опір нульової послідовності кабельної лінії КГВ 3×2,5+1×1,5 від ШРА-2 до ЕП №47 визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{0кл3} = 2,11 \cdot 7,1 = 14,98 \text{ мОм};$$

$$R_{0кл3} = 11,71 \cdot 7,1 = 83,14 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори нульової послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за (3.26), (3.27):

$$R_{0\Sigma} = 9,472 + 0,65 + 15,06 + 11,45 + 83,14 + 0,21 + 15 = 135,0 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = 30,57 + 0,17 + 5,074 + 11,92 + 14,98 = 62,72 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму визначаємо за (3.17):

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 109,3 + 133,8)^2 + (2 \cdot 37,46 + 66,24)^2}} = 1,826 \text{ кА}.$$

3.1.5 Розрахунок струмів КЗ в точці КЗ.3 (перед найпотужнішим ЕП)

Розрахуємо струми КЗ у точці перед одним із двох найбільш потужних електроприймачів - №2 (ВЧ установка для сушіння деревини).

Схеми кола, заміщення прямої та нульової послідовності представлені у пункті 3.1.3. Наведемо лише розрахунки, які відрізняються від представлених у пункті 3.1.3.

Опір ШРА99 400 А (від вводу до відгалужувальної коробки ЕП №2 $l_{uu} = 8,5$ м) визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{1uu} = 0,17 \cdot 8,5 = 1,445 \text{ мОм};$$

$$R_{1uu} = 0,15 \cdot 8,5 = 1,275 \text{ мОм}.$$

Параметри кабелю КГВ 3×50+1×25: $l_{uu} = 5,3$ м (від відгалужувальної коробки до ЕП №2); опір прямої послідовності - активний $r_1 = 0,769$ мОм/м; реактивний $x_1 = 0,066$ мОм/м; опір нульової послідовності - активний $r_0 = 2,449$ мОм/м; реактивний $x_0 = 0,949$ мОм/м.

Опір кабельної лінії від відгалужувальної коробки до ЕП №2 визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{клЗ} = 0,066 \cdot 5,3 = 0,3498 \text{ мОм};$$

$$R_{клЗ} = 0,769 \cdot 5,3 = 4,076 \text{ мОм}.$$

Сумарні опори прямої послідовності визначаємо за (3.22), (3.23):

$$R_{1\Sigma} = 6,053 + 9,472 + 0,65 + 3,021 + 1,275 + 4,076 + 0,21 = 24,76 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma} = 0,4444 + 0,3526 + 30,57 + 0,17 + 0,7434 + 1,445 + 0,3498 = 34,07 \text{ мОм}.$$

Початкове значення періодичної складової струму визначаємо за (3.11):

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{24,76^2 + 34,07^2}} = 5,483 \text{ кА}.$$

За формулами (3.12), (3.13)

$$T_a = \frac{34,07}{2\pi \cdot 50 \cdot 24,76} = 0,0044 \text{ с};$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,0044}} = 1,102;$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 5,483 \cdot 1,102 = 8,546 \text{ кА.}$$

Сумарний опір прямої послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за (3.14):

$$R'_{1\Sigma} = 24,76 + 15 = 39,76 \text{ мОм.}$$

Опір шинопроводу нульової послідовності визначаємо за (3.24), (3.25):

$$R_{0ш} = 1,275 + 3 \cdot 0,162 \cdot 8,5 = 5,406 \text{ мОм;}$$

$$X_{0ш} = 1,445 + 3 \cdot 0,164 \cdot 8,5 = 5,627 \text{ мОм.}$$

Опори нульової послідовності лінії від ШРА-1 до ЕП №2 визначаємо за (3.2), (3.3):

$$X_{0клЗ} = 0,949 \cdot 5,3 = 5,03 \text{ мОм;}$$

$$R_{0клЗ} = 2,449 \cdot 5,3 = 12,98 \text{ мОм.}$$

Сумарні опори нульової послідовності щодо точки КЗ з урахуванням опору дуги визначаємо за формулами (3.26), (3.27):

$$R_{0\Sigma} = 9,472 + 0,65 + 15,06 + 5,406 + 12,98 + 0,21 + 15 = 58,77 \text{ мОм;}$$

$$X_{0\Sigma} = 30,57 + 0,17 + 5,074 + 5,627 + 5,030 = 46,47 \text{ мОм.}$$

Початкове значення періодичної складової струму визначаємо за (3.17):

$$I_{n0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 39,76 + 58,77)^2 + (2 \cdot 34,07 + 46,47)^2}} = 3,857 \text{ кА.}$$

3.2 Вибір автоматичних вимикачів і запобіжників

Вибір автоматичних вимикачів і запобіжників представлено у додатку Б.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз умов праці, небезпек та шкідливих факторів у цеху

Робота на деревообробних верстатах характеризується високою точністю зорової роботи. Освітленість приміщень деревообробних цехів (відділень) слід обирати відповідно до стандарту ДБН В.2.5-28-2006 та проектувати за розрядом III. Нормована освітленість системи загального освітлення становить 300 лк.

Процеси механічної обробки деревини супроводжуються утворенням значної кількості тирси, стружок та деревного пилу. Обезпилювання – один з основних заходів з охорони праці та техніки безпеки. Опалення деревообробних цехів поєднується із припливною вентиляцією, яка компенсує витяжку від деревообробних верстатів. Цех забезпечують первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, бочками з водою, ящиками з піском, ломами, лопатами, відрами, сокирами, азбестовими полотнами).

Для сушіння деревини в цеху використовуються високочастотні установки 500 - 600 кГц на лампових генераторах споживаною потужністю 70 кВт. Вплив електромагнітних полів призводить до нагрівання тканин організму, а також змін на молекулярному рівні. Це викликає оборотні та незворотні зміни в організмі: гальмування рефлексів, зниження кров'яного тиску, уповільнення скорочень серця, зміну складу крові у бік збільшення лейкоцитів та зменшення еритроцитів, помутніння кришталика ока.

Електробезпека - система організаційних та технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

Небезпека електричного струму на відміну від інших небезпек погіршується тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити напругу дистанційно, як, наприклад, рухомі частини, розжарені об'єкти, відкриті люки, неогорожені краї майданчика, що знаходиться на висоті, тощо. Небезпека виявляється надто пізно - коли людина вже вражена.

Аналіз смертельних нещасних випадків з виробництва показує, що на частку поразок електричним струмом припадає до 40%, а в енергетиці – до 60%. Більшість смертельних електроуражень (до 80%) спостерігається в електроустановках напругою до 1000 В.

У деревообробному цеху більшість електроприймачів перебуває під напругою 380 В. У КТП та ВЧ установках для сушіння деревини є напруга вище 1000 В (до 10 кВ).

Проходячи через живі тканини, електричний струм має термічну, електролітичну та біологічну дію. Це призводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеве ураження тканин та органів, так і загальне ураження організму.

Посадовці та працівники цеху проходять навчання та перевірку знань «Правил безпечної експлуатації електроустановок» [19]. Працівнику, який пройшов перевірку знань цих Правил, надається група з електробезпеки, видається посвідчення встановленої форми, яке він повинен мати при собі під час виконання робіт. Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

Роботи на кабельних лініях, у діючих електроустановках, роботи в зонах дії струму високої частоти, іонізуючого випромінювання, електростатичного та електромагнітного полів, що виконуються черговими електриком та сушильником цеху, входять до переліку робіт із підвищеною небезпекою.

До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають їх схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання та пройшли навчання та перевірку знань.

В електроустановках понад 1000 В працівники зі складу оперативних чи оперативно-виробничих працівників, які одноосібно обслуговують електроустановки, а також старші у зміні повинні мати групу IV, решту – групу III.

При влаштуванні та експлуатації до сушарок деревини струмами високої частоти висуваються такі вимоги: екранування частою сіткою внутрішніх поверхонь приміщень (генераторного та сушильного); заземлення всіх металевих

частин та агрегатів, що знаходяться в приміщенні установки; генераторне приміщення та сушильна камера повинні бути виконані з вогнетривкого матеріалу; сушильна камера повинна виділятися відокремлено від інших приміщень; наявність проточної води з витратою не менше 30 л/хв та тиском близько 2 атм. для охолодження ламп; обслуговуючий персонал повинен мати спеціальний допуск для роботи на високовольтних установках; наявність автоматичного блокування дверей сушильної камери із генератором.

4.2 Розрахунок захисного заземлення

Згідно з Правилами улаштування електроустановок [5] для захисту людини від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції може бути застосований один з таких захисних засобів: мала напруга, вирівнювання потенціалів, подвійна ізоляція, роздільне живлення, захисне вимикання, захисне заземлення (занулення). Найбільш поширеними технічними засобами захисту є захисне заземлення та занулення, які мають чітку сферу застосування, тоді як сфера застосування інших захисних засобів або обмежена, або має рекомендаційний характер, або ж дуже вузьку сферу обов'язкового застосування. Захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, які доступні дотику людини і не мають інших засобів захисту, які забезпечують електробезпеку.

Мета розрахунку захисного заземлення - визначення кількості електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів і схеми розміщення в землі, при яких опір заземлювального пристрою розтіканню струму або напруга дотику при замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують допустимих значень.

Розрахунок, як правило, виконуються за умов однорідності ґрунту.

Заземлювальний пристрій складається із заземлювача і з'єднувальної смуги. Розрізняють заземлювачі штучні, які призначені тільки для цілей заземлення, і

природні (металеві конструкції і комунікації іншого призначення, які знаходяться у землі).

Як штучні заземлювачі використовують сталеві труби діаметром 35-50 мм і кутову сталь (40×40...60×60 мм з товщиною стінок не менше 3,5 мм і довжиною 2,5-3 м); пруткову сталь діаметром не менше 10 мм; сталеві шини перерізом 100 мм². Вертикальні заземлювачі з'єднують у контур смугою зі сталі перерізу не менше 6 мм² за допомогою зварювання.

Розрахунок заземлення робиться з урахуванням заданих допустимих значень опору R_d заземлювального пристрою, допустимої напруги дотику та кроку.

Загальні вимоги щодо значень R_d захисного заземлення електроустановок викладені у відповідному міждержавному стандарті «Захисне заземлення. Занулення» та ПУЕ [5].

Розрахунок заземлюючого пристрою з використанням штучних заземлювачів наведено в додатку В.

4.3 Розрахунок стійкості в умовах надзвичайної ситуації

Мета розробки підрозділу, присвяченого питанням безпеки в надзвичайних ситуаціях - закріпити знання та практичні навички, отримані в процесі навчання; підготувати випускника до дій у майбутній практичній діяльності зі здійснення заходів цивільного захисту від наслідків надзвичайних ситуацій мирного та воєнного часу відповідно до спеціальності; навчити оцінювати стійкість елементів об'єктів господарської діяльності в надзвичайних ситуаціях і визначати необхідні заходи щодо її підвищення; оцінювати інженерний захист і радіаційну, хімічну та інженерну обстановку; керувати підготовкою невоєнізованих формувань та проведенням рятувальних та інших невідкладних робіт на об'єктах господарської діяльності [21].

Підвищення стійкості роботи цеху є складним завданням, яке потребує великих матеріальних затрат і постійної уваги з боку керівництва підприємства,

місцевих органів виконавчої влади та цивільного захисту. Заходи щодо підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах воєнного часу проводяться як в мирний час, так і при загрозі нападу. На мирний час плануються трудомісткі заходи, які вимагають значних матеріальних затрат і часу. Економічна ефективність цих робіт досягається за узгодженості із завданнями щодо забезпечення безаварійної роботи, покращенні умов праці, вдосконаленні виробничого процесу.

Специфіка захисту деревообробного цеху від радіаційного забруднення і проникаючої радіації як факторів ураження зброї масового ураження полягає у тому, що деревина повинна бути особливо захищена від впливу радіації. Радіоактивне забруднення як фактор ураження при наземному ядерному вибуху відрізняється масштабністю, довготривалістю дії, зниженням ступеня дії з перебігом часу. Найбільш сильне забруднення виникає при наземних і неглибоких підземних ядерних вибухах (аварії на атомній електростанції), при яких утворюється потужна хмара з радіоактивних продуктів. Попадання радіоактивних речовин на одяг, шкіру, слизові оболонки очей, носа, рота і всередину організму разом із забрудненою їжею, водою і повітрям призводить до захворювання хронічною променевою хворобою. Оскільки, радіоактивне забруднення і проникаюча радіація практично в основному впливає на виробничу діяльність об'єктів національної економіки через ураження робітників, службовців та населення, тому потрібно особливу увагу надавати забезпеченню населення надійними сховищами, протирадіаційними укриттями і засобами індивідуального захисту.

Для підвищення стійкості роботи деревообробного цеху необхідно провести дослідження наявної стійкості та провести науково обґрунтовані заходи, які можуть внести позитивні зміни. Дослідження стійкості роботи об'єктів національної економіки полягає у всебічному вивченні умов, які можуть скластися у воєнний час, а також у визначенні їх впливу на виробничу діяльність підприємства. Метою дослідження є виявлення вразливих місць в роботі об'єкта у мирний та воєнний час і формулювання найбільш ефективних пропозицій і рекомендацій, спрямованих на підвищення його стійкості. Ці рекомендації

включаються в план заходів щодо підвищенні стійкості об'єкта у воєнний час. В плані вказуються розрахункова вартість проведення заходів, джерела фінансування, сили і засоби, необхідні матеріали, строки виконання і відповідальні особи. Найбільш трудомісткі роботи (будівництво захисних споруд, прокладання підземних комунікацій і т.д.) виконуються завчасно у мирний час. Заходи, які не потребують значних затрат часу, або виконання яких в мирний час не потрібне або і неможливе, проводяться в період загрози нападу потенційного противника.

Після реконструкції деревообробного цеху були проведені заходи, спрямовані на підвищення стійкості підприємства під час воєнних дій. Зокрема, було встановлено потужний дизель-генератор для забезпечення електроенергією у випадку пориву електромереж, укріплено склади для зберігання деревини і запасу пального.

Оцінку стійкості роботи деревообробного цеху до впливу радіоактивного забруднення і проникаючої радіації ядерного вибуху наведено в додатку Г.

Аналіз результатів оцінки роботи деревообробного цеху заводу в умовах впливу проникаючої радіації і радіоактивного забруднення дозволяє зробити наступні висновки:

1. Об'єкт може виявитися в зоні В небезпечного радіоактивного забруднення з максимальним рівнем радіації близько 500 Р год на 1 год. після вибуху. Дія проникаючої радіації малоімовірна.

2. Деревообробний цех нестійкий до впливу радіоактивного забруднення. Захисні властивості будівлі цеху не забезпечують безперервність роботи протягом встановленого часу робочої зміни (12 год) в умовах очікуваного максимального рівня радіації (робітники одержать дозу опромінення 115 Р, що суттєво більше допустимої дози на воєнний час $D_{дон} = 50$ Р). Межа стійкості роботи цеху в умовах радіоактивного забруднення $P_{lim} = 108$ Р/год.

3. Укриття заводу забезпечує надійний захист виробничого персоналу в умовах радіоактивного забруднення. Доза опромінення за 12 годин перебування в ньому складає 0,109 Р, що значно нижче допустимої дози одномоментного опромінення.

4. З метою підвищення стійкості роботи деревообробного цеху в умовах радіоактивного забруднення необхідно провести наступні заходи:

- підвищити ступінь герметизації приміщень цеху, для чого: забезпечити щільне закриття вікон і дверей; підготувати щити для закриття віконних отворів у будівлі цеху у випадку руйнування застакління; передбачити на період загрози нападу противника замурування цеглою однієї третини площі віконних отворів;

- підготувати систему вентиляції цеху до роботи в режимі очищення повітря від радіоактивного пилу, обладнавши її сітчастим масляним протипиловим фільтром і перемикачами виду роботи;

- розробити режими радіаційного захисту робітників та службовців і роботи деревообробного цеху в умовах радіоактивного забруднення місцевості.

Висновки:

Розглянуто низку заходів, що забезпечують захист інженерно-технічного комплексу від уражаючих факторів ядерного вибуху та ліквідацію наслідків воєнних дій. Проведена оцінка стійкості роботи деревообробного цеху до радіоактивного забруднення і проникаючої радіації при можливих параметрах ядерного вибуху. Оцінка показала, що будівля деревообробного цеху не стійка до радіоактивного забруднення, а укриття в сховищі забезпечує надійний захист робітників та службовців. Використовуючи рекомендації щодо підвищення стійкості об'єктів національної економіки, запропоновано низку заходів, які можуть здійснити позитивний вплив на роботу цеху.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи спроектовано електропостачання групи промислових електричних навантажень напругою 0,4 кВ (деревообробного цеху).

1. Подано класифікацію та загальні характеристики споживачів цеху. З погляду надійності електропостачання основну частину електроприймачів віднесено до III категорії.

2. Вибрано методи розрахунку електричних навантажень. Електричні навантаження на вибір силового трансформатора, розподільних шинопроводів, силових пунктів розраховані методом розрахункового коефіцієнта, електричне освітлення цеху – методом питомої потужності.

3. Визначено розрахункові навантаження деревообробного цеху: розрахункова активна потужність з урахуванням освітлення становить 187,8 кВт, реактивна потужність – 194,4 кВАр, повна потужність – 270,3 кВА.

4. Визначено центр електричних навантажень та місце розташування цехової трансформаторної підстанції. У зв'язку з тим, що розташування КТП у центрі електричних навантажень, виправдане з економічної точки зору, технологічно не реалізується, цехова КТП винесена за межі цеху і є прибудованою.

5. Проведено вибір числа та потужності цехових трансформаторів. Прийнято рішення про використання однострансформаторної підстанції. З умовою дотримання заходів протипожежної безпеки, обумовлених у Правилах улаштування електроустановок, обрано маслонаповнений силовий трансформатор ТМГ-250/10, який удвічі дешевший за сухий.

6. Вирішене питання компенсації реактивної потужності, визначено її потужність з одночасним розрахунком пристроїв компенсації реактивної потужності. Вибрано місце розташування пристроїв компенсації реактивної потужності - двох конденсаторних установок УКРМ-0,4-80-10.

7. Прийнято рішення про «глухий ввід» високої напруги, розраховані навантаження на стороні 10 кВ і обрана кабельна лінія живлення 10 кВ (кабель ААБл 3×35-10).

8. Попередньо вибрано два варіанти схеми розподільної мережі – з розподільними шинопроводами та силовими пунктами. Схема з силовими пунктами, дешевша з погляду одноразових капіталовкладень і дещо надійніша, проте поступається схемі з розподільчими шинопроводами за результатами техніко-економічного порівняння, через високі щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії. У зв'язку з цим остаточно прийнята схема мережі з розподільними шинопроводами.

9. Виконано розрахунок струмів короткого замикання та на його основі перевірено на електродинамічну стійкість кабелі та шинопроводи, вибрано автоматичні вимикачі та запобіжники.

10. У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розраховано захисне заземлення цеху, досліджено стійкість цеху, його системи електропостачання, захищеність робітників та службовців в умовах радіоактивного забруднення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Корюков С.В. Забезпечення надійності системи електропостачання деревообробного цеху / І.М. Сисак, С.В. Корюков // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 6-7 грудня 2023. — Т : ТНТУ, 2023. - 500 с.

2. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. - Д.: НГУ, 2015. - 540 с.

4. Види та призначення деревообробних верстатів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://storgom.ua/ua/novosti/vidy-i-naznachenie-derevoobrabatyvayustih-stankov.html>

5. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України.– Харків: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

6. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. - Харків: ФОП Панов А. М., 2016. - 272 с.

7. Василега П. О. Електропостачання : підручник / П. О. Василега. Суми : Сумський державний університет, 2019. - 521 с.

8. Козирський В.В. Електропостачання агропромислового комплексу: підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. К.: Аграрна освіта, 2011. - 448 с.

9. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник / Маліновський А.А., Хохулін Б.К. - 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. - 436 с.

10. Світлодіодні світильники типу ДРП KOA LINE COB/GL S/EW 327 W [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.technikwebshop.nl/performance-in-lighting-halstraler-06242294-8021944101990-voor-lampvermogen-327w.html>
11. Трансформатори силові типу ТМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uea.com.ua/products/tmg-2/>
12. Підстанція трансформаторна комплектна КТПЦ 250...2500/10(6)/0,4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://eastexpress.com.ua/products/podstanczii-transformatornye-komplektnye-ktpcz-250-2500-106-04-uz/>
13. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування. Навчальний посібник. - Суми: ВТД “Університетська книга”, 2007. - 280 с.
14. Кабель ААБл 3х35(ож)-10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.yuzhcable.info/edata/mrr/150701101003000035>
15. Роздільний шинопровід ШРА [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://eastexpress.com.ua/products/rasperedelitelnye-shinoprovody-shra/>
16. Автоматичні вимикачі 3VT у литому корпусі до 1600 А [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b0b11d01-f72a-4eac-b046-996a1c296889/avtomatychnyy-vymykach-v-lytomu-korpusi-ekonom-seriya-3vt-16a-16.pdf>
17. Кабелі КГВ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://www.yuzhcable.info/cat/26/mri/260101>
18. Установки компенсації реактивної потужності УКРМ-0,4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eastexpress.com.ua/products/ustanovki-kompensaczii-reaktivnoj-moshhnosti-ukrm-04/>
19. Правила безпечної експлуатації електроустановок. // Офіційний вісник України. – 1998. - № 3.

20. Бондаренко Є. А. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка навч. посіб. / Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. - Вінниця : ВНТУ, 2018. - 120 с.

21. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях : методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» / В.С.Стручок. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, 2022. – 155 с.

22. Демиденко Г. П. Захист об'єктів народного господарства від зброї масового ураження: Довідник / Г.П. Демиденко, Є.П. Кузьменко, П.П. Орлов та ін. – К.: Вища шк., 1990. – 340 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Техніко-економічне порівняння двох варіантів схем розподільчої мережі

Вартість кабелю марки КГВ, стійкого до розповсюдження полум'я та використовуваного у двох варіантах розподільної мережі визначена за каталогом заводу-виготовлювача (ПАТ «Завод «Южкабель»») та наведена у таблиці А.1.

Норми амортизаційних відрахувань на кабельні лінії та шинопроводи до 10 кВ, прокладені у приміщеннях, - 2,4%, на експлуатацію – приймаються рівними нулю. Норми амортизаційних відрахувань на силове електротехнічне обладнання та розподільчі пристрої до 150 кВ приймаємо – 6,3%, на експлуатацію – 3%.

Таблиця А.1 – Характеристики кабелів КГВ

Перетин, мм ²	Вартість, грн/м, з ПДВ	Опір жили, Ом/км
3×2,5+1×1,5	61.35	7.4
3×4+1×2,5	92.31	4.6
3×6+1×4	128.12	3.07
3×10+1×6	206.45	1.84
3×16+1×10	342.08	1.15
3×25+1×16	504.26	0.74
3×35+1×16	675.24	0.52
3×50+1×25	947.59	0.37
3×70+1×25	1315.12	0.26
3×95+1×50	1786.49	0.194
3×120+1×70	2239.87	0.153

Тариф на електроенергію для промисловості приймаємо у 2024 року 5,20 грн за кВт·год без ПДВ, або 6,24 грн із ПДВ.

А.1 Розрахунок приведених затрат магістральної мережі

Капітальні вкладення в улаштування магістральної мережі включають придбання та встановлення кабелів КГВ та розподільчих шинопроводів ШРА99.

У РПНН КТП встановлюються вимикачі автоматичні фірми Siemens. На лінії ШРА-1 – автоматичний вимикач типу 3VT3, комутуючий блок ВН630NE305, ціна 312,84 євро без ПДВ, 15842,22 грн з ПДВ; розчеплювач максимального струму SE-ВН-0315-L001, ціна 194,92 євро без ПДВ, 9870,75 грн з ПДВ; на лінії ШРА-2 – автоматичний вимикач типу 3VT2, комутуючий блок BD250NE305, ціна 98,12 євро без ПДВ, 4968,80 грн з ПДВ, розчеплювач максимального струму SE-BD-0250-L001, ціна 187,00 євро без ПДВ, 9469,68 грн з ПДВ.

Також у РПНН встановлюються автоматичні вимикачі для підключення крана, освітлення, які є однаковими для порівнюваних варіантів і в техніко-економічне порівняння не включаються.

У таблицю А.2 зведемо потреби у елементах шинопроводу та його ціни з каталогу заводу-виробника. Попередньо приймаємо для всіх електроприймачів коробки відгалужувальні У4031 із запобіжниками, для УКРМ – коробки відгалужувальні У4033 із роз'єднувачем (запобіжник встановлений в УКРМ).

Таблиця А.2 – Капітальні вкладення в улаштування шинопроводів магістральної схеми

Елементи шинопроводу	Тип	Струм, А	Кількість	Ціна за штуку, грн	Ціна, грн
ввідні секції	У4030	250	1	1017.38	1017.38
	У4056	400	1	1504.48	1504.48
секції прямі 1 м на 2 відгалуження	У4020	250	2	706.08	1412.16
	У4040	400	2	861.58	1723.16
секції прямі 3 м на 2 відгалуження	У4018	250	3	1229.50	3688.49
	У4054	400	2	1416.28	2832.56
секції прямі 3 м на 4 відгалуження	У4022	250	4	1280.92	5123.70
	У4042	400	5	1567.35	7836.77
секції 3 м прогончні	У4021	250	2	1144.35	2288.69
	У4021	400	2	1388.81	2777.63
відгалужувальні коробки	У4031		46	1105.74	50864.02
	У4033		2	1160.68	2321.35

Продовження таблиці А.2

торцеві заглушки	У4028	250	2	134.14	268.27
	У4050	400	2	141.61	283.23
кронштейн	У4081		12	107.13	1285.50
стійка	У4084		10	441.78	4417.77
Разом					89645.18

До таблиці А.3 зведемо потреби в кабелях та їх ціни по каталогу заводу-виробника.

Таблиця А.3 – Капітальні вкладення в улаштування кабельних ліній магістральної схеми

Точки підключення		Переріз жил кабелю, мм ²	Ціна 1 м кабелю, грн	Довжина кабелю <i>l</i> , м	Ціна кабельної лінії, грн
Початок	Кінець				
РПНН	ШРА-1	3×120+1×70	2239.87	11.8	26462.46
РПНН	ШРА-2	3×120+1×70	2239.87	23.0	51421.02
ШРА-1	ЕП №1	3×2,5+1×1,5	61.35	8.0	492.55
ШРА-1	ЕП №2	3×50+1×25	947.59	5.3	5035.76
ШРА-2	ЕП №3	3×25+1×16	504.26	5.0	2535.71
ШРА-2	ЕП №4	3×25+1×16	504.26	5.0	2535.71
ШРА-2	ЕП №5	3×50+1×25	947.59	5.3	5035.76
ШРА-2	ЕП №6	3×2,5+1×1,5	61.35	8.0	492.55
ШРА-1	ЕП №7	3×4+1×2,5	92.31	3.9	358.69
ШРА-1	ЕП №8	3×4+1×2,5	92.31	7.0	648.81
ШРА-2	ЕП №9	3×4+1×2,5	92.31	7.0	648.81
ШРА-2	ЕП №10	3×4+1×2,5	92.31	3.9	358.69
ШРА-1	ЕП №11	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-1	ЕП №12	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-1	ЕП №13	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №14	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №15	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №16	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №17	3×2,5+1×1,5	61.35	8.0	492.55
ШРА-1	ЕП №18	3×2,5+1×1,5	61.35	8.0	492.55

Продовження таблиці А.3

ШРА-1	ЕП №19	3×2,5+1×1,5	61.35	8.9	545.14
ШРА-1	ЕП №20	3×2,5+1×1,5	61.35	5.0	308.50
ШРА-1	ЕП №21	3×2,5+1×1,5	61.35	8.6	527.61
ШРА-1	ЕП №22	3×2,5+1×1,5	61.35	8.4	514.46
ШРА-1	ЕП №23	3×2,5+1×1,5	61.35	4.7	290.97
ШРА-1	ЕП №24	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	273.45
ШРА-1	ЕП №25	3×2,5+1×1,5	61.35	8.0	492.55
ШРА-1	ЕП №26	3×2,5+1×1,5	61.35	7.8	479.41
ШРА-1	ЕП №27	3×2,5+1×1,5	61.35	8.1	496.94
ШРА-1	ЕП №28	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	273.45
ШРА-1	ЕП №29	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	277.83
ШРА-1	ЕП №30	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	273.45
ШРА-1	ЕП №31	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	277.83
ШРА-2	ЕП №32	3×25+1×16	504.26	6.9	3472.19
ШРА-1	ЕП №33	3×25+1×16	504.26	6.8	3436.17
ШРА-2	ЕП №35	3×2,5+1×1,5	61.35	8.2	505.70
ШРА-2	ЕП №36	3×2,5+1×1,5	61.35	8.5	518.85
ШРА-2	ЕП №37	3×2,5+1×1,5	61.35	5.5	339.18
ШРА-2	ЕП №38	3×2,5+1×1,5	61.35	5.5	339.18
ШРА-2	ЕП №39	3×2,5+1×1,5	61.35	8.1	496.94
ШРА-2	ЕП №40	3×2,5+1×1,5	61.35	8.1	496.94
ШРА-2	ЕП №41	3×2,5+1×1,5	61.35	8.1	496.94
ШРА-2	ЕП №42	3×2,5+1×1,5	61.35	8.1	496.94
ШРА-2	ЕП №43	3×2,5+1×1,5	61.35	6.0	369.85
ШРА-2	ЕП №44	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №45	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №46	3×2,5+1×1,5	61.35	4.2	260.30
ШРА-2	ЕП №47	3×2,5+1×1,5	61.35	7.1	435.59
Разом					115790.34

Таким чином, одноразові капітальні вкладення в облаштування магістральної розподільчої мережі K включають вартість автоматичних вимикачів ($K_{ав} = 15842,22 + 9870,75 + 4968,80 + 9469,68 = 40151,44$ грн), шинопроводів ($K_{ш} = 89645,18$ грн), кабельних ліній ($K_{к} = 115790,34$ грн):

$$K = 40151,44 + 89645,18 + 115790,34 = 245586,96 \text{ грн.}$$

Визначимо щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії C_e . Річні навантажувальні (на нагрівання проводів) втрати електроенергії в активних елементах мережі ΔW складаються із втрат на кабелях між РПНН і ШРА-1, ШРА-2 ($\Delta W_{\kappa 1}$ и $\Delta W_{\kappa 2}$), втрат у ШРА-1, ШРА-2 (ΔW_{u1} и ΔW_{u2}), і втрат на кабелях між ШРА-1, ШРА-2 та електроприймачами (ΔW_{en}).

За розрахунковим струмом ШРА I_p знаходимо втрати на кабелі між РПНН і ШРА за формулою:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot R, \quad (\text{A.1})$$

де $R = l \cdot r$ - опір жили кабелю (шини), Ом;

l - довжина кабелю (шинопроводу), км;

r - активний опір жили (шини), Ом/км.

Втрати на кабелі між РПНН і ШРА-1

$$\Delta P_{\kappa 1} = 3 \cdot 259,0^2 \cdot 0,012 \cdot 0,256 = 607,8 \text{ Вт.}$$

Втрати на кабелі між РПНН і ШРА-2

$$\Delta P_{\kappa 2} = 3 \cdot 243,9^2 \cdot 0,023 \cdot 0,256 = 1051,2 \text{ Вт.}$$

Втрати в шинопроводах визначаємо за формулою (Г.1), а опір R однієї шини – за формулою :

$$R = R_0 \cdot l \cdot \frac{1}{6} \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot \left(2 + \frac{1}{n}\right), \quad (\text{A.2})$$

де R_0 - питомий електричний опір ШРА, Ом/км;

l - довжина ШРА, км;

n - кількість ЕП, що підключені до ШРА.

Таким чином, для ШРА-1

$$\Delta P_{u1} = 3 \cdot 259,0^2 \cdot 0,15 \cdot 0,030 \cdot \frac{1}{6} \cdot \left(1 + \frac{1}{23}\right) \cdot \left(2 + \frac{1}{23}\right) = 321,8 \text{ Вт;}$$

для ШРА-2

$$\Delta P_{u2} = 3 \cdot 243,9^2 \cdot 0,15 \cdot 0,030 \cdot \frac{1}{6} \cdot \left(1 + \frac{1}{23}\right) \cdot \left(2 + \frac{1}{23}\right) = 285,5 \text{ Вт.}$$

Втрати на кабелях між ШРА-1, ШРА-2 і електроприймачами ΔP_{en} визначаємо за формулою (А.1). Результати розрахунків зведемо до таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Втрати в кабелях від ШРА до електроприймачів

ШРА	№ ЕП	Переріз жил кабелю, мм ²	Довжина кабелю l , м	Опір жили, Ом/км	Опір кабелю R , Ом	Струм ЕП I_p , А	Втрати в кабелі ΔP_{en} , Вт
ШРА-1	1	3×120+1×70	8.0	0.153	0.0369	13.5	20.2
ШРА-1	2	3×120+1×70	5.3	0.153	0.0020	126.3	94.1
ШРА-2	3	3×2,5+1×1,5	5.0	7.4	0.0026	86.6	58.8
ШРА-2	4	3×50+1×25	5.0	0.37	0.0026	86.6	58.8
ШРА-2	5	3×25+1×16	5.3	0.74	0.0020	126.3	94.1
ШРА-2	6	3×25+1×16	8.0	0.74	0.0369	13.5	20.2
ШРА-1	7	3×50+1×25	3.9	0.37	0.0119	28.9	29.9
ШРА-1	8	3×2,5+1×1,5	7.0	7.4	0.0216	28.9	54.1
ШРА-2	9	3×4+1×2,5	7.0	4.6	0.0216	28.9	54.1
ШРА-2	10	3×4+1×2,5	3.9	4.6	0.0119	28.9	29.9
ШРА-1	11	3×4+1×2,5	4.2	4.6	0.0195	11.6	7.9
ШРА-1	12	3×4+1×2,5	4.2	4.6	0.0195	11.6	7.9
ШРА-1	13	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	11.6	7.9
ШРА-2	14	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	8.7	4.4
ШРА-2	15	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	8.7	4.4
ШРА-2	16	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	8.7	4.4
ШРА-2	17	3×2,5+1×1,5	8.0	7.4	0.0369	11.6	14.9
ШРА-1	18	3×2,5+1×1,5	8.0	7.4	0.0369	11.6	14.9
ШРА-1	19	3×2,5+1×1,5	8.9	7.4	0.0409	6.4	5.0
ШРА-1	20	3×2,5+1×1,5	5.0	7.4	0.0231	6.4	2.8
ШРА-1	21	3×2,5+1×1,5	8.6	7.4	0.0396	13.5	21.6
ШРА-1	22	3×2,5+1×1,5	8.4	7.4	0.0386	13.5	21.1
ШРА-1	23	3×2,5+1×1,5	4.7	7.4	0.0218	11.6	8.8
ШРА-1	24	3×2,5+1×1,5	4.5	7.4	0.0205	11.6	8.3
ШРА-1	25	3×2,5+1×1,5	8.0	7.4	0.0369	11.6	14.9
ШРА-1	26	3×2,5+1×1,5	7.8	7.4	0.0359	13.5	19.7
ШРА-1	27	3×2,5+1×1,5	8.1	7.4	0.0373	13.5	20.4
ШРА-1	28	3×2,5+1×1,5	4.5	7.4	0.0205	13.5	11.2

Продовження таблиці А.4

ШРА-1	29	3×2,5+1×1,5	4.5	7.4	0.0208	13.5	11.4
ШРА-1	30	3×2,5+1×1,5	4.5	7.4	0.0205	3.2	0.6
ШРА-1	31	3×2,5+1×1,5	4.5	7.4	0.0208	3.2	0.6
ШРА-2	32	3×25+1×16	6.9	0.74	0.0051	63.5	61.6
ШРА-1	33	3×25+1×16	6.8	0.74	0.0050	63.5	61.0
ШРА-2	35	3×2,5+1×1,5	8.2	7.4	0.0379	3.2	1.2
ШРА-2	36	3×2,5+1×1,5	8.5	7.4	0.0389	3.2	1.2
ШРА-2	37	3×2,5+1×1,5	5.5	7.4	0.0254	6.4	3.1
ШРА-2	38	3×2,5+1×1,5	5.5	7.4	0.0254	6.4	3.1
ШРА-2	39	3×2,5+1×1,5	8.1	7.4	0.0373	11.6	15.0
ШРА-2	40	3×2,5+1×1,5	8.1	7.4	0.0373	11.6	15.0
ШРА-2	41	3×2,5+1×1,5	8.1	7.4	0.0373	3.2	1.1
ШРА-2	42	3×2,5+1×1,5	8.1	7.4	0.0373	3.2	1.1
ШРА-2	43	3×2,5+1×1,5	6.0	7.4	0.0277	11.6	11.2
ШРА-2	44	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	29.0	49.2
ШРА-2	45	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	29.0	49.2
ШРА-2	46	3×2,5+1×1,5	4.2	7.4	0.0195	29.0	49.2
ШРА-2	47	3×2,5+1×1,5	7.1	7.4	0.0327	13.5	17.9
Разом							1067.8

Таким чином, загальні втрати на кабелях між ШРА-1, ШРА-2 і електроприймачами $\Delta P_{en} = 1067,8$ Вт.

Результати розрахунку втрат потужності в магістральній схемі розподілу електроенергії зведемо до таблиці А.5.

Таблиця А.5 – Результати розрахунку втрат потужності в магістральній схемі

Ділянка розподільчої мережі	Значення втрат, Вт
Кабель між РПНН і ШРА-1	607.8
Кабель між РПНН і ШРА-2	1051.2
ШРА-1	321.8
ШРА-2	285.5
Кабелі між ШРА-1, ШРА-2 і електроприймачами	1067.8
Разом (ΔP_{max})	3334.1

Приймаючи кількість годин використання максимального навантаження $T_m = 3000$, отримаємо за формулою (1.6):

$$\tau = (0,124 + 3000 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 1574,8 \text{ год.}$$

Річні змінні втрати електроенергії в активних елементах мережі визначаємо за формулою (1.5):

$$\Delta W = \frac{3334,1 \cdot 1574,8}{1000} = 5250,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Визначаємо щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії за формулою (1.7):

$$C_g = 6,24 \cdot 5250,6 = 32763,8 \text{ грн.}$$

При визначенні щорічних експлуатаційних витрат приймаємо норми амортизаційних відрахувань на кабельні лінії, що прокладені у приміщеннях, - 2,4%, на експлуатацію – приймаються рівними нулю; норми амортизаційних відрахувань на вимикачі – 6,3%, експлуатацію – 3% .

Раніше були розраховані:

- капітальні вкладення в ШРА (89645,18 грн) і кабельні лінії (115790,34 грн), разом 205435,52 грн;
- капітальні вкладення у вимикачі 40151,44 грн;
- сумарні капітальні витрати $205435,52 + 40151,44 = 245586,96$ грн.

Щорічні експлуатаційні витрати за формулою (1.3)

$$C_e = 2,4\% \cdot 205435,52 + 6,3\% \cdot 40151,44 + 3\% \cdot 40151,44 + 32763,80 = 40229,99 \text{ грн.}$$

Приведені витрати при виборі магістральної схеми визначаємо за формулою (1.2):

$$Z_m = 0,125 \cdot 245586,96 + 40229,99 = 70928,36 \text{ грн.}$$

А.2 Розрахунок приведених витрат радіальної мережі

Капітальні вкладення в улаштування радіальної розподільної мережі включають придбання та встановлення кабелів КГВ та силових пунктів РПМ75.

У РПНН КТП встановлюються вимикачі автоматичні фірми Siemens. На лініях РП-1 та РП-6 – вимикачі типу 3VT2, комутуючий блок BD250NE305, ціна 98,12 євро без ПДВ, 4968,80 грн з ПДВ, розчеплювач максимального струму SE-BD-0250-L001, ціна 187,00 євро без ПДВ, 9469,68 грн з ПДВ; на лініях РП-2, РП-3, РП-5 – вимикачі типу 3VT1 BC160NT305-40-L, ціна 65,56 євро без ПДВ, 3319,96 грн з ПДВ; на лінії РП-4 – вимикач типу 3VT1 BC160NT305-80-L, ціна 69,08 євро без ПДВ, 3498,21 грн з ПДВ.

За каталогами виробника, ціна шафи СПМ75-4 7142 грн, СПМ75-9 - 7462 грн. Одноразові капітальні вкладення в частині придбання та встановлення вимикачів та силових пунктів:

$$K_{ав} = 2 \cdot (4968,80 + 9469,68) + 3 \cdot 3319,96 + 3498,21 = 42335,04 \text{ грн.}$$

$$K_{сн} = 4 \cdot 7142 + 2 \cdot 7462 = 43491 \text{ грн.}$$

У таблицю А.6 зведемо потреби у кабелях та ціни кабелю по каталогу заводу-виробника, розрахуємо капітальні вкладення в устрій кабельних ліній магістральної схеми K_k . Отримуємо $K_k = 143\,058,58$ грн.

Таким чином, одноразові капітальні вкладення в облаштування радіальної розподільчої мережі

$$K = K_{ав} + K_{сн} + K_k = 42335,04 + 43491,00 + 143058,58 = 228885,62 \text{ грн.}$$

Таблиця А.6 – Капітальні вкладення в облаштування кабельних ліній радіальної схеми

Точки підключення		Переріз жил кабелю, мм ²	Ціна 1 м кабелю, грн	Довжина кабелю l , м	Ціна кабельної лінії, грн
Початок	Кінець				
РУНН	РП-1	3×95+1×50	1786.49	17.2	30711.51
РУНН	РП-2	3×4+1×2,5	92.31	9.3	857.13
РУНН	РП-3	3×6+1×4	128.12	20.8	2670.83
РУНН	РП-4	3×16+1×6	342.08	37.5	12838.01
РУНН	РП-5	3×4+1×2,5	92.31	24.5	2262.05
РУНН	РП-6	3×95+1×50	1786.49	30.7	54855.37
РП-1	ЕП №1	3×2,5+1×1,5	61.35	4.9	302.26

Продовження таблиці А.6

РП-1	ЕП №2	3×50+1×25	62.04	3.8	3559.24
РП-1	ЕП №3	3×35+1×16	39.63	6.2	3148.55
РП-6	ЕП №4	3×35+1×16	39.63	4.8	2410.61
РП-6	ЕП №5	3×2,5+1×1,5	61.35	2.6	2449.87
РП-6	ЕП №6	3×4+1×2,5	9.53	7.0	427.95
РП-1	ЕП №7	3×6+1×4	11.95	9.3	860.06
РП-1	ЕП №8	3×6+1×4	11.95	15.3	1413.92
РП-6	ЕП №9	3×6+1×4	11.95	15.2	1400.41
РП-6	ЕП №10	3×6+1×4	11.95	9.8	900.59
РП-1	ЕП №11	3×2,5+1×1,5	61.35	12.0	733.21
РП-2	ЕП №12	3×2,5+1×1,5	61.35	5.8	356.13
РП-2	ЕП №13	3×2,5+1×1,5	61.35	8.3	508.76
РП-5	ЕП №14	3×2,5+1×1,5	61.35	4.3	266.35
РП-5	ЕП №15	3×2,5+1×1,5	61.35	3.2	194.52
РП-5	ЕП №16	3×2,5+1×1,5	61.35	6.2	383.06
РП-5	ЕП №17	3×2,5+1×1,5	61.35	7.3	445.91
РП-2	ЕП №18	3×2,5+1×1,5	61.35	9.9	607.51
РП-2	ЕП №19	3×2,5+1×1,5	61.35	3.3	203.50
РП-2	ЕП №20	3×2,5+1×1,5	61.35	4.6	284.30
РП-2	ЕП №21	3×2,5+1×1,5	61.35	5.5	338.17
РП-2	ЕП №22	3×2,5+1×1,5	61.35	7.6	463.87
РП-2	ЕП №23	3×2,5+1×1,5	61.35	6.5	401.02
РП-3	ЕП №24	3×2,5+1×1,5	61.35	9.9	607.51
РП-3	ЕП №25	3×2,5+1×1,5	61.35	7.9	481.82
РП-3	ЕП №26	3×2,5+1×1,5	61.35	4.3	266.35
РП-3	ЕП №27	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	275.33
РП-3	ЕП №28	3×2,5+1×1,5	61.35	7.9	481.82
РП-3	ЕП №29	3×2,5+1×1,5	61.35	7.0	427.95
РП-3	ЕП №30	3×2,5+1×1,5	61.35	9.0	553.65
РП-3	ЕП №31	3×2,5+1×1,5	61.35	8.7	535.69
РП-4	ЕП №32	3×16+1×6	342.08	7.7	2636.52
РП-4	ЕП №33	3×16+1×6	342.08	14.1	4839.18
РП-6	ЕП №35	3×2,5+1×1,5	61.35	11.4	697.30
РП-6	ЕП №36	3×2,5+1×1,5	61.35	12.4	760.14
РП-6	ЕП №37	3×2,5+1×1,5	61.35	9.0	553.65

Продовження таблиці А.6

РП-5	ЕП №38	3×2,5+1×1,5	61.35	5.2	320.22
РП-5	ЕП №39	3×2,5+1×1,5	61.35	6.4	392.04
РП-5	ЕП №40	3×2,5+1×1,5	61.35	8.4	517.73
РП-4	ЕП №41	3×2,5+1×1,5	61.35	8.4	517.73
РП-4	ЕП №42	3×2,5+1×1,5	61.35	6.8	418.98
РП-5	ЕП №43	3×2,5+1×1,5	61.35	4.5	275.33
РП-4	ЕП №44	3×2,5+1×1,5	61.35	3.9	239.41
РП-4	ЕП №45	3×2,5+1×1,5	61.35	4.9	302.26
РП-4	ЕП №46	3×2,5+1×1,5	61.35	6.2	383.06
РП-4	ЕП №47	3×2,5+1×1,5	61.35	5.2	320.22
Разом					143058.58

Визначимо щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії C_n . Річні навантажувальні (на нагрівання проводів) втрати електроенергії в активних елементах мережі ΔW складаються із втрат на кабелях між РПНН та силовими пунктами та між силовими пунктами та електроприймачами.

Втрати потужності на кабелі визначаємо за формулою (2.39).

Так, для кабелю між РПНН та РП-1:

$$\Delta P_k = 3 \cdot 186,4^2 \cdot 0,194 \cdot 0,0172 = 347,6 \text{ Вт.}$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці А.7.

Річні змінні втрати електроенергії в активних елементах мережі визначаємо за формулою (1.5):

$$\Delta W = \frac{4521,3 \cdot 1574,8}{1000} = 7120,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

За формулою (1.7) визначаємо щорічні витрати на відшкодування втрат електроенергії:

$$C_g = 6,24 \cdot 7120,4 = 44431,08 \text{ грн.}$$

При визначенні щорічних експлуатаційних витрат приймаємо норми амортизаційних відрахувань на кабельні лінії, що прокладені у приміщеннях, - 2,4%, на експлуатацію – приймаємо рівними нулю; норми амортизаційних відрахувань на вимикачі та силові пункти – 6,3%, на експлуатацію – 3%.

Таблиця А.7 – Втрати потужності в кабелях радіальної схеми

Початок кабелю	Кінець кабелю	Переріз жил кабелю, мм ²	Довжина кабелю l , м	Опір жили, Ом/км	Опір кабелю R , Ом	Струм ЕП I_p , А	Втрати в кабелі $\Delta P_{ес}$, Вт
РПНН	РП-1	3×95+1×50	17.2	0.194	0.00333	186.4	347.6
РПНН	РП-2	3×6+1×4	9.3	4.6	0.04271	34.9	156.1
РПНН	РП-3	3×10+1×6	20.8	3.07	0.06400	40.0	307.2
РПНН	РП-4	3×25+1×16	37.5	1.150	0.04316	72.2	674.9
РПНН	РП-5	3×4+1×2,5	24.5	7.4	0.18134	26.5	382.0
РПНН	РП-6	3×95+1×50	30.7	0.194	0.00596	186.8	623.5
РП-1	ЕП №1	3×4+1×2,5	4.9	7.4	0.0365	13.5	19.9
РП-1	ЕП №2	3×50+1×25	3.8	0.37	0.0014	126.3	66.5
РП-1	ЕП №3	3×35+1×16	6.2	0.74	0.0046	86.6	104.0
РП-6	ЕП №4	3×35+1×16	4.8	1.15	0.0055	86.6	123.7
РП-6	ЕП №5	3×50+1×25	2.6	0.37	0.0010	126.3	45.8
РП-6	ЕП №6	3×4+1×2,5	7.0	7.4	0.0516	13.5	28.2
РП-1	ЕП №7	3×6+1×4	9.3	4.6	0.0429	28.9	107.4
РП-1	ЕП №8	3×6+1×4	15.3	4.6	0.0705	28.9	176.5
РП-6	ЕП №9	3×6+1×4	15.2	4.6	0.0698	28.9	174.9
РП-6	ЕП №10	3×6+1×4	9.8	4.6	0.0449	28.9	112.4
РП-1	ЕП №11	3×4+1×2,5	12.0	7.4	0.0884	11.6	35.7
РП-2	ЕП №12	3×4+1×2,5	5.8	7.4	0.0430	11.6	17.3
РП-2	ЕП №13	3×4+1×2,5	8.3	7.4	0.0614	11.6	24.8
РП-5	ЕП №14	3×4+1×2,5	4.3	7.4	0.0321	8.7	7.3
РП-5	ЕП №15	3×4+1×2,5	3.2	7.4	0.0235	8.7	5.3
РП-5	ЕП №16	3×4+1×2,5	6.2	7.4	0.0462	8.7	10.5
РП-5	ЕП №17	3×4+1×2,5	7.3	7.4	0.0538	11.6	21.7
РП-2	ЕП №18	3×4+1×2,5	9.9	7.4	0.0733	11.6	29.6
РП-2	ЕП №19	3×4+1×2,5	3.3	7.4	0.0245	6.4	3.0
РП-2	ЕП №20	3×4+1×2,5	4.6	7.4	0.0343	6.4	4.2
РП-2	ЕП №21	3×4+1×2,5	5.5	7.4	0.0408	13.5	22.3
РП-2	ЕП №22	3×4+1×2,5	7.6	7.4	0.0560	13.5	30.6
РП-2	ЕП №23	3×4+1×2,5	6.5	7.4	0.0484	11.6	19.5
РП-3	ЕП №24	3×4+1×2,5	9.9	7.4	0.0733	11.6	29.6
РП-3	ЕП №25	3×4+1×2,5	7.9	7.4	0.0581	11.6	23.5
РП-3	ЕП №26	3×4+1×2,5	4.3	7.4	0.0321	13.5	17.6
РП-3	ЕП №27	3×4+1×2,5	4.5	7.4	0.0332	13.5	18.2

Продовження таблиці А.7

РП-3	ЕП №28	3×4+1×2,5	7.9	7.4	0.0581	13.5	31.8
РП-3	ЕП №29	3×4+1×2,5	7.0	7.4	0.0516	13.5	28.2
РП-3	ЕП №30	3×4+1×2,5	9.0	7.4	0.0668	3.2	2.1
РП-3	ЕП №31	3×4+1×2,5	8.7	7.4	0.0646	3.2	2.0
РП-4	ЕП №32	3×25+1×16	7.7	1.15	0.0089	63.5	107.2
РП-4	ЕП №33	3×25+1×16	14.1	1.15	0.0163	63.5	196.8
РП-6	ЕП №35	3×4+1×2,5	11.4	7.4	0.0841	3.2	2.6
РП-6	ЕП №36	3×4+1×2,5	12.4	7.4	0.0917	3.2	2.8
РП-6	ЕП №37	3×4+1×2,5	9.0	7.4	0.0668	6.4	8.2
РП-5	ЕП №38	3×4+1×2,5	5.2	7.4	0.0386	6.4	4.7
РП-5	ЕП №39	3×4+1×2,5	6.4	7.4	0.0473	11.6	19.1
РП-5	ЕП №40	3×4+1×2,5	8.4	7.4	0.0624	11.6	25.2
РП-4	ЕП №41	3×4+1×2,5	8.4	7.4	0.0624	3.2	1.9
РП-4	ЕП №42	3×4+1×2,5	6.8	7.4	0.0505	3.2	1.6
РП-5	ЕП №43	3×4+1×2,5	4.5	7.4	0.0332	11.6	13.4
РП-4	ЕП №44	3×4+1×2,5	3.9	7.4	0.0289	29.0	72.9
РП-4	ЕП №45	3×4+1×2,5	4.9	7.4	0.0365	29.0	92.0
РП-4	ЕП №46	3×4+1×2,5	6.2	7.4	0.0462	29.0	116.6
РП-4	ЕП №47	3×4+1×2,5	5.2	7.4	0.0386	13.5	21.1
Разом							4521.3

Щорічні експлуатаційні витрати за формулою (1.3)

$$C_e = 2,4\% \cdot 143058,58 + 6,3\% \cdot (42335,04 + 43492,00) + \\ + 3\% \cdot (42335,04 + 43492,00) + 44431,08 = 55846,40 \text{ грн.}$$

Приведені витрати за формулою (1.2):

$$Z_p = 0,125 \cdot 228885,62 + 55846,40 = 84457,10 \text{ грн.}$$

Раніше знайдені приведені витрати при виборі магістральної схеми становили $Z_m = 70928,36$ грн. При порівнянні варіантів основним критерієм економічності є мінімум приведених витрат, тому із двох варіантів вибираємо магістральну схему із розподільчими шинопроводами.

Визначившись із варіантом побудови схеми розподільчої мережі, виберемо місце розташування пристроїв компенсації реактивної потужності.

Критерій доцільності розподілу раніше знайденої потужності низьковольтних батарей конденсаторів обумовлений розвантаженням мережі низької напруги від реактивної потужності.

Відповідно до рекомендацій, наведених у [12], у випадку живлення від одного трансформатора декількох шинопроводів до кожного з них приєднують по одній установці компенсації реактивної потужності з розподіленням загальної розрахункової потужності батарей між шинопроводами пропорційно їх сумарному навантаженню. Враховуючи те, що сумарні навантаження обох шинопроводів приблизно однакові, з типового ряду УКРМ за каталогом торгово-виробничого об'єднання «Східний експрес» (м. Запоріжжя) вибираємо конденсаторні установки УКРМ-0,4-80-10 (потужність 80 кВАр, номінальний струм 116 А, номінал вхідного запобіжника 200 А) [18].

Для схем із шинопроводами ККУ одиничною потужністю до 400 кВАр підключають до мережі без додаткового встановлення відключаючого апарату (через встановлення останнього в комплект ККУ).

Максимальні реактивні навантаження шинопроводів практично рівномірно розподілені по обидві сторони від вступної секції. Тому, за рекомендаціями [13] встановлюємо УКРМ поблизу із вступною секцією, з'єднавши їх за допомогою кабельних ліній КГВ $3 \times 50 + 1 \times 25$, тривало допустимий струм 145 А.

Вибір автоматичних вимикачів та запобіжників

У цехових електромережах можуть мати місце режими роботи, які не є нормальними, через збільшення струмів внаслідок перевантаження, в момент пуску електродвигунів, внаслідок КЗ.

Для захисту проводів та жил кабелів від аномальних струмів та перевантаження в мережах напруги до 1000 В встановлюються плавкі запобіжники та автоматичні вимикачі.

Запобіжники використовуються переважно для захисту від коротких замикань. Автоматичні вимикачі призначені для автоматичного розмикання електричного кола при перевантаженні, КЗ і зниження напруги, а також для нечастих відключень та включень.

В проєктованій системі електропостачання автоматичні вимикачі використовуються в РПНн КТП – перед кабелями на ШРА-1, ШРА-2, ШТА (живлення крана) та ШОС (освітлення). Захист інших електроприймачів забезпечуємо запобіжниками, розташованими у відгалужувальних коробках ШРА.

Б.1 Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі характеризуються такими параметрами:

- номінальним струмом автоматичного вимикача $I_{ном.а}$, при такому струмі автомат може працювати протягом необмеженого часу;
- номінальним струмом теплового розчіплювача $I_{ном.розч}$, це струм, тривале протікання якого не викликає спрацьовування розчіплювача;
- струмом уставки розчіплювача $I_{уст.розч}$, якщо автомат забезпечений електромагнітним розчіплювачем – це такий найменший струм, який, протікаючи по котушці розчіплювача, змушує його спрацьовувати без витримки часу;
- номінальною напругою автоматичного вимикача та захисною характеристикою.

Вибір автоматичних вимикачів виконуємо:

- за номінальною напругою з умови $U_{ном.а} \geq U_{ном.уст}$;
- за розрахунковим струмом ділянки, що захищається $I_{ном.розч} \geq I_{розр}$;
- по відлаштуванню від пікових струмів $I_{уст.розч} \geq (1,25 \div 1,35) \cdot I_{пik}$;
- за погодженням з перетином ділянки, що захищається, для автоматичного вимикача з нерегульованою характеристикою $I_{ном.розч} \leq 4,5 \cdot I_{тр.дон}$ (інакше при перевантаженнях провід буде перегріватися, але автомат його не відключить);
- з відлаштування від мінімальних струмів КЗ ($I_K^{(1)}$), для автоматичного вимикача з нерегульованою характеристикою $3 \cdot I_{ном.розч} \leq I_{K.min}$;
- за граничною комутаційною здатністю $I_{пр.відкл} \geq I_{K.max} = I_K^{(3)}$.

Піковий струм групи двигунів приблизно визначається як арифметична сума найбільшого з пускових струмів двигунів, що входять до групи, і розрахункового струму всієї групи за вирахуванням розрахункового струму двигуна, що має найбільший пусковий струм:

$$I_{пik} = i_{пуск max} + I_p - k_v \cdot i_{ном max},$$

де $i_{пуск max}$ - пусковий струм найбільш потужного двигуна групи;

I_p - розрахунковий струм групи ЕП;

k_v - коефіцієнт використання найбільш потужного ЕП;

$i_{ном max}$ - номінальний струм найбільшого потужності ЕП.

1. Визначаємо піковий струм ШРА-1. Розрахунковий струм $I_p = 259,0$ А;
найбільш потужний електроприймач з двигуном – лісопильна рама з
 $P_{ном} = 30$ кВт, $\cos \varphi = 0,5$, $k_v = 0,3$.

Визначаємо номінальний струм двигуна лісопильної рами

$$i_{ном max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 86,6 \text{ А.}$$

Пусковий струм $i_{пуск max} = 5 \cdot i_{ном max} = 5 \cdot 86,6 = 433 \text{ А.}$

Піковий струм ШРА-1 $I_{нік} = 433,0 + 259,0 - 0,3 \cdot 86,6 = 666,0 \text{ А}$.

2. Визначаємо піковий струм ШРА-2. Розрахунковий струм $I_p = 243,9 \text{ А}$; найбільш потужний електроприймач з двигуном – лісопильна рама з $p_{ном} = 30 \text{ кВт}$, $\cos \varphi = 0,5$, $k_v = 0,3$. Пусковий струм $i_{пуск\max} = 433 \text{ А}$.

Піковий струм ШРА-1 $I_{нік} = 433,0 + 243,9 - 0,3 \cdot 86,6 = 651,0 \text{ А}$.

Для зручності розрахунків зведемо отримані раніше значення розрахункових, тривало допустимих, пікових струмів та струмів КЗ у таблицю Б.1.

Таблиця Б.1 – Дані для вибору вимикачів

Ділянка	Розрахунковий струм ділянки, А	Тривало допустимий струм, А	Піковий струм, А	Мінімальний струм КЗ, кА	Максимальний струм КЗ, кА	Ударний струм, кА
Лінія на ШРА-1	259.0	260.0	666.0	5.408	6.509	11.03
Лінія на ШРА-2	243.9	260.0	651.0	5.408	6.509	11.03
Лінія на ШТА	24.0	35.0	95.5	5.408	6.509	11.03
Лінія на ШОС	34.5	35.0	-	5.408	6.509	11.03

3. Вибираємо автоматичний вимикач лінії на ШРА-1.

Попередньо обраний (у підрозділі 2.7) автоматичний вимикач фірми «Siemens» типу 3VT3, номінальний струм комутуючого блоку

$I_{ном.а} (I_n) = 630 \text{ А}$; номінальний струм розчеплювача максимального струму

$I_{ном.розч} (I_r) = 315 \text{ А}$; максимальний струм уставки розчеплювача

$I_{уст.розч} (I_{rm}) = 4 \cdot I_{ном.розч} (4 \cdot I_r)$; максимальна робоча напруга $U_{ном.а} (U_e) =$

$= 670 \text{ В}$; номінальний короткочасний струм (струм термічної стійкості) $I_{cw} = 6,5 \text{ кА}$

при часі термічної стійкості 1 с; номінальний розривний струм за КЗ (при нарузі

415 В) $I_{cs} = 18$ кА, номінальний граничний розривний струм по КЗ $I_{гр.відкл} (I_{cu}) = 36$ кА.

Перевіряємо за номінальною напругою: $U_{ном.а} = 670$ В $\geq U_{ном.уст} = 380$ В.

Перевіряємо за розрахунковим струмом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 315$$
 А $\geq I_{розр} = 243,9$ А.

Перевіряємо по відлаштуванню від пікових струмів:

$$I_{уст.розч} \geq (1,25 \div 1,35) \cdot 666 = 865,8$$
 А; вибираємо $I_{уст.розч} = 3 I_{ном.розч} = 945$ А.

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 315$$
 А $\leq 4,5 \cdot I_{тр.дон} = 4,5 \cdot 260 = 1170$ А.

Перевіряємо з відлаштування від мінімальних струмів КЗ ($I_K^{(1)}$):

$$3 I_{ном.розч} = 3 \cdot 315$$
 А = 0,945 кА $\leq I_{K.min} = 5,408$ кА.

Перевіряємо за граничною комутаційною здатністю:

$$I_{пр.відкл} = I_{cu} = 36$$
 кА $\geq I_{n0}^{(3)} = 6,509$ кА.

Всі умови дотримуються, отже, остаточно вибираємо автоматичний вимикач Siemens, комутаційний блок ВН630NE305 і розчеплювач максимального струму SE-ВН-0315-L001, $I_{rm} = 3 \cdot I_r$.

4. Вибираємо автоматичний вимикач лінії на ШРА-2.

Попередньо обраний (у підрозділі 2.7) автоматичний вимикач фірми «Siemens» типу 3VT2, номінальний струм комутуючого блоку

$$I_{ном.а} (I_n) = 250$$
 А; номінальний струм розчеплювача максимального струму

$$I_{ном.розч} (I_r) = 250$$
 А; максимальний струм уставки розчеплювача

$I_{уст.розч} (I_{rm}) = 4 \cdot I_{ном.розч} (4 \cdot I_r)$; максимальна робоча напруга $U_{ном.а} (U_e) = 690$ В; номінальний короткочасний струм (струм термічної стійкості) $I_{cw} = 2,5$ кА

при часі термічної стійкості 1 с; номінальний розривний струм за КЗ (при напрузі 415 В) $I_{cs} = 18$ кА, номінальний граничний розривний струм по КЗ $I_{пр.відкл} (I_{cu}) = 36$ кА.

Перевіряємо за номінальною напругою:

$$U_{ном.а} = 690 \text{ В} \geq U_{ном.уст} = 380 \text{ В}.$$

Перевіряємо по розрахунковому струму ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 250 \text{ А} \geq I_{розр} = 243,9 \text{ А}.$$

Перевіряємо по відлаштуванню від пікових струмів:

$$I_{уст.розч} \geq (1,25 \div 1,35) \cdot 651 = 846,3 \text{ А}; \text{ вибираємо } I_{уст.розч} = 4 I_{ном.розч} = 1000 \text{ А}.$$

Перевіряємо за погодженням з перетином ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 250 \text{ А} \leq 4,5 I_{тр.дон} = 4,5 \cdot 260 = 1170 \text{ А}.$$

Перевіряємо з відлаштування від мінімальних струмів КЗ ($I_K^{(1)}$):

$$3 I_{ном.розч} = 3 \cdot 250 \text{ А} = 0,75 \text{ кА} \leq I_{К.min} = 5,408 \text{ кА}.$$

Перевіряємо за граничною комутаційною здатністю:

$$I_{гр.відкл} = I_{си} = 36 \text{ кА} \geq I_{n0}^{(3)} = 6,509 \text{ кА}.$$

Всі умови дотримуються, отже, остаточно вибираємо автоматичний вимикач Siemens, комутаційний блок BD250NE305 і розчеплювач максимального струму SE-BD-0250-L001, $I_{тн} = 4 \cdot I_r$.

5. Для захисту лінії живлення крана попередньо вибираємо автоматичний вимикач фірми "Siemens" типу 3VT1 BC160NT305-40-L, номінальний струм комутуючого блоку $I_{ном.а} (I_n) = 40 \text{ А}$; номінальний струм розчеплювача максимального струму $I_{ном.розч} (I_r) = 40 \text{ А}$; струм уставки розчеплювача $I_{уст.розч} (I_{тн}) = 160 \text{ А}$; максимальна робоча напруга $U_{ном.а} (U_e) = 690 \text{ В}$; номінальний розривний струм за КЗ (при напрузі 415 В) $I_{cs} = 13 \text{ кА}$, номінальний граничний розривний струм по КЗ $I_{пр.відкл} (I_{си}) = 25 \text{ кА}$.

Перевіряємо за номінальною напругою:

$$U_{ном.а} = 690 \text{ В} \geq U_{ном.уст} = 380 \text{ В}.$$

Перевіряємо по розрахунковому струму ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 40 \text{ А} \geq I_{розр} = 24 \text{ А}.$$

Перевіряємо по відлаштуванню від пікових струмів:

$$I_{уст.розч} = 160 \text{ А} \geq (1,25 \div 1,35) \cdot 95,5 = 124,2 \text{ А.}$$

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 40 \text{ А} \leq 4,5 I_{тр.дон} = 4,5 \cdot 37 = 166,5 \text{ А.}$$

Перевіряємо з відлаштування від мінімальних струмів КЗ ($I_K^{(1)}$):

$$3I_{ном.розч} = 3 \cdot 40 \text{ А} = 0,12 \text{ кА} \leq I_{К.мин} = 5,408 \text{ кА.}$$

Перевіряємо за граничною комутаційною здатністю:

$$I_{гр.відкл} = I_{си} = 25 \text{ кА} \geq I_{n0}^{(3)} = 6,509 \text{ кА.}$$

Всі умови дотримуються, отже, остаточно вибираємо автоматичний вимикач Siemens типу 3VT1 BC160NT305-40-L.

6. Для захисту лінії живлення освітлювального навантаження попередньо вибираємо автоматичний вимикач фірми «Siemens» типу 3VT1 BC160NT305-40-L, номінальний струм комутуючого блоку $I_{ном.а} (I_n) = 40 \text{ А}$; номінальний струм розчеплювача максимального струму $I_{ном.розч} (I_r) = 40 \text{ А}$; струм уставки розчеплювача $I_{уст.розч} (I_m) = 160 \text{ А}$; максимальна робоча напруга $U_{ном.а} (U_e) = 690 \text{ В}$; номінальний розривний струм за КЗ (при напрузі 415 В) $I_{cs} = 13 \text{ кА}$, номінальний граничний розривний струм по КЗ $I_{гр.відкл} (I_{си}) = 25 \text{ кА}$.

Перевіряємо за номінальною напругою:

$$U_{ном.а} = 690 \text{ В} \geq U_{ном.уст} = 380 \text{ В.}$$

Перевіряємо по розрахунковому струму ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 40 \text{ А} \geq I_{розр} = 34,5 \text{ А.}$$

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.розч} = 40 \text{ А} \leq 4,5 I_{тр.дон} = 4,5 \cdot 37 = 166,5 \text{ А.}$$

Перевіряємо з відлаштування від мінімальних струмів КЗ ($I_K^{(1)}$):

$$3I_{ном.розч} = 3 \cdot 40 \text{ А} = 0,12 \text{ кА} \leq I_{К.мин} = 5,408 \text{ кА.}$$

Перевіряємо за граничною комутаційною здатністю:

$$I_{гр.відкл} = I_{си} = 25 \text{ кА} \geq I_{н0}^{(3)} = 6,509 \text{ кА}.$$

Всі умови дотримуються, отже, остаточно вибираємо автоматичний вимикач Siemens типу 3VT1 BC160NT305-40-L.

Б.2 Вибір запобіжників

Запобіжники характеризуються такими параметрами:

- номінальним струмом запобіжника $I_{ном.зап}$;
- номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном.вст}$;
- граничним струмом відключення запобіжника $I_{гр.відкл}$;
- номінальною напругою запобіжника $U_{ном.зап}$ та захисною характеристикою.

Вибір запобіжників виконуємо:

- за номінальною напругою з умови $U_{ном.зап} \geq U_{ном.уст}$;
- за розрахунковим струмом лінії $I_{ном.вст} \geq I_{розр}$;
- з відлаштування від пускових струмів $I_{ном.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}$;
- за погодженням з перерізом ділянки, що захищається $I_{ном.вст} \leq 3I_{тр.доп}$;

якщо остання умова не виконується, то плавка вставка перевіряється на чутливість

до дії струмів КЗ за умовою $3I_{ном.вст} \leq I_{к.мін} = I_K^{(1)}$;

- за граничним струмом відключення $I_{гр.відкл} \geq I_{К\max} = I_K^{(3)}$.

Для зручності розрахунків зведемо отримані раніше значення розрахункових, тривало допустимих, пікових струмів і струмів КЗ до таблиці А.2.

1. Вибираємо запобіжник для захисту лінії в мережі до найближчого електроприймача №11 (циркулярно-маятникова пилка).

$$\text{Пусковий струм двигуна } I_{пуск} = 5I_{розр} = 5 \cdot 11,6 = 58 \text{ А}.$$

Таблиця Б.2 – Дані для вибору запобіжників

ЕП	Розрахунковий струм ділянки, А	Тривало допустимий струм, А	Піковий струм, А	Мінімальний струм КЗ, кА	Максимальний струм КЗ, кА	Ударний струм, кА
1, 6, 47	13.5	25	67.5	1.826	2.276	3.220
2, 5	126.3	145	-	3.857	5.483	8.546
3, 4	86.6	95	433.0			
7 - 10	28.9	35	144.5			
11 - 13	11.6	25	58.0	2.613	3.374	4.787
14 - 16	8.7	25	43.5			
17 - 18	11.6	25	58.0			
19 - 20	6.4	25	32.0			
21 - 22	13.5	25	67.5			
23, 43	11.6	25	58.0			
24 - 25	11.6	25	58.0			
26 - 29	13.5	25	67.5			
30, 31, 41, 42	3.2	25	16.0			
32 - 33	63.5	95	317.5			
35 - 36	3.2	25	16.0			
37 - 38	6.4	25	32.0			
39 - 40	11.6	25	58.0			
44 - 46	11.6	25	-			

Попередньо вибираємо запобіжник ПН2-100 з $U_{ном} = 380V$ і номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном.вст} = 30$ А.

Перевіряємо по розрахунковому струму лінії:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \geq I_{розр} = 11,6 \text{ А.}$$

Перевіряємо по відлаштуванню від пускових струмів:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \geq \frac{I_{пук}}{2,5} = \frac{58}{2,5} = 23,2 \text{ А.}$$

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \leq 3I_{тр.дон} = 3 \cdot 25 = 75 \text{ А.}$$

Перевіряємо на чутливість до дії струмів КЗ:

$$3I_{ном.вст} = 3 \cdot 30 = 90 \text{ А} \leq I_{k.min} = I_K^{(1)} = 2,613 \text{ кА.}$$

Перевіряємо по граничному струму відключення:

$$I_{гр.відкл} = 100 \text{ кА} \geq I_{K \max} = I_K^{(3)} = 3,374 \text{ кА.}$$

Остаточно вибираємо запобіжник ПН2-100 із номінальним струмом вставки плавкої 30 А.

2. Вибираємо запобіжник для захисту лінії в мережі до найбільш віддаленого електроприймача №47 (витяжний вентилятор).

$$\text{Пусковий струм двигуна } I_{пуск} = 5I_{розр} = 5 \cdot 11,6 = 67,5 \text{ А.}$$

Попередньо вибираємо запобіжник ПН2-100 з $U_{ном} = 380\text{В}$ номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном.вст} = 30 \text{ А}$.

Перевіряємо по розрахунковому струму лінії:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \geq I_{розр} = 13,5 \text{ А.}$$

Перевіряємо по відлаштуванню від пускових струмів:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5} = \frac{67,5}{2,5} = 27.$$

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.вст} = 30 \text{ А} \leq 3I_{тр.доп} = 3 \cdot 25 = 75 \text{ А.}$$

Перевіряємо на чутливість до дії струмів КЗ:

$$3I_{ном.вст} = 3 \cdot 30 = 90 \text{ А} \leq I_{k.min} = I_K^{(1)} = 1,825 \text{ кА.}$$

Перевіряємо по граничному струму відключення:

$$I_{гр.відкл} = 100 \text{ кА} \geq I_{K \max} = I_K^{(3)} = 2,276 \text{ кА.}$$

Остаточно вибираємо запобіжник ПН2-100 із номінальним струмом плавкої вставки 30 А.

3. Вибираємо запобіжник для захисту лінії в мережі до найпотужнішого електроприймача №2 (ВЧ установка для сушіння деревини).

Попередньо вибираємо запобіжник ПН2-250 з $U_{ном} = 380V$ номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном.вст} = 150 A$.

Перевіряємо по розрахунковому струму лінії:

$$I_{ном.вст} = 150 A \geq I_{розр} = 126,3 A.$$

Перевіряємо за погодженням з перерізом ділянки, що захищається:

$$I_{ном.вст} = 150 A \leq 3I_{тр.дон} = 3 \cdot 145 = 435 A.$$

Перевіряємо на чутливість до дії струмів КЗ :

$$3I_{ном.вст} = 3 \cdot 150 = 450 A \leq I_{к.мин} = I_K^{(1)} = 3,857 \text{ кА}.$$

Перевіряємо по граничному струму відключення:

$$I_{гр.відкл} = 100 \text{ кА} \geq I_{K \max} = I_K^{(3)} = 5,483 \text{ кА}.$$

Остаточню вибираємо запобіжник ПН2-250 із номінальним струмом плавкої вставки $I_{ном.вст} = 150 A$.

За наведеною методикою вибираємо запобіжники для захисту інших електроприймачів. Результати зведемо до таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Вибрані запобіжники

Електроприймач, що захищається	Тип запобіжника	Номінальний струм запобіжника, А	Номінальний струм плавкої вставки, А
1, 6, 47	ПН2-100	100	30
2, 5	ПН2-250	250	150
3, 4	ПН2-250	250	200
7 - 10	ПН2-100	100	60
11 - 13	ПН2-100	100	30
14 - 16	ПН2-100	100	30
17 - 18	ПН2-100	100	30
19 - 20	ПН2-100	100	30
21 - 22	ПН2-100	100	30
23, 43	ПН2-100	100	30
24 - 25	ПН2-100	100	30
26 - 29	ПН2-100	100	30

Продовження таблиці Б.3

30, 31, 41, 42	ПН2-100	100	30
32 - 33	ПН2-250	250	150
35 - 36	ПН2-100	100	30
37 - 38	ПН2-100	100	30
39 - 40	ПН2-100	100	30
44 - 46	ПН2-100	100	30

Розрахунок заземлюючого пристрою деревообробного цеху

Захисту підлягає електрообладнання деревообробного цеху.

1. Визначається розрахунковий струм замикання на землю I_3 , А і допустимий опір розтікання струму в заземлювальному пристрої R_D , Ом згідно з ПУЕ [5] залежно від напруги, режиму нейтралі, потужності електроустановок.

Мережа з глухозаземленою нейтраллю. Напруга мережі $U = 380$ В. У якості заземлювачів обираємо сталеві прутки діаметром $d = 14$ мм довжиною $l = 3$ м. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м, розташування – по контуру. Приймаємо допустимий опір заземлювального пристрою $R_D = 4$ Ом.

2. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту залежно від коефіцієнта сезонності для відповідної кліматичної зони:

$$r_{розр.} = r_{табл.} \cdot K_C \quad (B.1)$$

де $r_{табл.}$ - приблизне табличне значення питомого опору ґрунту, яке рекомендується для розрахунку [20, табл. 3.9];

K_C - коефіцієнт сезонності [20, табл. 3.10].

Найбільшу площу в Тернопільській області займають чорноземи. Для чорноземів рекомендоване значення питомого опору ґрунту $r_{табл.} = 200$ Ом×м.

Для I кліматичної зони і нормальної вологості землі для електродів довжиною 3 м коефіцієнт сезонності $K_C = 1,3$.

$$r_{розр.} = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ Ом} \times \text{м.}$$

3. Визначається відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача

$$H = H_0 + \frac{l}{2}; \quad (B.2)$$

$$H = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м.}$$

4. Визначається опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = \frac{r_{розр.}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot H + l}{4 \cdot H - l} \right); \quad (B.3)$$

$$R_B = \frac{260}{2\pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,014} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 88,5 \text{ Ом.}$$

5. Визначається орієнтована кількість n_{op} вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n_{op} = \frac{R_B}{R_{д} \cdot \eta_B}, \quad (B.4)$$

де η_B - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, поки приймаємо $\eta_B = 1$;

$$n_{op} = \frac{88,5}{4 \cdot 1} \approx 22.$$

6. Знаючи орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів n_{op} , їх розташування (по контуру) і відношення відстані між заземлювачами до їх довжини $\frac{a}{l}$, визначають за [20, табл. 3.12] коефіцієнт використання η_B вертикальних заземлювачів. Враховуючи розміри цеху, обираємо розмір контуру 27×39 м, тоді маємо периметр 132 м, і при кількості заземлювачів 22 відстань між ними становитиме $a = 6$ м. Тоді за таблицею для $\frac{a}{l} = 2$ і $n_{op} = 22$ отримаємо $\eta_B \approx 0,61$.

7. Визначається необхідна кількість n_B вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання $\eta_B = 0,61$:

$$n_B = \frac{88,5}{4 \cdot 0,61} \approx 36.$$

8. Визначається $R_{розр.В.}$ - розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при n_B без врахування з'єднувальної смужки.

Приймаємо, що всі вертикальні заземлювачі з'єднані паралельно.

$$R_{розр.В.} = \frac{R_{В.}}{n_{В.} \cdot \eta_{В.}}; \quad (B.5)$$

$$R_{розр.В.} = \frac{88,5}{36 \cdot 0,61} = 4,03 \text{ Ом.}$$

9. Визначається довжина з'єднувальної смужки L_C за формулою:

$$L_C = 1,05 \cdot a \cdot (n_B - 1); \quad (B.6)$$

$$L_C = 1,05 \cdot 6 \cdot (36 - 1) = 220,5 \text{ м.}$$

10. Визначається опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці), R_Γ :

$$R_\Gamma = 0,366 \cdot \frac{r_{розр.}}{L_C} \ln \frac{2 \cdot L_C^2}{H_0 \cdot B_C}; \quad (B.7)$$

$$R_\Gamma = 0,366 \cdot \frac{260}{220,5} \ln \frac{2 \cdot 220,5^2}{0,7 \cdot 0,04} = 6,5 \text{ Ом.}$$

11. Визначаємо η_Γ - коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів по контуру [20, табл. 3.14], $\eta_\Gamma \approx 0,3$.

12. Визначаємо $R_{розр.Г.}$ - розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці) з урахуванням η_Γ :

$$R_{розр.Г.} = \frac{R_\Gamma}{\eta_\Gamma}; \quad (B.8)$$

$$R_{розр.Г.} = \frac{6,5}{0,3} = 21,7 \text{ Ом.}$$

13. Визначається $R_{розр.}$ - розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах, якій має бути не більше R_D :

$$R_{розр.} = \frac{R_{розр.В.} \cdot R_{розр.Г.}}{R_{розр.В.} + R_{розр.Г.}} \leq R_D; \quad (B.9)$$

$$R_{розр.} = \frac{4,03 \cdot 21,7}{4,03 + 21,7} = 3,4 \leq 4 \text{ Ом.}$$

14. Вибираємо матеріал та поперечний переріз з'єднувальних проводів магістральної шини за [5, табл. 1.7.5. 1.7.6].

В якості матеріалу для заземлювачів обираємо круглі вертикальні заземлювачі з гальванічним мідним покриттям товщиною 250 мкм. З'єднання з контуром заземлення здійснюється мідним проводом МГ-10 перетином $S = 10 \text{ мм}^2$.

Оцінка стійкості роботи деревообробного цеху до впливу радіоактивного забруднення і проникаючої радіації ядерного вибуху

Вихідні дані: цех розташований на 90° від центру міста; віддаленість об'єкта від точки прицілювання $R_\Gamma = 14$ км; очікувана потужність ядерного боєзапасу $q = 50$ кт; ймовірне максимальне відхилення боєзапасу від точки прицілювання $r_{\text{відх}} = 0,4$ км; вибух наземний; швидкість середнього вітру $v_{\text{с.в.}} = 25$ км/год; напрям (азимут) середнього вітру 270° ; будівля деревообробного цеху одноповерхова, цегляна, розташована в районі забудови; сховище для укриття робітників та службовців цеху розташоване окремо в районі забудови, перекриття з бетону товщиною 50 см і ґрунтова подушка - 25 см; максимальна тривалість робочої зміни - 12 год.

1. Визначаємо максимальні значення рівня радіоактивного забруднення і дози проникаючої радіації, очікуваних на території цеху, для чого:

- наносимо на план місцевості вісь сліду радіоактивної хмари (рисунок Г.1); визначаємо мінімально можливу відстань від об'єкта до епіцентру ядерного вибуху:

$$R_x = R_\Gamma - r_{\text{відх}} = 14 - 0,4 = 13,6 \text{ км};$$

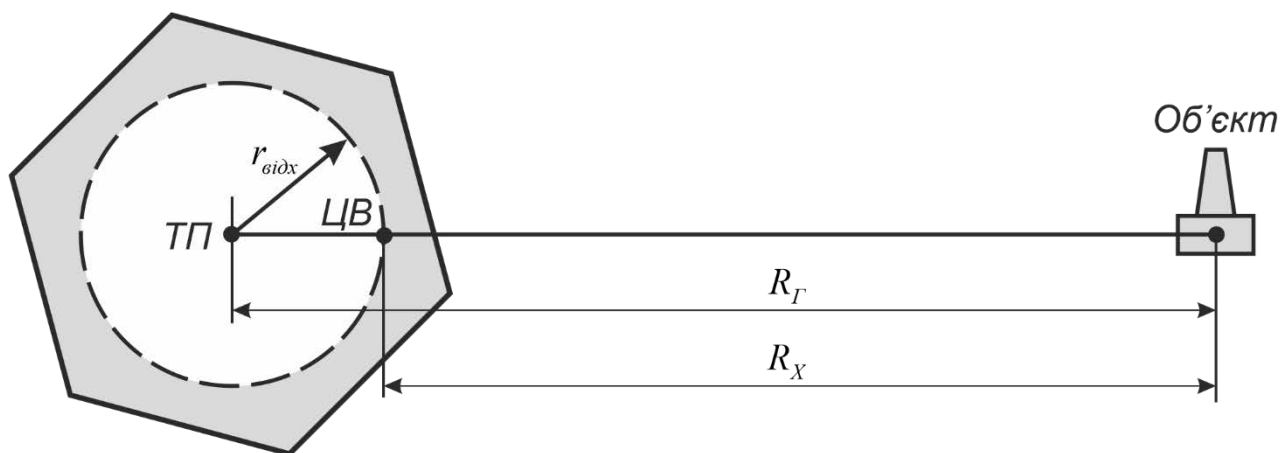


Рисунок Г.1 - Можлива вісь сліду радіоактивної хмари: ТП – точка прицілювання, ЦВ – центр вибуху

- за додатком 12 [22] при $q = 50$ кт, $R_x = 13,6$ км знаходимо очікуване значення рівня радіації на об'єкті на 1 год після вибуху $P_{I_{max}} = 500$ Р/год;

- за додатком 9 [22] визначаємо максимальну дозу проникаючої радіації, очікуваної на об'єкті: $D_{n,p} = 0$.

Висновок: деревообробний цех може виявитися в зоні В небезпечного радіоактивного забруднення з максимальним рівнем радіації 500 Р/год. Дії проникаючої радіації в районі цеху не очікується.

2. Визначаємо коефіцієнт послаблення дози радіації цехом і сховищем.

Коефіцієнт послаблення дози гамма-випромінювання для будівлі деревообробного цеху від радіоактивного забруднення знаходимо за додатком 13 [22] за даними характеристики будівлі цеху. Для виробничого одноповерхового будинку $K_{посл.цеху} = 7$.

Коефіцієнт захисту будівлі від проникаючої радіації не визначається, оскільки в момент ядерного вибуху за сигналом “Повітряна тривога” усі робітники та службовці будуть укриті в сховищі і в районі розташування цеху проникаюча радіація не очікується.

Коефіцієнт послаблення дози радіації сховищем розраховуємо окремо для радіоактивного забруднення і для проникаючої радіації за наступними вихідними даними: перекриття сховища складається із шару бетону товщиною $d_1 = 50$ см і шару ґрунту $d_2 = 25$ см; шари половинного послаблення матеріалів від радіоактивного забруднення, знайдені за додатком 11 [22], складають: від радіоактивного забруднення для бетону $d_1 = 5,7$ см; для ґрунту $d_2 = 8,1$ см; від проникаючої радіації для бетону $d_1 = 10$ см; для ґрунту $d_2 = 14,4$ см; коефіцієнт, що враховує умови розташування сховища, знаходимо за табл. 7.4 [22] (для укриття, розташованого окремо в районі забудови, $K_p = 2$).

Тоді коефіцієнт послаблення радіоактивного забруднення:

$$K_{посл.сх.р.з.} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{\frac{h_i}{d_i}}; \quad (Г.1)$$

$$K_{посл.сх.р.з.} = 2 \cdot 2^{\frac{50}{5,7}} \cdot 2^{\frac{25}{8,1}} = 7426.$$

Коефіцієнт послаблення проникаючої радіації розраховуємо за тими ж даними, що і для радіоактивного забруднення, за винятком шарів половинного послаблення, що складають для бетону $d_1 = 10$ см; для ґрунту $d_2 = 14,4$ см.

$$\text{Тоді } K_{\text{посл.сх.п.р.}} = 2 \cdot 2^{\frac{50}{10}} \cdot 2^{\frac{25}{14,4}} = 213.$$

Дані розрахунків записуємо у вигляді таблиці Г.1.

3. Визначаємо дозу радіації, що можуть одержати робітники та службовці, знаходячись у виробничому приміщенні та сховищі, за робочу зміну (12 год) при максимальному рівні радіації і максимальній дозі проникаючої радіації, очікуваних на об'єкті.

Доза радіації в умовах радіоактивного забруднення в будівлі цеху:

$$D_{\text{буд п.з.}} = \frac{D_{\text{відкр.}}}{K_{\text{посл.буд}}} = \frac{5 \cdot P_1 (t_n^{-0,2} - t_k^{-0,2})}{K_{\text{посл.буд}}} \quad (\text{Г.2})$$

де P_1 - максимальний рівень радіації на 1 годину після вибуху (в даному випадку рівний 500 Р/год);

t_n - час початку роботи в умовах РЗ, рівний сумі часу підходу хмари вибуху і часу випадання радіоактивних речовин, що в середньому складає $t_{\text{вин}} = 1$ год:

$$t_n = \frac{R_x}{v_{\text{с.в.}}} + t_{\text{вин.}} \quad (\text{Г.3})$$

$$t_n = \frac{13,6}{25} + 1 = 1,54 \text{ год.}$$

t_k - час закінчення роботи, $t_k = t_n + t_p = 1,54 + 12 = 13,54$ год;

$K_{\text{посл.буд}}$ - коефіцієнт послаблення дози радіації будівлею цеху, $K_{\text{посл.буд}} = 7$.

$$D_{\text{буд п.з.}} = \frac{5 \cdot 500 \cdot (1,54^{-0,2} - 13,54^{-0,2})}{7} = 115 \text{ Р.}$$

Оскільки для сховища коефіцієнт послаблення радіації від радіоактивного забруднення $K_{\text{посл.сх.п.з}} = 7426$, то доза радіації в сховищі дорівнює:

$$D_{\text{сх п.з.}} = \frac{5 \cdot 500 \cdot (1,54^{-0,2} - 13,54^{-0,2})}{7426} = 0,109 \text{ Р.}$$

Як вже було сказано раніше, доза опромінення від проникаючої радіації на об'єкті дорівнює нулю (не очікується).

Таблиця Г.1 Результати оцінки стійкості деревообробного цеху до впливу проникаючої радіації і радіоактивного забруднення

Елемент цеху	Характеристика споруд	Коефіцієнт послаблення, $K_{\text{посл}}$		Доза опромінення, Р		Матеріали та апаратура, чутлива до радіації і ступінь її ураження	Межа стійкості в умовах РЗ, Р/год
		від ПР	від РЗ	при ПР	при РЗ		
Будівля деревообробного цеху	Промислова, одноповерхова, цегляна	-	7	-	115	Електроніка. Ураження відсутні	108
Сховище	Окремо розташоване, в районі забудови. Перекриття: бетон - 50см, ґрунт - 25 см	213	7426	-	0.109	Відсутня	-

4. Визначаємо межу стійкості роботи об'єкта в умовах радіоактивного забруднення, тобто граничне значення рівня радіації на об'єкті, до якого можлива робота в звичайному режимі; порівнюємо з очікуваним максимальним значенням рівня радіації і робимо висновок про стійкість об'єкта:

$$P_{\text{lim}} = \frac{D_{\text{вст}} \cdot K_{\text{посл.буд}}}{5 \cdot (t_n^{-0,2} - t_k^{-0,2})} \quad (\text{Г.4})$$

$$P_{\text{lim}} = \frac{25 \cdot 7}{5 \cdot (1,54^{-0,2} - 13,54^{-0,2})} = 108 \text{ Р/год.}$$

Оскільки $P_{\text{lim}} < P_{\text{max}}$, то об'єкт нестійкий до радіоактивного забруднення.

5. Встановлюємо наявність в сушильному цеху матеріалів, пристроїв, апаратури, чутливих до впливу радіації.

Найбільш чутливим до впливу радіації є електронне обладнання, в тому числі електронні обчислювальні машини. В елементах електронної техніки при короткочасній дії проникаючої радіації виникають тимчасові (оборотні) і остаточні (незмінні) зміни електричних параметрів.

Критичні значення, при яких починаються тимчасові та остаточні зміни, наведені в таблиці Г.2.

Таблиця Г.2 Зміна параметрів елементів електроніки при радіаційному опроміненні

Елемент електроніки	Потужність радіаційного опромінення, що викликає необоротні зміни, при яких елемент може працювати		Потужність дози, Р/с, при якій починаються тимчасові зміни
	Потік нейтронів, н/см ²	Доза γ -випромінювання, Р	
Транзистори і діоди загального призначення	$10^{15} \dots 10^{18}$	$10^4 \dots 10^6$	10^5
Мікросхеми	$5 \cdot 10^{15}$	10^5	10^4
Інтегральні мікросхеми	$10^{17} \dots 10^{21}$	$5 \cdot 10^5$	10^5
Конденсатори	$10^{18} \dots 10^{21}$	$10^7 \dots 10^9$	10^5
Резистори	$2 \cdot 10^{19}$	$10^7 \dots 10^9$	10^6
Елементи інфрачервоної техніки, оптичні прилади	10^{17}	$10^5 \dots 10^6$	10^3
Магнітні матеріали	10^{19}	-	10^7
Діелектричні матеріали	10^{21}	10^{10}	10^4
Напівпровідники	$10^{16} \dots 10^{17}$	$10^5 \dots 10^6$	-

Ступінь чутливості електроніки залежить від матеріалу, з якого виготовлений конкретний елемент. Наприклад, електролітичні та паперові конденсатори, композиційні змінні резистори значно чутливіші до радіоактивного випромінювання, ніж такі ж елементи з інших матеріалів.

Як видно із наведених значень, елементи електроніки виходять з ладу при значних величинах потоку нейтронів та дози γ -випромінювання. При очікуваному максимальному значенні рівня радіації в 500 Р/год вся електроніка залишиться у працездатному стані, не будуть спостерігатися ні необоротні, ні тимчасові зміни параметрів елементів.

6. Визначаємо ступінь герметизації вікон і дверей, та можливість пристосування системи вентиляції цеху для очищення повітря від радіоактивного пилу.

У цеху вікна великих розмірів, тому у випадку руйнування їх застосування різко збільшується вміст радіоактивного пилу в повітряному середовищі цеху. Вентиляція цеху може бути пристосована для роботи в режимі фільтровентиляції з очищенням повітря від радіоактивного пилу.