МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Коновалов Сергій Васильович

УДК 621.3.01

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування та розрахунок захисних елементів мережі токарного цеху промислового підприємства

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Коновалов С.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
к.т.н., доцент кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Коновалов С.В. Обґрунтування та розрахунок захисних елементів мережі токарного цеху промислового підприємства. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Основною метою роботи **є** розрахунок захисних елементів мережі токарного цеху промислового підприємства.

Результатом роботи є розрахунок та перевірка обраного електрообладнання на стійкість до струмів КЗ, розрахунок заземлення та забезпечення захисту від блискавки.

Ключові слова: електроприймач, комплектні конденсаторні установки, розподільний пункт, пристрій заземлення.

ABSTRACT

Konovalov S.V. Justification and calculation of protective elements of the network of the turning shop of an industrial enterprise. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The main purpose of the work is the calculation of protective elements of the network of the turning shop of an industrial enterprise.

The result of the work is the calculation and testing of the selected electrical equipment for resistance to short-circuit currents, calculation of grounding and provision of lightning protection.

Keywords: electrical receiver, complete capacitor units, distribution point, grounding device.

.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ	7
1.1. Основні поняття та визначення	7
1.2. Характеристика системи електропостачання	10
1.3. Призначення та склад електричного обладнання	12
1.4. Вибір величини напруги живлення	13
Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ВИБІР СХЕМИ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ	15
Вибір схеми цехової силової мережі	15
Висновки по розділу 2	17
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ	18
3.1. Розрахунок струмів КЗ в електроустановках напругою до 1000 В	18
3.2. Перевірка обраного електрообладнання на стійкість до струмів КЗ	23
3.3. Розрахунок заземлення	24
3.4. Захист від блискавки	28
Висновки по розділу 3	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВР – автоматичне включення резерву

АД – асинхронний двигун

ЕО – електрообладнання

ЕП – електроприймач

ККУ – комплектні конденсаторні установки

НН – низька напруга

ПЗ – пристрій заземлення

ПС – підстанція

ПУЕ – Правила устаткування електроустановок

РП – розподільний пункт

ШНВ – шафа низьковольтна ввідна

ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна

ШРА – шинопровід розподільчий алюмінієвий

ЩАО – щиток аварійного освітлення

ЩРО – щиток робочого освітлення

ВСТУП

Актуальність роботи. Від ефективності системи електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Через це питання вибору захисних елементів цехової мережі підприємства є актуальними.

Метою роботи є раціональний промислового підприємства.

Для досягнення запланованого в роботі реалізуються такі завдання:

1. Здійснення аналізу схеми електропостачання цеху, обрання рівня живлючої напруги.

2. Виконання розрахунку та вибору захисних елементів цехової мережі токарного цеху промислового підприємства.

Об'єктом дослідження є аналіз токарного цеху, структура та склад електрообладнання розглядаємого цеху, вибір захисних елементів.

Предметом дослідження є електрична схема токарного цеху з вибором захисних елементів цехової мережі.

Методи досліджень. Під час проведення досліджень, використовувалися методи системного аналізу, методи математичного моделювання.

Практична значимість результатів роботи:

Сформовано методологічні засади покращення вибору, електропостачання промислового об'єкту, що дають змогу успішно вирішувати такі практичні проблеми:

1. Удосконалити вибір системи електропостачання типового промислового об'єкта згідно з його особливостями, можливостями для встановлення необхідного обладнання.

2. Надалі проводити розбудову системи електропостачання.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Коновалов С. В. ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ВІД БЛИСКАВКИ

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 103-106.

Коновалов С. В., Батюк В.В. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ КРП.

Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. - С 85-87.

1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОКАРНОГО ЦЕХУ МАШИНОБУДІВЕЛЬНОГО ЗАВОДУ

1.1. Основні поняття та визначення. Термінологічний словник

Сучасне життя важко уявити без вживання електричної енергії. Вона використовується у всіх сферах господарської діяльності [1].

Електрична енергія продукується на електричних станціях, що пов'язані між собою та зі споживачами електричними системами [2].

Розробка енергосистем дозволяє не лише підвищити економічність енергозабезпечення, а й відчутно збільшити його стійкість, надійність та якість [4].

Частину енергосистеми, що об'єднує генератори, розподільні пристрої (РУ), трансформаторні підстанції (ТП) та споживачі електричної енергії (електроприймачі – ЕП), прийнято називати *електричною системою*.

Частина електричної системи, до якої входять ТП та лінії різних напруг, називають *електричною мережею (ЕС)*. ЕС поділяються на живильні та розподільні.

Живлячі електричні мережі здійснюють передачу (транспорт, каналізацію) електричної енергії до розподільчих пунктів (РП) або ТП та не мають підключених ЕП.

Розподільні електричні мережі передають електроенергію від знижувальних ТП безпосередньо споживачам, або за повітряними лініями електропередачі (ПЛ), або кабельними лініями (КЛ) [3].

На різних ієрархічних рівнях електроенергетики та різних ситуаціях провідними є ті чи інші критерії. Однак у всіх випадках підвищення надійності як обов'язкова умова підвищення ефективності виробництва пов'язане зі збільшенням витрат, що вкладаються у створення та експлуатацію енергетичних систем, їх частин та елементів.

Одним з найважливіших завдань електропостачання, при забезпеченні його надійності у будь-якій галузі господарської діяльності, є найбільш

доцільне мережне будівництво. Воно полягає не тільки у прийнятті професійних рішень щодо схем електропостачання на стадії проектування, а й у використанні найсучаснішого мережного обладнання [4].

Якість електричної енергії, як невід'ємний атрибут будь-якого товару, є найбільш всеосяжною характеристикою як товаровиробника (енергопостачальної організації), так і безпосередньо споживача, що є джерелом спотворень, що вносяться в роботу енергосистеми в цілому.

Електроенергетичною системою називається електрична частина енергосистеми та приймачі електричної енергії, що живляться від неї, об'єднані спільним процесом виробництва, передачі, розподілу та прийому електричної та інших видів енергії [5].

Електричною системою (*енергосистемою*) називається сукупність електростанцій електричних та теплових мереж, з'єднаних між собою та пов'язаних спільністю режиму у безперервному процесі виробництва, перетворення та розподілу електричної енергії та теплоти при загальному керуванні цим режимом.

*Електричною частиною*системиназивається сукупність електроустановок електричних станцій та електричних мереж енергосистем.

Електропостачанням називаєтьсязабезпечення споживачів електричною енергією

Системою електропостачання називається сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електричною енергією.

Електрична мережа є пристроєм, що з'єднує джерела живлення зі споживачами електричної енергії. Основним призначенням електричних мереж є *електропостачання споживачів,* а також передача енергії на великі відстані.

Вузловою розподільчою підстанцією (ВРП) є підстанція підприємства напругою 110-220 кВ, що отримує електроенергію від енергосистеми та

розподіляє її за головними низькими підстанціями (ГПП) або підстанціями глибокого введення (ПГВ) по території підприємства.

Головна низька підстанція (ГПП) - являє собою трансформаторну підстанцію, що отримує електроенергію від енергосистеми на напругах 35 кВ і вище та розподіляє її територією підприємства.

Підстанція глибокого введення (ПГВ) –підстанції110/10 та 35/0,4 кВ, що виконуються за спрощеними схемами первинної комутації, що отримує живлення від енергосистеми або вузлової розподільної підстанції даного підприємства та призначена для живлення окремого цеху, корпусу, групи цехів підприємства.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) – РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства.

Внутрішньоцехова підстанція -підстанція, розташована всередині виробничої будівлі (відкрито або в окремому закритому приміщенні).

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції.

Струмопровід -пристрій, призначений для передачі та розподілення електроенергії, що складається з неізольованих та ізольованих провідників та ізоляторів, що відносяться до них, захисних оболонок, відгалужувальних пристроїв, підтримуючих та опорних конструкцій.

Шинопровід -жорсткий струмопровід до1 кВ, що постачається комплектними секціями.

Головний розподільчий щит (ГРЩ)- розподільний щит, через який постачається електроенергією вся будівля або її відокремлена частина.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) –РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства.

Внутрішньоцехова підстанція -підстанція, розташована всередині виробничої будівлі (відкрито або в окремому закритому приміщенні).

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції.

Струмопровід -пристрій, призначений для передачі та розподілення електроенергії, що складається з неізольованих та ізольованих провідників та ізоляторів, що відносяться до них, захисних оболонок, відгалужувальних пристроїв, підтримуючих та опорних конструкцій.

Шинопровід -жорсткий струмопровід до1 кВ, що постачається комплектними секціями.

*Головний розподільчий щит (ГРЩ)*розподільний щит, через який постачається електроенергією вся будівля або її відокремлена частина.

Центральний розподільчий пункт (ЦРП) –РУ підприємства, одержує електроенергію від енергосистеми на напрузі 6-10 кВ і розподіляє її на тій же напрузі на території підприємства.

Стовпова (щогла) трансформаторна підстанція -відкрита трансформаторна підстанція, все обладнання якої встановлено на конструкціях або опорах повітряних ліній на висоті, що не потребує огородження підстанції.

1.2.Характеристика системи електропостачання

Електропостачання промислових підприємств є складним і багатоаспектним процесом, що забезпечує надійне та безперебійне функціонування виробничих потужностей. Від ефективності системи

електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Важливим аспектом є забезпечення якості електроенергії, оскільки відхилення параметрів від норми можуть призвести до збоїв у роботі обладнання та зниження якості продукції, що випускається. Системи електропостачання промислових підприємств повинні бути спроектовані з урахуванням перспектив розвитку підприємства та збільшення його виробничих потужностей. Необхідно передбачати резервування основних елементів системи, а також можливість оперативного перемикання на резервні джерела живлення. Важливу роль відіграє впровадження сучасних технологій та обладнання, що дозволяють підвищити ефективність використання електроенергії та знизити витрати на її оплату. На закінчення слід зазначити, що надійне та ефективне електропостачання є одним із ключових факторів успішної роботи будь-якого промислового підприємства.

Електропостачання промислових підприємств являє собою складний і багатогранний процес, що забезпечує надійну та безперебійну роботу виробничих потужностей. Від ефективності системи електропостачання безпосередньо залежить продуктивність, безпека та економічна доцільність роботи підприємства. Сучасні промислові підприємства характеризуються високою концентрацією електрообладнання та значним споживанням електроенергії. Це висуває особливі вимоги до проектування, монтажу та експлуатації систем електропостачання. Важливим аспектом є забезпечення якості електроенергії, оскільки відхилення параметрів від норми можуть призвести до збоїв у роботі обладнання та зниження якості продукції. Системи електропостачання промислових підприємств мають бути спроектовані з урахуванням перспектив розвитку підприємства і збільшення його

виробничих потужностей. Потрібно передбачати резервування основних елементів системи, а також можливість оперативного переключення на резервні джерела живлення. Важливу роль відіграє впровадження сучасних технологій та обладнання, що дозволяють підвищити ефективність використання електроенергії та знизити витрати на її оплату. На завершення слід відзначити, що надійне та ефективне електропостачання є одним з ключових факторів успішної роботи будь-якого промислового підприємства.

1.3. Призначення та склад електричного обладнання

Досліджуваний токарний цех призначений для виготовлення та обробки деталей машин, інструментів, заготовок із металу, дерева, пластику тощо шляхом обертання заготовки навколо нерухомого різального інструменту, що включає точіння циліндричних, конічних, фасонних поверхонь, підрізання торців, нарізання різьби, свердління та інші операції для створення потрібної форми, розмірів та шорсткості поверхні..

У цеху встановлене наступне устаткування.

Таблиця 1.1. Устаткування та обладнання, що входить до складу цеху

№ з/п	Номер на плані	Найменування електроприймачів
1	1, 2	Токарно-револьверні багатоцільові верстати
2	3, 21, 27	Кран-балка
3	4, 5	Токарні верстати з ЧПУ
4	6, 7, 15, 16	Свердлильно-фрезерні верстати
5	8	Кондиціонер
6	9, 10, 11, 12	Токарні верстати з ЧПУ збільшеної точності
7	13, 17, 18	Координатно-свердлильні горизонтальні верстати
8	14	Стругальний верстат
9	19	Шліфувальний верстат

10	20	Наждачний верстат
11	22, 23	Токарні багатоцільові дротово-патронні модулі
12	24, 29, 30	Токарні-вертикальні напівавтомати з ЧПУ
13	25, 26, 28	Координатно-свердлильні вертикальні верстати

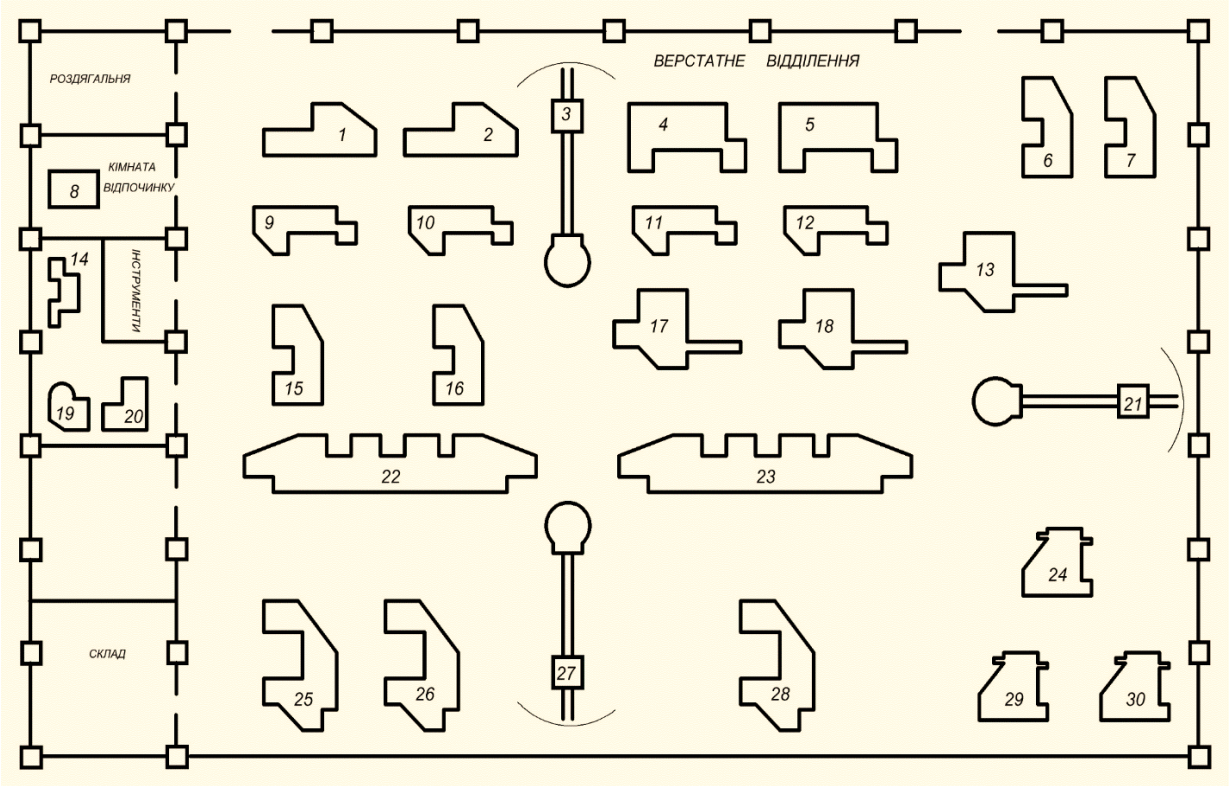


Рисунок 1.1–Розміщення технологічного обладнання

1.4.Вибір величини напруги живлення

Напругу 35 кВ здебільшого рекомендується використовувати для розподілу енергії на першому ступені середніх підприємств за відсутності великої кількості електродвигунів напругою вище 1000 В [5].

Напругу 10 кВ слід використовувати для внутрішньозаводського розподілу енергії.

Використаннянапруги 6 кВ повинно визначатись наявністю електроустаткування на 6 кВ та техніко-економічними показниками під час виборувеличини напруги живлення.

Для живлення освітлювальних установок промислових, житлових та загальних будівель, у більшості випадків, застосовують трифазні чотирьохпровідні мережі змінного струму 380/220 В за заземленої нейтралі, та 220 Вза ізольованоїнейтралі або постійному струмі[3].

Проаналізувавши вихідні дані, для живлення електрообладнання токарного цеху обираю напругу 0,4 кВ.

Висновки по першому розділу

В даному розділі було проаналізовано класифікацію споживачів електроенергії по ступені надійності електропостачання, та обрана категорія надійності токарного цеху для розрахунків електропостачання.

2. ВИБІР СХЕМИ ЦЕХОВОЇ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Вибір схеми цехової силової мережі

При виборі схеми цехової мережі враховують такі фактори [3]:

- потужність окремих ЕП;
- розміщення ЕП на території цеху;
- потрібна надійність живлення;
- характер технологічного процесу;
- умови середовища та ін.

Цехові силові електричні мережі можуть бути виконані за радіальною, магістральною або змішаною схемами(рис. 1.1, 1.2, 1.3).

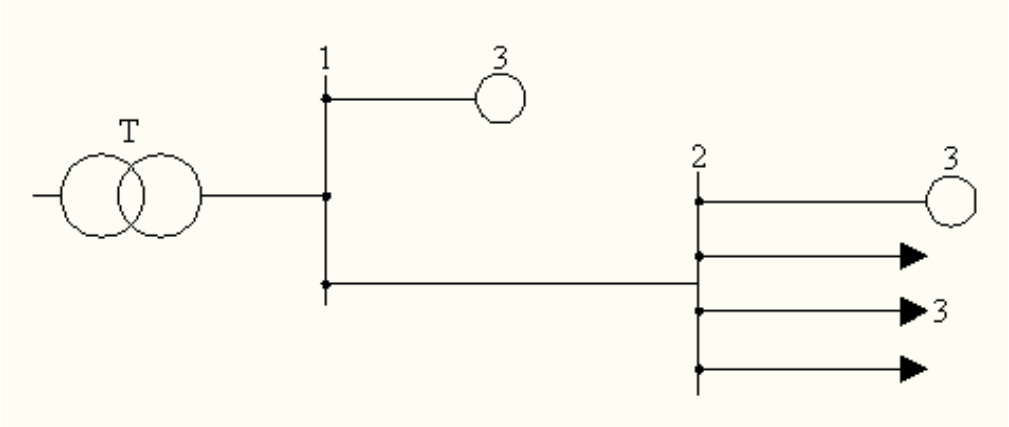


Рисунок 1.1 – Радіальна схема живлення електро приймачівпри напрузі до 1 кВ: 1 - розподільний пристрій низької напруги (НН) цехової підстанції; 2 - силова розподільна шафа; 3 - електроприймачі.

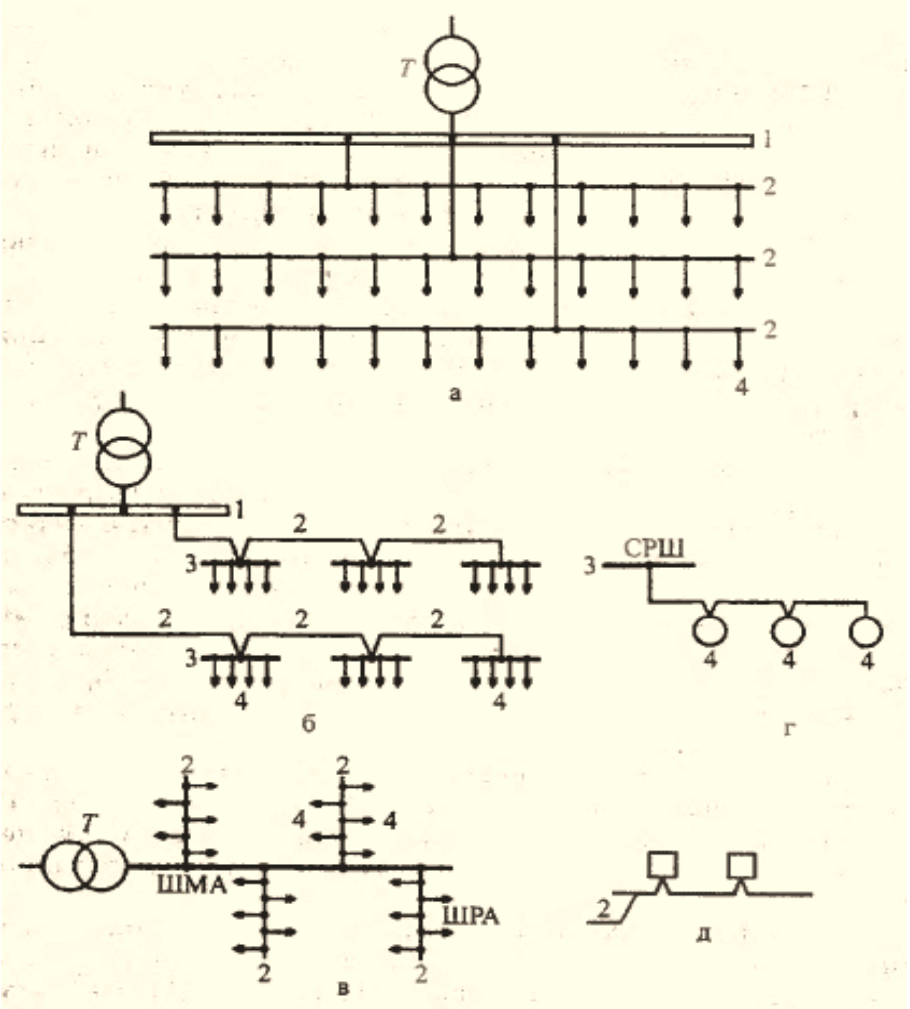


Рисунок 1.2 – Магістральні схеми живлення електроприймачів при напрузі до 1 кВ: а – з розподіленим навантаженням; б – з зосередженим навантаженням; в – блок “трансформатор-магістраль”; г - “ланцюжок; д – модульна; 1 - розподільний пристрій НН ЦТП; 2 – магістралі; 3 - силова розподільна шафа; 4 - електроприймачі.

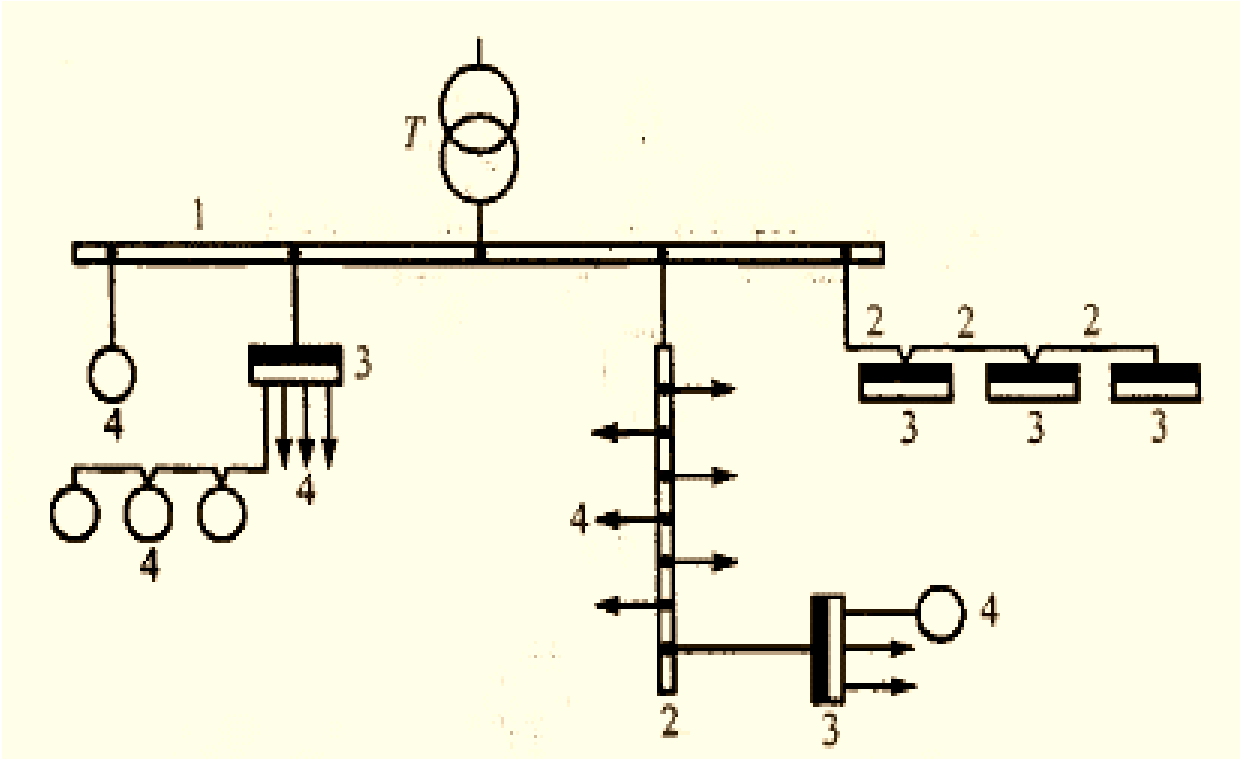


Рисунок 1.3 – Приклад змішаної схеми: 1 - розподільний пристрій НН ЦТП; 2 – магістралі; 3 - силова розподільна шафа; 4 - електроприймачі.

На основі аналізу розміщення технологічного обладнання (рисунок 1.4), зважаючи на необхідність забезпечення надійності електропостачання, зручності експлуатації, капітальні затрати і втрати напруги, обираємо радіальну схему цехової електричної мережі.

Висновки по другому розділу

В даному розділі було обрана схема цехової силової мережі. Цех відноситься до II категорії надійності елетропостачання, в якості напруги живлення ЦТП обрана напруга 10 кВ, а живлення електроприймачів цеху буде здійснюватися напругою 380 В.

3. РОЗРАХУНОК ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ

При проектуванні системи електропостачання необхідно врахувати аварійні режими роботи. Одним з таких режимів є коротке замикання (КЗ). Тому електроустаткування на підприємствах, має бути не уразливим струмами КЗ.

КЗ у мережі може супроводжуватися: припиненням живлення споживачів, приєднаних до точок, у яких відбулося КЗ; порушенням нормальної роботи інших споживачів, підключених до неушкоджених ділянок мережі, в наслідок зниження напруги на цих ділянках; порушенням нормального режиму роботи енергетичної системи [9].

3.1. Розрахунок струмів КЗ в електроустановках напругою до 1000 В

При розрахунку повинні враховуватися активні опори ланцюга КЗ (повітряних і кабельних ліній, обмоток силових трансформаторів, трансформаторів струму, шин і комутаційної апаратури) [9].

Розрахункова схема та схема заміщення для розрахунку струмів КЗ зображена на рисунку 3.1.

Визначимо повні опорив точках К1, К2, К3.

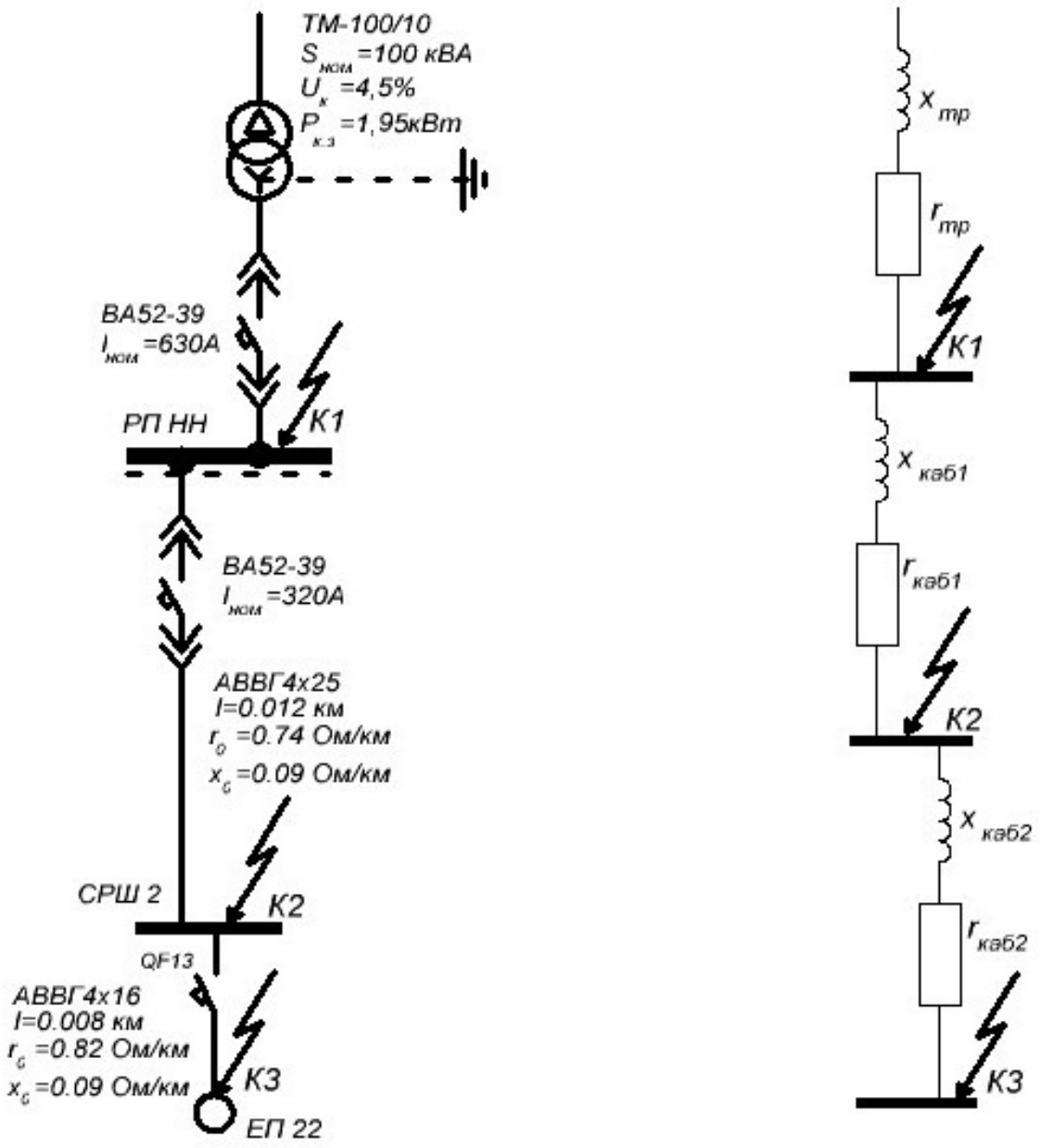
В точці К1:

Повний опір трансформатора визначаємо за формулою:

$$Z_{тр} = \frac{U_к\% \cdot U_б^2}{100 \cdot S_{ном}} \qquad (3.1)$$

де $U_к$ % – напруга КЗ трансформатора; $U_б$ – базова напруга, кВ; $S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$Z_{тр} = \frac{4{,}5 \cdot 0{,}4^2}{100 \cdot 0{,}16} = 45 \quad МОм$$



а б

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема (а) і схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Активний опір трансформатора обчислимо за формулою:

$$r_{тр} = \frac{P_{кз} \cdot U_б^2}{S_н} \tag{3.2}$$

де $P_{кз}$ –втрати КЗ у трансформаторі, кВт; $U_б$ – базованапруга, кВ; $S_н$ –номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$r_{тр} = \frac{2,65 \cdot 0,4^2}{0,16} = 2,65 \ \ МОм$$

Реактивний опір трансформатора:

$$X_{тр} = \sqrt{Z_{тр}^2 + r_{тр}^2} \tag{3.3}$$

$$X_{тр} = \sqrt{45^2 + 2,65^2} = 45,1 \ \ МОм$$

Повний опір в точці К1 буде дорівнювати:

$$Z_{К1} = \sqrt{r_{тр}^2 + x_{тр}^2} \tag{3.4}$$

$$Z_{К1} = \sqrt{2,65^2 + 45,1^2} = 45,2 \ \ МОм$$

В точці К2:

$$Z_{К2} = \sqrt{\left(r_{тр} + \sum r_{кабі}\right)^2 + \left(x_{тр} + \sum x_{кабі}\right)^2} \tag{3.5}$$

де $\Sigma r_{кабі}$ – сума активних опорів *і*-ого кабелю, Ом; $\Sigma x_{кабш}$ – сума реактивних опорів *і*-ого кабелю, Ом

$$r_{каб1} = r_0 \cdot l \tag{3.6}$$

де r_0 – активний опір кабелю на 1км довжини, Ом/км; l – довжина кабелю, км

$$r_{каб1} = 0,74 \cdot 0,012 = 0,009 \ \ Ом = 9 \ \ МОм$$

$$x_{каб1} = x_0 \cdot l \tag{3.7}$$

де x_0 – реактивний опір кабелю на 1км довжини, Ом/км; l – довжина кабелю, км

$$x_{каб1} = 0,09 \cdot 0,012 = 0,001 \ \ Ом = 1 \ \ МОм$$

$$Z_{К2} = \sqrt{\left(2,65 + 9\right)^2 + \left(45,1 + 1\right)^2} = 47,5 \ \ МОм$$

В точці К3:

За формулами (4.6), (4.7) знайдемо активний та реактивний опір кабеля:

$$r_{каб2} = 0{,}82 \cdot 0{,}008 = 0{,}007 \quad Ом = 7 \quad МОм$$

$$x_{каб2} = 0{,}09 \cdot 0{,}008 = 0{,}001 \quad Ом = 1 \quad Мом$$

За формулою (4.5) знайдемо повний опір в точці К3:

$$Z_{К3} = \sqrt{(2{,}65 + 9 + 7)^2 + (45{,}1 + 1 + 1)^2} = 50{,}7 \quad МОм$$

Визначимо струми КЗ у точках за формулою:

$$I_{Ki} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Ki}} \tag{3.8}$$

де Z_{Ki} – результуючий повний опір, Ом; $U_{ср}$ – середня номінальна напруга на тій супені, де перебуває точка КЗ, В.

$$I_{К1} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 45{,}2 \cdot 10^{-3}} = 4880 \quad А = 4{,}8 \quad кА$$

$$I_{К2} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 47{,}5 \cdot 10^{-3}} = 4690 \quad А = 4{,}6 \quad кА$$

$$I_{К3} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 50{,}7 \cdot 10^{-3}} = 4340 \quad А = 4{,}3 \quad кА$$

Визначимо ударний струм в різних точках системи за формулою:

$$i_{уKi} = \sqrt{2} \cdot k_у \cdot I_{Ki} \tag{3.9}$$

де $k_у$ – ударний коефіцієнт струму КЗ [3]; I_{Ki} – початкове діюче значеня періодичної складової струму КЗ, кА

$$i_{уК1} = \sqrt{2} \cdot 1{,}8 \cdot 4{,}8 = 12{,}2 \quad кА$$

$$i_{уК2} = \sqrt{2} \cdot 1{,}8 \cdot 4{,}6 = 11{,}7 \quad кА$$

$$i_{уКЗ} = \sqrt{2} \cdot 1{,}8 \cdot 4{,}3 = 10{,}9 \quad кА$$

При ушкодженні ізоляції в установках із глухо заземленою нейтраллю виникає однофазне коротке замикання. Розрахуємо силу струму однофазного замикання.

$$I_K = \frac{U}{Z_n + Z_{тр}} \tag{3.10}$$

де $U_ф$ – фазна напруга мережі, $В$;

Z_n – повний опір петлі фаза - нульовий провід, $Ом$; де

$Z_{тр}$ – повний опір трансформатора при замиканні на корпус, значення якого наведено в $[3]$.

$$Z_n = \sqrt{\left(r_{фпр1} + r_{фпр2} + r_{0пр1} + r_{0пр2}\right)^2 + \left(x_{фпр1} + x_{фпр2} + x_{0пр1} + x_{0пр2}\right)^2} \tag{3.11}$$

За формулами (4.6), (4.7) визначимо $r_{прі}$ та $x_{прі}$ відповідно:

$$r_{фпр1} = 0{,}74 \cdot 0{,}012 = 0{,}009 \quad Ом = 9 \quad МОм$$

$$r_{0пр1} = 0{,}83 \cdot 0{,}012 = 0{,}01 \quad Ом = 10 \quad МОм$$

$$r_{фпр2} = 0{,}82 \cdot 0{,}008 = 0{,}007 \quad Ом = 7 \quad МОм$$

$$r_{0пр1} = 1{,}3 \cdot 0{,}008 = 0{,}01 \quad Ом = 10 \quad МОм$$

$$x_{фпр1} = 0{,}09 \cdot 0{,}012 = 0{,}001 \quad Ом = 1 \quad МОм$$

$$x_{0пр1} = 0{,}09 \cdot 0{,}012 = 0{,}001 \quad Ом = 1 \quad МОм$$

$$x_{фпр2} = 0{,}09 \cdot 0{,}008 = 0{,}001 \quad Ом = 1 \quad МОм$$

$$x_{0пр1} = 0{,}09 \cdot 0{,}008 = 0{,}001 \quad Ом = 1 \quad МОм$$

$$Z_n = \sqrt{(9 + 7 + 10 + 10)^2 + (1 + 1 + 1 + 1)^2} = 36{,}2 \quad МОм$$

$$I_K = \frac{220}{36{,}2 \cdot 10^{-3} + 0{,}162} = 1110 \quad A = 1{,}1 \quad кА$$

3.2 Перевірка обраного електрообладнання на стійкість до струмів КЗ

Вимикачі повинні вибиратися й перевірятися відповідно до максимальних розрахункових величин. При цьому для забезпечення надійної безаварійної роботи, розрахункові величини повинні бути менше припустимих.

Зробимо перевірку високовольтного вимикача видатного типу, розташованого у шафі СН.

– по напрузі:

$$U_{н.в} \geq U_{увт}$$

де $U_{н.в}$ – напруга високовольтного вимикача, кВ; $U_{уст}$ – напруга установки, кВ

$$U_{н.в} = U_{увт} = 10 \quad кВ$$

– по номінальному струму:

$$I_{н.в} \geq I_{розр.уст}$$

де $I_{нв}$ – припустимий струм гголовних контактів вимикача, А;

$I_{розр.уст}$ – розрарахунковий струм установки, А

$$I_{н.в} \geq 9{,}7 \quad A$$

– по термічній стійкості:

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_{пр}$$

де I_t – струм термічної стійкості, що допускається заводом виготовлювачем протягом час t, с, кА

$$I_\infty^2 \cdot t_{пр} = 9{,}7^2 \cdot (0{,}15 + 0{,}01) = 15{,}1 \quad кА$$

$$I_t^2 \cdot t \geq 15{,}1$$

– по динамічній стійкості:

$$i_{\max} \geq i_{yK1}$$

де i_{max} – струм динамічної стійкості вимикача, кА; i_{yK1} – розрахунковий динамічний струм КЗ у точці К1, кА

$$i_{\max} \geq 12{,}2 \quad кА$$

– по вимикальній здатності:

$$I_{вим.в} \geq I_{K1}$$

де $I_{вим.в}$ –номінальний струм відключення вимикача, кА;

I_{K1}–початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ у точці К1, кА

$$I_{вим.в} \geq 4{,}8 \quad кА$$

Можна зробити висновок, що обраний високовольтний вимикач відповідає усім вимогам і забезпечить надійну роботу мережі.

3.3. Розрахунок заземлення

Визначення необхідного опору заземлюючого пристрою $R_з$:

Згідно ПУЕ найбільш припустимі значення $R_з$, складають:

Для установок до 1000 В:

а) 10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВа;

б) 4 Ом у всіх інших випадках

Визначення необхідного опоруштучного заземлювача $R_ш$:

$$R_ш = \frac{R_е \cdot R_з}{R_е - R_з} \qquad (3.12)$$

де $R_е$ – опір розтікання природного заземлювача, Ом;

$R_з$ – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

Визначається довжина горизонтальних та кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a} \tag{3.13}$$

де n – кількість вертикальних електродів, шт.;

S – площа цеху, м²;

a – задана відстань між електродами, м;

$$l_г = 2a' + 2b' \tag{3.14}$$

де $l_г$ – сумарна довжина горизонтальних електродів, м;

a' – ширина сторони цеху, м;

b' – довжина сторони цеху, м.

Розраховуються опори розтікання вертикального $R_в$ та горизонтального $R_г$ електродів:

$$R_в = \frac{\rho_{розр.в}}{2\pi \cdot l_в}\left(\ln\frac{2 \cdot l_а}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot t + l_в}{4 \cdot t - l_в}\right) \tag{3.15}$$

$$R_г = \frac{\rho_{розр.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_г} \cdot \ln\frac{2 \cdot l_г}{0{,}5 \cdot b \cdot t} \tag{3.16}$$

З таблиць 3.1 та 3.2 обираються коєфіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $\eta_в$ та $\eta_г$:

Таблиця 3.1 –Коєфіцієнти використання $\eta_в$ вертикальних електродівгрупового заземлення без урахування впливу смуги зв’язку

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини a / l	Число заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Електроди розміщенні по контуру								
1	–	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	–	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	–	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Таблиця 3.2 – Коєфіцієнти використання $\eta_г$ горизонтальних електродів смугового електрода, з'єднуючого вертикальні електроди групового заземлення

Відношення відстаней між вертикальними електродами до їх довжини a / l	Число заземлювачів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщенні по контуру								
1	–	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	–	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	–	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Обчислюють розрахунковий опір заземлювача R за виразом:

$$R = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в \cdot \eta_г + R_г \cdot \eta_в \cdot n} \qquad (3.17)$$

де $R_в$, $R_г$ – розрахункові опори розтікання вертикального (горизонтального) електродів;

$\eta_в, \eta_г$ – коєфіцієнти використання вертикальних та горизонтальних електродів (згідно таблиці 3.1, 3.2);

n–кількість електродів, шт

Розрахунок заземлювача в однорідній землі методом коефіцієнтів використання при допустимому опорі.

Вихідні дані:

Токарний цехцех площею $S = 1344 м^2$ з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_в = 5 м$, діаметром $d = 12 мм$ і відстанню між ними $a = 5 м$ та горизонтальних електродів (сталева смуга перетином 4′40мм) на глибині $t_о = 0,8 м$. Розрахункові питомі опори землі: для вертикального електрода $\rho_в$= 120Ом·м, горизонтального $\rho_г$=176Ом·м. У якості природного заземлювача буде використана металева технологічна конструкція з опором розтікання природного заземлювача $R_е$=15Ом.

Згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою $R_з$, складає:

$$R_З = 4 \quad Ом$$

Визначення необхідного опору штучного заземлювача $R_ш$ за формулою (3.12):

$$R_ш = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \quad Ом$$

Визначаємо довжину горизонтальних та кількість вертикальних електродів за формулами(2.13), (2.14):

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{1344}}{5} = 30 \quad шт \qquad l_г = 2 \cdot 48 + 2 \cdot 28 = 152 \quad м$$

Розраховуємо опори розтікання вертикального $R_в$ та горизонтального $R_г$ електродів за формулами(3.15), (3.16):

$$R_в = \frac{120}{2 \cdot \pi \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0{,}012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3{,}3 + 5}{4 \cdot 3{,}3 - 5} \right) = 27{,}2 \quad Ом$$

$$R_г = \frac{176}{2 \cdot \pi \cdot 160} \cdot \ln \frac{2 \cdot 160}{0{,}5 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}8} = 1{,}7 \quad Ом$$

З таблиць 3.1 та 3.2 обираємо коєфіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $\eta_в = 0{,}44$ та $\eta_г = 0{,}24$.

Обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (3.17):

$$R = \frac{27{,}2 \cdot 1{,}7}{27{,}2 \cdot 0{,}44 + 1{,}7 \cdot 0{,}24 \cdot 30} = 1{,}91 \quad Ом$$

Таким чином, проектований заземлювач– контурний,складаєтьсяз 30 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5м і діаметром 12мм та горизонтального електрода у виді сталевої смуги довжиною 152м, перерізом 4´40мм, занурених у землю на 0,8м.

3.4 Захист від блискавки

При розрахунку блискавковідводів враховується необхідність одержання певної зони захисту, що являє собою простір, що захищає від прямих ударів блискавок.

Для одиночного стрижневого блискавковідводу при висоті блискавковідводу менш 60м, радіус захисту:

$$r_x = 1{,}6 \cdot h(h - h_x) \Big/ (h + h_x) \qquad (3.18)$$

де $h–h_x=ha$ – різниця висот блискавковідводу та захищеного об'єкта, чи активна висота; h – висота блискавковідводу; h_x – висота об'єкта, що захищається.

Із формули (4.16)слідує, що найбільший радіус захисту виходить на поверхні землі, де $r_x = 1{,}5h$, при куті захисту $a = 400$.

При струмі блискавки $I_б > 150$ *кА* приймають $\omega L = RL$, тоді амплітудна імпульсна напруга

$$U_{\max} = \left(I_m / 2 \right) \cdot \left(R_{зн} + \sqrt{R_{зн} + R_L} \right) \qquad (3.19)$$

В цьому випадку найменша відстань по повітрю та в землі при $E_в = 500$ *кВ / м*, $E_з$=300 кВ/м складе (м):

$$S_{мин.з} = I_т \cdot R_{зн} \qquad (3.20)$$

$$S_{мин.в} = U_{\max} / E_в \qquad (3.21)$$

На рисунку 3.2 показано розміщення будівлі, що захищається і блискавковідводів.

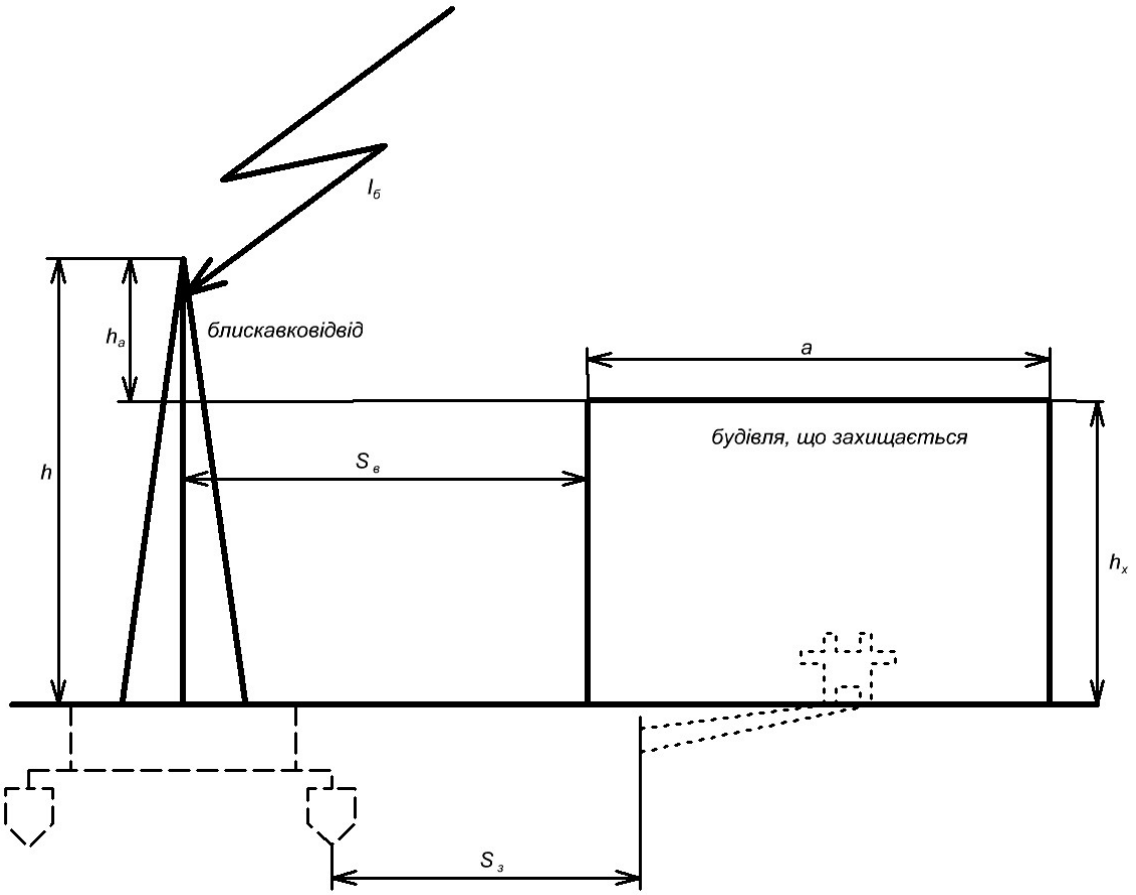


Рисунок 3.2 – Розміщення захищаємої будівлі і блискавковідводів

Знаходимо висоту блискавковідводу: якщо $I_м = 150$ *кА*, то нормований опір заземлюючого пристроя $R_{зн} =$ 4 *Ом.*

Висота захищаємого спорудження h_x= 8 *м*, $a \times b$ – розміри спорудження 48х28 м². За формулою (4.19) знаходимо:

$$U_{max} = \left(\frac{150}{2}\right) \times \left(4 + \sqrt{4 + 100}\right) = 1065\ kB$$

Знаходимо відстань по повітрю за формулою (4.20):

$$S_{мин.з} = 150 \cdot 4 \diagup 300 = 2 \quad м$$

За формулою (4.21) знаходимо відстань в землі:

$$S_{мин.в} = 1065 \diagup 500 = 2{,}1 \quad м$$

Проаналізувавши дані розрахунків про відстань, можна зробити висновок, що пробою не відбудеться.

Висота блискавковідводу повинна бути вибрана такаю, щоб захищаєма будівля знаходилась в захищеній зоні блискавковідводу.

Для цього при одиночним блискавковідводові необхідно, щоб:

$$r_x \geq S_в + a \tag{3.22}$$

$$r_x = 2 + 20 = 22 \quad м$$

Довжина блискавковідводу вираховується по формулі:

$$h = \frac{1{,}6 \cdot h_x + r_x}{3{,}2} + \sqrt{\left(\frac{1{,}6 \cdot h_x + r_x}{3{,}2}\right)^2 + \frac{h_x + r_x}{1{,}6}} \tag{3.23}$$

Прийнявши r_x=22 *м*, h_x=8 *м* знаходимо висоту блискавковідводу:

$$h = \frac{1{,}6 \cdot 8 + 22}{3{,}2} + \sqrt{\left(\frac{1{,}6 \cdot 8 + 22}{3{,}2}\right)^2 + \frac{8 + 22}{1{,}6}} = 22{,}6 \quad м$$

Висновки по третьому розділу

В даному розділі було проведено розрахунок струмів КЗ. У відповідності до отриманих значень струмів КЗ було здійснено перевірку комутаційно-захисних апаратів. Вибране устаткування задовольняє умовам вибору.

Також була проведена розробка контуру заземлення електротехнічного обладнання та системи блискавкозахисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз складу електрообладнання токарного цеху машинобудівельного заводу.

Виходячи з другої категорії надійність електропостачання визначено, що живлення споживачів цеху буде здійснюватися від двохтрансформаторної підстанції, яка отримує живлення від двох незалежних кабельних ліній 10 кВ.

В ході проведення розрахунків електричних навантажень цеху встановлено, що загальна величина електричного навантаження токарного цеху з урахуванням втрат в трансформаторах складає 167,3 кВА. З врахуванням цього до установки в понижувальній підстанції вибрано два силових трансформатори ТМ – 100/10, номінальною потужністю $S_{ном}$ = 100 кВА.

У відповідності до отриманих значень струмів КЗ було здійснено перевірку комутаційно-захисних апаратів. Вибране устаткування задовольняє умовам вибору.

Також була проведена розробка контуру заземлення електротехнічного обладнання та системи блискавкозахисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Улаштування електроустановок./ Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476

2. Ю.Ф. Романюк. Електричні мережі та системи. Навчальний підручник. – Київ: “Знання”, 2007. – 292 с.

3. Лисяк В.Г. Оптимальні режими вузлів навантаження електропостачальних систем. Навчальний посібник,–Львів: “ННІ” 2007. – 251 с.

4. П.М. Монтік Електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник – Львів: “Новий Світ”, 2011. – 487 с.

5. Електричні мережі та системи.: Навч. посібник для студ. електроенерг. спец. / М. С. Сегеда; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Л.: Каменяр, 1999. - 296 с. - Бібліогр.: с.292-296. - ISBN 5-7745-0766-1

6. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни "Проектування електричних систем": для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / Вінницький держ. технічний ун-т; уклад. Ж. І. Остапчук. - Вінниця: [б.в.], 1998. - 46 с.

7. Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика": Навч. посіб. для студ. спец. "Електричні мережі та системи"/О. Є. Рубаненко; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 1999. - 63 с.

8. Релейний захист та автоматика в електроенергетиці: Навч. посіб. для студ. спец. "Электрична частина електричних станцій", "Електричні мережі та системи", "Електротехнічні системи та системи електроспоживання" / В. М. Кутін [та ін]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 104 с.

9. Методичні вказівки до вибору схем розподільних пристроїв підстанцій напругою 35-750 кВ з курсу "Електричні системи та мережі" для студентів спеціальності "Електричні системи та мережі"/ Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т"; уклад. В. П. Волков. - Х.: НТУ "ХПІ", 2001. - 19 с.

10. Конструкції повітряних ліній електропередачі. Курсове проектування: навч. посібник для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 107 с.: рис. - Бібліогр.: с. 106-107

11. Експлуатація повітряних ліній електропередачі: навч. посіб. для студ. спец. 7.090602 "Електричні системи і мережі" / М. О. Головатюк; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2001. - 129 с.: рис. - Бібліогр.: с. 129

12. Електромонтажні роботи. Електричні мережі до 1000 В: Навч. посібник для студ. електротехн. спец. з дисципліни "Робоча професія" / О. Д. Демов [і др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 55 с.

13. Електричні системи та мережі [Текст]: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спец. 7.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" денної та заоч. форм навчання / Національний ун-т харчових технологій; уклад. С. Є. Вакуленко. - К.: НУХТ, 2002. - 51 с.: рис. - Бібліогр.: с. 51-52

14. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні: навч. посібник для студ. спец. 7.090601 - "Електричні станції, 7.090602 - "Елетричні системи і мережі" / Ю. В. Лук'яненко [та др.]; Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 111 с.: рис. - Бібліогр.: с.111.

15. Денисюк А.Ю., Хливнюк М.Г., Шестак І.М. Комп‘ютерна електроніка: Навч. Посіб. - Житомир: ЖВІ, 2017. - с. 33-44.

16. Електричні мережі систем електропостачання [Текст] : навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Г. Г. Півняк [та ін.]; ред. Г. Г. Півняк; Національний гірничий ун-т. - Д.: НГУ, 2003. - 316 с.: рис. - Бібліогр.: с. 311. - ISBN 966-8271-45-9