

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
З ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 – ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Біла Церква – 2021

УДК 631.3:378.22-21.66(07)

Затверджено  
методичною комісією БНАУ  
Протокол № 2 від 19.10.2021 р.

**Укладачі:** **Голодний І.М.**, кандидат технічних наук, доцент;  
**Червінський Л.С.**, доктор технічних наук, професор;  
**Трегуб М.І.**, доктор технічних наук, професор;  
**Безкровний М.Ф.**, доктор економічних наук, доцент;  
**Рубець А.М.**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні рекомендації з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра за спеціальністю 141 – енергетика, електротехніка та електромеханіка. / Голодний І.М., Червінський Л.С., Трегуб М.І., Безкровний М.Ф., Рубець А.М.: БНАУ, Біла Церква, 2021. 156 с.

**Відповідальний за випуск: Рубець А.М.**

Навчальне видання містить матеріали, які необхідні для розробки проектної документації, розрахунків та вибору електрообладнання по електрифікації технологічних процесів та елементів систем електропостачання в с.-г виробництві при виконанні кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту) бакалавра за спеціальністю 141 – Енергетика, електротехніка та електромеханіка..

Рецензенти: **В.С. Хахула**, кандидат сільськогосподарських наук ,  
декан агробіотехнологічного факультету;  
**М.М. Сенчук**, канд. техн. наук доцент кафедри  
електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

@ БНАУ, 2021

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЗАСАДИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ) БАКАЛАВРА .....	7
1.1. Загальні положення .....	8
1.2. Структура, зміст та тематика кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту) бакалавра .....	8
1.3. Оформлення пояснювальної записки .....	10
1.4. Правила виконання електричних схем .....	18
1.5. Захист та оцінювання кваліфікаційної роботи .....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОЛАДНАННЯ (Технологічна частина дипломного проєкту) ...	27
2.1. Загальні вимоги щодо вибору технологічного обладнання .....	27
2.2. Розрахунок водопостачання .....	29
2.3. Вибір обладнання для забезпечення мікроклімату, теплопостачання та підігріву води в с.-г. виробництві .....	32
2.3.1. Розрахунок та вибір обладнання системи мікроклімату .....	33
2.3.2. Розрахунок та вибір обладнання для опалення та нагріву води .....	35
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ (Електротехнічна частина проєкту) .....	38
3.1. Вибір електродвигуна .....	38
3.1.1. Загальна методика вибору електродвигуна .....	38
3.1.2. Попередній вибір електродвигуна за потужністю і частотою обертання .....	41
3.1.3. Перевірка вибраного електродвигуна .....	44
3.2. Світлотехнічні розрахунки освітлювальних установок. Вибір і розрахунок опромінюваних установок .....	49
3.2.1. Розрахунок освітлення сільськогосподарських приміщень .....	49
3.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі .....	53
3.3. Розрахунок і вибір опромінювальних установок .....	55
3.3.1. Розрахунок установок у тваринництві .....	55
3.3.2. Розрахунок опромінювальних установок у рослинництві .....	56
3.4. Вибір електронагрівальних установок .....	57

3.4.1. Вибір електричних водонагрівачів .....	57
3.4.2. Вибір установок для місцевого обігрівання тваринницьких і птахівницьких приміщень .....	59
3.4.3. Розрахунок та вибір електрообладнання для обігріву грунту в парниках і теплицях .....	61
3.4.4. Кабельні системи опалення сільськогосподарських виробничих та житлово-побутових приміщень .....	61
3.5. Розрахунок та вибір електротехнологічного обладнання ...	64
3.6. Розрахунок електричного навантаження на вводі об'єкта споживання. Вибір джерела живлення .....	68
3.7. Розрахунок і вибір зовнішніх та внутрішніх електропроводок .....	75
3.8. Вибір пускозахисної апаратури .....	77
3.8.1. Вибір автоматичного вимикача .....	77
3.8.2. Вибір запобіжника .....	79
3.8.3. Вибір електротеплових реле .....	80
3.8.4. Вибір електромагнітних пускачів .....	80
3.8.5. Вибір реле, кнопок керування, перемикачів та сигнальних пристроїв .....	82
3.8.6. Вибір низьковольтних комплектних пристроїв (НКП) ....	84
3.8.7. Перевірка захисної апаратури на спрацювання у разі короткого замикання .....	85
3.8.8. Перевірка умов пуску асинхронного двигуна .....	89
3.9. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання сільськогосподарських споживачів .....	91
3.9.1. Вихідні дані .....	91
3.9.2. Визначення електричних навантажень на вводах споживачів електричної енергії .....	91
3.9.3. Розрахунок сумарної потужності населеного пункту .....	92
3.9.4. Розрахунок системи електропостачання сільського населеного пункту .....	93
3.9.4.1. Розрахунок кількості та вибір місць розташування споживчих трансформаторних підстанцій ТП-10/0,4 кВ ....	93
3.9.4.2. Розрахунок навантажень ліній електропередачі напругою 0,38 кВ .....	93
3.9.4.3. Вибір перерізу проводів ліній електропередачі 0,38 кВ .....	94
3.9.4.4. Обґрунтування номінальної потужності споживчих трансформаторних підстанцій .....	95
3.9.4.5. Розрахунок розгалуженої лінії електропередачі 10 кВ ..	96

3.9.4.6. Розрахунок повного електричного навантаження на шинах 10 кВ районної трансформаторної підстанції .....	99
3.9.4.7. Обґрунтування параметрів та первинної електричної схеми РТП .....	100
3.9.4.8. Розрахунок струмів короткого замикання .....	101
3.9.4.9. Вибір електричної апаратури .....	102
3.9.4.9.1. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 10 кВ .....	102
3.9.4.9.2. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 35 (110) кВ .....	114
3.9.4.10. Розрахунок релейного захисту повітряної лінії 10 кВ .	114
РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ .....	119
4.1. Вимоги до спеціального завдання дипломного проєкту ....	119
4.2. Розрахунок ефективності енергоощадних заходів .....	120
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	123
5.1. Розрахунок обсягу робіт з обслуговування енергетичного обладнання в умовних одиницях .....	124
5.2. Розрахунок річних затрат праці на проведення технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання .....	126
5.3. Розрахунок кількості електромонтерів для обслуговування електротехнічного обладнання .....	127
5.4. Планування технічного обслуговування і ремонту електротехнічного обладнання .....	130
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	134
6.1. Розробка комплексу заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих виробничих чинників .....	134
6.2. Розрахунок заземлювального пристрою повторного заземлення захисного проводу на вводі до виробничого об'єкта .....	135
6.3. Блискавкозахист виробничого об'єкту .....	138
6.4. Пожежна безпека .....	139
РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ .....	141
ДОДАТКИ .....	144
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	155

## ВСТУП

Головною ознакою сільськогосподарської енергетики є використання електрообладнання в специфічних умовах, які визначаються різноманітністю технологій виробництва, якістю і надійністю електропостачання, технічним рівнем і умовами експлуатації. Постійне поновлення парку агропромислового комплексу більш досконалим і сучасним електрообладнанням, апаратурою керування і автоматизації, не завжди обумовлює вирішення питань підвищення енергоефективності. В якості прикладів достатньо енерговитратних галузей сільського господарства можна назвати рослинництво, тваринництво, які і є основними виробниками сільськогосподарської продукції.

В зв'язку з цим, подальший розвиток сільськогосподарської енергетики потребує розробки та реалізації комплексної електрифікації та автоматизації виробничих процесів, заходів щодо економії і зменшенню втрат електроенергії, продукції сільського господарства. До таких заходів, в першу чергу, можна віднести розробки та впровадження низькоенергетичних технологічних процесів та обладнання сільськогосподарських виробництв, модернізацію і вдосконалення існуючого електрообладнання, систем електропостачання, підвищення рівня технічного стану сільських електричних мереж, поліпшення умов експлуатації та обслуговування електрообладнання.

У навчальному виданні розглядаються загальні питання дипломного проектування, питання методики проектування комплексної електрифікації с.-г виробництва, рекомендації по організації монтажу, налагодження, технічної експлуатації та ремонту електрообладнання, по охороні праці.

Особливу увагу приділено вибору технологічного обладнання, схемним рішенням, розрахунку електричних навантажень, вибору джерел живлення і внутрішніх електропроводок. Приводяться загальні положення по складанню специфікацій, кошторисів і визначення основних техніко-економічних показників проєктів.

В навчальному виданні не приводяться матеріали описового характеру і інші навчальні матеріали, які є в підручниках і навчальних посібниках по електрифікації сільськогосподарського виробництва.

Пропонований матеріал має на меті допомогти студентам опанувати знаннями, необхідними при виконанні кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту) бакалавра.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ ЗАСАДИ КВАЛІФІКАЦІЙНІ РОБОТИ (ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ) БАКАЛАВРА

### 1.1. Загальні положення

Положення про кваліфікаційну роботу (дипломний проєкт) здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня спеціальності 141 – енергетика, електротехніка та електромеханіка Білоцерківського національного аграрного університету розроблено з урахуванням вимог Закону України «Про вищу освіту», нормативних документів МОН України, державних стандартів вищої освіти України, "Положення про організацію освітнього процесу в Білоцерківському національному аграрному університеті".

Основою методичних рекомендацій є вимоги Закону України "Про вищу освіту" (із відповідними змінами), правила оформлення дисертацій, вимоги щодо оформлення звітів у сфері науки та техніки, які затверджені Державним стандартом України ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення", а також чинні стандарти з інформаційної, бібліотечної та видавничої справи, чинні вимоги до оформлення бібліографічного опису використаних джерел та інші нормативні документи, видані МОН України і БНАУ.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) бакалавра є однією зі складових державної атестації, підсумковою кваліфікаційною роботою, яка дає змогу виявити рівень засвоєння студентом теоретичних знань і практичної підготовки, здатність його до самостійної роботи за обраною спеціальністю.

Дипломні (кваліфікаційні) проєкти (роботи) виконуються на завершальному етапі навчання студентів, що передбачає такі етапи:

- систематизацію, закріплення, розширення теоретичних і практичних знань зі спеціальності, застосування їх під час вирішення конкретних наукових, технічних, економічних виробничих та інших завдань;

- розвиток навичок самостійної роботи й оволодіння методикою дослідження та експерименту, пов'язаних з темою проєкту (роботи).

Метою випускної бакалаврської роботи є систематизація та застосування отриманих теоретичних і практичних знань до основних дисциплін спеціальності, які необхідні для використання при розробці проєктів та питань комплексної електрифікації і автоматизації, систем електропостачання сільськогосподарських споживачів, розрахунках та

виборі відповідних систем електрообладнання, його експлуатації та обслуговуванні.

Основна увага при цьому повинна бути приділена використанню сучасних тенденцій розвитку сільськогосподарського виробництва, розробці новітніх технологій і електрообладнання, які б сприяли вирішенню питань енергоресурсозбереження, підвищенню продуктивності і якості продукції, в т.ч. і електричної енергії.

## **1.2. Структура, зміст та тематика кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту) бакалавра**

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) бакалавра складається з пояснювальної записки і графічного матеріалу. Обсяг записки не повинен перевищувати 50-60 сторінок, а графічний матеріал – 4 аркуші формату А-1.

Текстові документи проєкту слід подавати в такій послідовності:

- титульна сторінка (додаток А);
- завдання на дипломний проєкт (додаток Б);
- анотація (додаток В);
- відомість проєкту (додаток Г);
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень;
- вступ;
- основна частина%
- список використаних джерел;
- додатки.

Пояснювальна записка містить: *вступ* з обґрунтуванням необхідності розробки, аналіз стану проблеми; *загальну характеристику* виробничого об'єкта; *технологічну частину*, яка присвячена обґрунтуванню, розрахункам та вибору відповідних технологічних рішень, наприклад процеси обробки с.г. продукції, ремонт техніки, утримання тварин, птиці питання електропостачання та енергозбереження, які базуються на стандартних інженерно-технічних рішеннях; *електротехнічну частину*, яка присвячена обґрунтуванню, і в першу чергу, з позицій енергозбереження, розрахункам і вибору електро- та електротехнологічного обладнання, умов його роботи з досягненням при цьому загальної мети розробки; *спеціальну частину*, яка являє собою детальний аналіз та проробку проблеми, вирішення інженерно-технічної задачі із застосуванням сучасних досягнень науки і техніки та опис рішень для конкретного



об'єкта розробки, його функціонування (процеси, схеми керування та енергопостачання, модернізація обладнання та ін.).

Крім того, до складу бакалаврської роботи, як окремі частини, входять *питання безпеки праці, екології, техніко-економічна частина*, яка присвячена розрахункам різного споживання або питомих витрат електроенергії, зменшенню витрат сировини та ін.

У кінці роботи повинні бути висновки з розробки та наведено список використаної літератури.

Графічний матеріал має містити: виробничий об'єкт (план трансформаторної підстанції, електричних мереж, конкретного господарства та ін.), його силове та технологічне обладнання, схеми технологічних процесів об'єкта (електричні, кінематичні, гідравлічні тощо), технічні та конструкторські рішення по об'єкту розробки (загальні види, таблиці, графіки, діаграми роботи обладнання), відповідні розрахунки, алгоритми та ін.

Тематика дипломних проєктів бакалавра пропонується відповідними кафедрами або при відповідному обґрунтуванні безпосередньо студентом згідно заяви (додаток Д).

В якості тематики бакалаврських робіт розробки можуть бути трьох напрямків: електрифікація технологічних процесів різних сільськогосподарських об'єктів (корівник, пташник, свинарник, кормоцех, зерно тік, теплиця, цех по переробці м'яса, молока, майстерні по ремонту сільгосптехніки та ін.); електрифікація майстерень з технічного обслуговування і поточного ремонту, дільниці з ремонту електрообладнання, мобільної с.г. техніки, питання енергосервісу та ін.; розробка питань підвищення надійності електропостачання, заходів по зниженню втрат електроенергії в електричних мережах, питання модернізації обладнання, наприклад трансформаторних підстанцій, пристроїв захисту компенсації реактивної потужності тощо

Орієнтовні назви тем дипломних проєктів бакалавра:

1. Електрифікація технологічних процесів в корівнику.
2. Електрифікація технологічних процесів в телятнику.
3. Електрифікація технологічних процесів в свинарнику-маточнику.
4. Електрифікація технологічних процесів в свинарнику-відгодівельнику.
5. Електрифікація технологічних процесів агрегату вітамінного борошна.
6. Удосконалення електрифікованих технологічних процесів у пташнику напільного (кліткового) утримання.

7. Електрифікація технологічних процесів у кормоцеху для ВРХ.
8. Електрифікація технологічних процесів у кормоцеху для свиноферми.
9. Електрифікація технологічних процесів зерноскладу.
10. Електрифікація технологічних процесів у гідропонній теплиці.
11. Електрифікація технологічних процесів у зимовій теплиці.
12. Удосконалення електрифікованих технологічних процесів у цеху для вирощування високопоживних водоростей.
13. Розробка енергозберігаючих технологічних процесів у цеху гідротермічної обробки зерна.
14. Електрифікація технологічних процесів на зерносушильному комплексі КЗС-10Б.
15. Електрифікація технологічних процесів зерноочисного комплексу ЗАВ-25.
16. Пункт ТО і ремонту електрообладнання сільськогосподарського підприємства.
17. Електрифікація технологічних процесів у ремонтній майстерні.
18. Проект електропостачання офісного приміщення.
19. Модернізація розподільчого пристрою 10 кВ трансформаторної підстанції 110/10 кВ.
20. Проект реконструкції районної трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ.
21. Реконструкція повітряної лінії 10 кВ з встановленням пункту автоматичного вмикання резерву.
22. Реконструкція районної трансформаторної підстанції 35/10 кВ.

### **1.3. Оформлення пояснювальної записки**

Пояснювальну записку оформляють у вигляді документа, що відповідає усім вимогам стандарту (ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення») на оформлення науково-технічної документації.

Кваліфікаційну роботу пишуть державною мовою і подають надрукованою у редакторі Word. *Текст розрахунково-пояснювальної записки* дипломного проекту обмежується рамкою. Відстань сторін рамки від країв аркуша має дорівнювати з лівого боку 20 мм, справа, зверху й знизу – 5 мм. Відстань від рамки до тексту повинна бути не менше 5 мм зліва, 3 мм справа, до 10 мм зверху й знизу. Кожна рамка має штамп (додатки Е і Є)

Вимоги до тексту: тип шрифту – Times New Roman, розмір шрифту – 14 пт., міжрядковий інтервал – 1,5, стандартний відступ

першого рядка абзацу – 1,27 см. Вирівнювання основного тексту виконують по ширині, а заголовків розділів – по центру. В усіх варіантах папір стандартного формату А4 (210x297). Скорочення слів у тексті, в таблицях та підписах під рисунками не допускається.

Текст пояснювальної записки поділяють на розділи, підрозділи, пункти та підпункти. Заголовки структурних частин «ЗМІСТ», «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ», «ВСТУП», «РОЗДІЛИ», «ВИСНОВКИ», «ДОДАТКИ», «СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ» друкують великими літерами напівжирними літерами, шрифтом – 14 пт., симетрично до набору. Кожний розділ починають з нової сторінки.

Заголовки підрозділів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу напівжирними літерами, шрифтом – 14 пт. Крапку в кінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох або більше речень, їх розділяють крапкою. Заголовки пунктів друкують маленькими літерами (крім першої великої) з абзацного відступу в розрядці у підбір до тексту, в кінці заголовка, надрукованого в підбір до тексту, ставлять крапку.

Пояснювальна записка повинна мати наскрізну нумерацію сторінок, починаючи з титульної сторінки і включаючи додаток. При цьому нумерації підлягають також ілюстрації, таблиці, додатки, якщо вони займають окрему сторінку. На титульній сторінці номер не ставлять, однак враховують. Номер сторінки проставляють вгорі посередині або в правому верхньому куті без крапки в кінці, починаючи з наступної сторінки вступу. Назву розділу розміщують по центру сторінки, а назву пункту – з лівого краю з абзацу. Розділи роботи нумерують арабськими цифрами. Номер розділу ставлять після слова «РОЗДІЛ», після номера крапку не ставлять, наприклад, «РОЗДІЛ I». Потім з нового рядка друкують заголовок розділу.

Нумерацію сторінок, розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів, рисунків (малюнків), таблиць, формул подають арабськими цифрами без знаку №. Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, між якими ставлять крапку, наприклад: «2.3» (третій підрозділ другого розділу). Далі в тому ж рядку наводять заголовок підрозділу. Кожний розділ та підрозділ має найменування, що відповідає його змісту. Вступ, висновки та список літератури не нумерують.

Примітки до тексту і таблиць, в яких наводять довідкові та пояснювальні дані, нумерують послідовно в межах однієї сторінки.

Якщо приміток на одному аркуші кілька, то після слова «Примітки» ставлять двокрапку, наприклад:

Примітки:

1....

2....

Якщо є одна примітка, то її не нумерують і після слова «Примітка» ставлять крапку. Під час набору приміток кегель зменшують до 12.

Цифровий матеріал, зазвичай, оформляють у вигляді таблиць. Таблиці нумерують послідовно (за винятком таблиць, поданих у додатках) в межах розділу. У правому верхньому куті над відповідним заголовком таблиці розміщують напис «Таблиця» із зазначенням номера. Назву та слово «Таблиця» починають з великої літери напівжирним шрифтом. Номер таблиці має складатися з номера розділу і порядкового номера таблиці, між якими ставлять крапку, наприклад: "Таблиця 1.2" (друга таблиця першого розділу). Таблицю розміщують після першого згадування про неї в тексті так, щоб її можна було читати без повороту переплетеного блоку кваліфікаційної роботи або з поворотом за стрілкою годинника. Таблицю з великою кількістю рядків можна переносити на наступну сторінку, зберігаючи нумерацію стовпчиків у заголовку таблиці. Таблицю з великою кількістю граф можна ділити на частини та розміщувати одну частину під іншою в межах однієї сторінки.

За перенесення частини таблиці на інший аркуш (сторінку) слово "Таблиця" ілюструють кваліфікаційну роботу, враховуючи загальний задум, за ретельно продуманим тематичним планом. Кожна ілюстрація має відповідати тексту, а текст — ілюстрації. Ілюстрації (фотографії, креслення, схеми, графіки, карти) необхідно подавати в роботі безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці. Ілюстрації і таблиці, розміщені на окремих сторінках, вносять до загальної нумерації сторінок. Таблицю, рисунок або креслення, розміри якого більше формату А4, враховують як одну сторінку і розміщують у відповідних місцях після згадування у тексті або в додатках.

Ілюстрації позначають словом "Рис.", "Мал." і нумерують послідовно в межах розділу, за винятком ілюстрацій, поданих у додатках. Номер ілюстрації, її назву розміщують послідовно під ілюстрацією. Номер ілюстрації має складатися з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, між якими ставлять крапку. Наприклад: Рис.1.2 (другий рисунок першого розділу).

За необхідності ілюстрації доповнюють пояснювальними даними (підрисунковий підпис).

Підпис під ілюстрацією включає чотири основних елементи:

- найменування графічного сюжету, що позначають скороченим словом "Рис.";
- порядковий номер ілюстрації, який вказують без знаку номера арабськими цифрами;
- тематичний заголовок ілюстрації, що містить текст зі стислою характеристикою зображеного;
- експлікацію, яка будується так: деталі сюжету позначають цифрами, що виносять у підпис, супроводжуючи їх текстом.

Слід зазначити, що експлікація не замінює загального найменування сюжету, а лише пояснює його, наприклад:

Рис. 1.4. Головний фасад будинку: а) доріжка; б) майданчик; в) сходи.

У тому місці, де викладають матеріал, пов'язаний з ілюстрацією, треба вказати на неї, тому розміщують посилання у вигляді виразу в круглих дужках "(рис. 3.1)", або зворот типу: "...як це видно з рис. 3.1", або "... як це показано на рис. 3.1".

Якість ілюстрацій має забезпечувати чітке відтворення об'єкта (електрографічне копіювання, мікрофільмування). Ілюстрації виконують чорнилом, тушшю або пастою чорного кольору на білому непрозорому папері або на комп'ютері.

Основними видами ілюстративного матеріалу дипломних проєктів є: креслення, схеми, фотографії, діаграми і графіки, картини (візуалізація).

Рівняння і формули слід виділяти з тексту вільними рядками. Вище і нижче кожної формули потрібно залишити не менше одного вільного рядка. Якщо рівняння не вміщується в один рядок, його слід перенести після знаку рівності (=), або після знаків плюс (+), мінус (-), множення. Нумерувати слід лише ті формули, на які є посилання в наступному тексті, інші нумерувати не рекомендують. Порядкові номери позначають арабськими цифрами в круглих дужках біля правого поля сторінки без крапок від формули до її номера. Номер, який не вміщується у рядку з формулою, переносять у наступний рядок нижче формули. Номер формули за її перенесення вміщують на рівні останнього рядка. Якщо формулу взято в рамку, то номер такої формули записують зовні рамки з правого боку навпроти основного рядка формули. Загальне правило пунктуації в тексті з формулами таке: формула входить до речення як його рівноправний

елемент. Тому в кінці формул і в тексті перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

За оформлення додатків окремою частиною на титульному аркуші друкують великими літерами слово «ДОДАТКИ». Текст кожного додатка за необхідності може бути поділений на розділи й підрозділи, які нумерують у межах кожного додатка. У цьому разі перед кожним номером ставлять позначення додатка (літеру) і крапку, наприклад, А.2 – другий розділ додатка А; В.3.1 – перший підрозділ третього розділу додатка В. Додатки слід позначати послідовно великими літерами української абетки, наприклад, додаток Б.

У процесі написання кваліфікаційної роботи студент зобов'язаний наводити посилання на джерела, матеріали або окремі результати інших авторів, або на ідеї і висновки, опубліковані в наукових працях учених, що займаються вивченням аналогічних проблем. Посилання в тексті пояснювальної записки на джерела слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, "... у працях [1–7]...".

Список використаних джерел містить їх бібліографічні описи, розміщують після висновків.

#### Таблиця 1.1- Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у кваліфікаційній роботі

Х-ка джерел	Приклад оформлення
Книги Один автор	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гегельський І.Н. Мистецтво паркового пейзажу / І.Н.Гегельський. – К.: Знання, 1993. – 272 с.</li> <li>2. Жирнов А.Д. Ландшафтна архітектура. Частина І. Генеза та розвій форм садово-паркового мистецтва./ Анатолій Дмитрович Жернов Навчальний посібник. – К.: ДАКККіМ, 2002. – 123 с.</li> <li>3. Кучерявий В.П. Озеленення населених місць: Підручник / В.П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2008. – 456 с.</li> <li>4. Рубцов Л.І. Проектирование садов и парков / Л.І. Рубцов. – М.: Стройиздат, 1979. – 184с.</li> <li>5. Арнольд Регель Изящное садоводство и художественные сады (Извлечение) М.: советская Россия, 1990. – 148 с.</li> </ol>
Два автори	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Никитинский Ю.И. Декоративное древоводство / Ю.И. Никитинский, Т.А. Соколова. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 256 с.</li> <li>2. Рубцов Л.И. Справочник по зеленому строительству / Л.И. Рубцов, А.А.</li> </ol>

	<p>Лаптев. – К.: Будівельник, 1968. – 280 с.</p> <p>3. Таран И.В. Пейзажные группы для рекреационного строительства / И.В. Таран, А.М. Агапова. – Новосибирск: Наука, 1981. – 241 с.</p>
Три автори	<p>1. Бородина Н.А. Семенное размножение интродуцированных древесных растений / [Н.А. Бородина, И.А. Комаров, П.И. Лапин] под ред. П.И. Лапина. – М.: «Наука», 1970. – 320 с.</p> <p>2. Гордієнко Н.М., Інтродуценти в дібровах Полісся та Лісостепу України / Н.М. Гордієнко, А.О. Бондар, М.І. Гордієнко. – К.: Урожай, 2001. – 448 с.</p> <p>3. Журавлѐв И.И. Определитель грибных болезней деревьев и кустарников / И.И. Журавлѐв, Т.Н. Селиванова, Н.А. Черемисинов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 248 с.</p>
Чотири автори	<p>1. Геоботаніка: тлумачний словник / [Якубенко В.Є., Попович С.Ю., Григорюк І.П., Мельничук М.Д.]. – К.: В-во Укр. фітосоціологічного центру, 2011. – 420 с.</p> <p>2. Ишин Л.П. Выращивание посадочного материала для защитного лесоразведения / Л.П. Ишин, Г.Я. Маттис, Т.А. Желтинова, Ф.А. Павленко. – М.: Изд-во с/х л-ры, журналов и плакатов, 1963. – 406 с.</p>
П'ять авторів	<p>1. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і куші. Покритонасінні / [Кохно М.А., Пархоменко Л.І., Зарубенко А.У. та ін.] ; за ред. М.А. Кохна. – [Ч. I: Довідник] – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – 448 с.</p> <p>2. Искусство архитектурно-ландшафтного дизайна / [Потаев Г.А., Мазаник А.В., Натиевская Е.Е. и др.]: под ред. Г.А. Потева. – Ростов н/Д.: Феникс, 2008 – 217 с.</p> <p>3. Формирование основных типов экспозиций в ботанических садах и дендропарках / Кузнецов С.И., Клименко Ю.А, Миронова Г.А. и др. – К.: Наукова думка, 1994. – 198 с.</p>
Без автора	<p>Деревья и кустарники. Покрытосемянные. Справочник. К.: Наукова думка, 1974. 590с.</p>
Багатотомний документ	<p>1. Васильев И.В. / [О.Л. Липа Ю.А. Алексеев, И.В. Васильев, И.Т. Васильченко и др.]; под ред. Н.Н. Цвелева // Флора Восточной Европы. – Санкт-Петербург: Изд-во «Мир и семья – 95», 1995. – Т.IX., - С. 225-230.</p> <p>2. Васильев И.В. / [О.Л. Липа З.Т. Артюшенко, И.В. Васильев, М.С. Грызьян и др.]; под ред. С.Я. Соколова // Деревья и кустарники СССР. – М.-Л.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1958. – Т.IV., - С. 660-726.</p>
Препринти	<p>1. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М., 1975. – 28с.</p> <p>2. Корчагин А.А. Методы учета семеношения кустарников / Корчагин</p>

	<p>А.А. // Полевая геоботаника.– М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1960.– Т.2.– 500 с.</p> <p>3. Кошно М.А. Методичні рекомендації щодо добору дерев та кущів для інтродукції в Україні / М.А. Кошно, С.І. Кузнецов. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 48 с.</p>
Депоновані наукові праці	<p>Сухорукова Е.Е. Московская с.-х. академия им. К.А. Тимирязева. Госагропром СССР. Особенности распространения и роль корневых гнилей в высоковозрастных сосняках Лесной опытной дачи ТСХАРукопись деп. 1986.10.31. – с. 537-548Тр. научной конференции молодых ученых 3-6 июня 1986. М, 1986. Рубрики ГРНТИ: 68.47.37</p> <p>Біогеоценози заповідника "Розточчя" і розробка наукових основ їх збереження (Літопис природи) Природ. заповід. "Розточчя"/ Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Івано-Франків, 1999. – 216 с.: іл. – Укр. – Деп. 04.01.2000, №1-Ук 2000 ДРНТИ 87.31</p>
Словники	<p>Лесохозяйственный словарь-справочник / [отв. редактор Букштынов А.Д.]. – М.-Л.: Гос. лесотех. изд-во, 1950. – Т.ІІ., – т174с.</p> <p>Реймерс Н.Ф. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы / Н.Ф. Реймерс, А.В. Яблоков. – М.: Наука, 1982. – 144с.</p>
Атласи	<p>1. Соколов С.Я. Ареалы деревьев и кустарников СССР / Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. – Л.: Наука, 1986. – Т.ІІІ. – С. 85-89.</p> <p>2. Засульська Т.М. Ґрунти Київської області / Т.М. Засульська, І.Г. Захарченко. – К.: Урожай, 1969. – 60с.</p>
Законодавчі та нормативні документи	<p>1.Закон України Про благоустрій населених пунктів (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2005, N 49, ст.517 )</p> <p>2.Інструкція з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України/ Затверджена наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України 24.12.2001 N 226</p> <p>3.Нормативи приживлюваності дерев і кущів при проведенні робіт з озеленення міст та інших населених пунктів України/ Затверджено наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України 25.02.2005 N 32</p>
Стандарти	<p>1. Метод определения доброкачественности семян: ГОСТ 13056.8 – 97. – [Введ. 01.07.2000]. – К.: Госстандарт Украины, 2000. – 11 с.</p> <p>2. Методы определения веса 1000 семян: ГОСТ 13056.4 – 67. – [Введ. 1968-01-07]. – М.: Госстандарт СССР, 1967. – 3с.</p>
Каталоги	<p>1. Каталог деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» НАН України /[авт: Галкін С.І., Галкіна Н.С., Гайдамак В.М. та ін.; ред. Галкін</p>



	<p>С.І.] – Біла Церква: 2008. – 56с.</p> <p>2. Каталог рослин дендрологічного парку «Софієвка». Довідниковий посібник./ За редакцією к.б.н. І.С. Косенко. – Умань, 2000. – 160с.</p> <p>3. Каталог растений Центрального ботанического сада им. Н.Н. Гришко (Справочное пособие) /Под ред.. д-ра биол. Наук Н.А. Кохно. – к.: Наукова думка, 1997. – 437с.</p> <p>4. Кохно М.А. Каталог дендрофлоры Украины / Кохно М.А – К.: НАНУ НБС ім. М.М. Гришка, 2001. – 72с.</p>
Бібліографічні покажчики	1 Куц О. С. Бібліографічний покажчик та анотації кандидатських дисертацій, захищених у спеціалізованій вченій раді Львівського державного університету фізичної культури у 2006 році / О. Куц, О. Вацеба. — Львів: Укр. технології, 2007. 74 с.
Дисертації	1. Масальський В.П. Рід <i>Tilia L.</i> в Правобережному Лісостепу України: інтродукція, біоекологічні особливості, перспективи використання: дис.. к.б.н.: 030005 / Масальський Владислав Петрович. К., 2011. 196 с.
Автореферати дисертацій	<p>1. Калиниченко А.А. Биологические основы интродукции арборифлоры СССР в лесах Украины: Автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра биол. наук / А.А. Калиниченко. К, 1990. 50 с.</p> <p>2. Колыбина Н.Ф. Биологические особенности видов рода <i>Tilia L.</i> в лесостепи УССР афтореф. дис. на соискание науч. степени канд. биол. наук / Н.Ф. Колыбина. Киев, 1970. 20с.</p> <p>3. Николаева М.Г. Физиология глубокого покоя семян: автореф. дис. на соискание научной степени канд. биол. наук / М.Г. Николаева. Л., 1966.38с.</p>
Патенти	1. Патент на корисну модель № 63572 від 10.10.2011. "Чизель-розпушувач для стрічкового обробітку ґрунту з локальним внесенням гранульованих добрив" Офіційний бюлетень "Промислова власність" № 19, 2011.
Частина книги, періодичного продовжуваного видання	<p>1. Зайцев Г.Н. Обработка результатов фенологических наблюдений в Ботанических садах / Г.Н. Зайцев // Бюлл. ГБС АН СССР.– 1974.– Вып. 94.– С. 3-10.</p> <p>2. Кормилицин А.М. Ботанико-географические закономерности в интродукции деревьев и кустарников на Южном берегу Крыма / А.М. Кормилицин // Бюлл. Никитского бот. сада. – 1957. № 3-4. – С.29-32.</p> <p>3. Роговський С.В. Організація ландшафтних рубок у старовинних парках та ботанічних садах України/ Роговський С.В. Кушнір А.І. – Науковий вісник НАУ, 2006. – № 96. – С. 292-299.</p>
Електронні	Бібліографічні посилання: загальні положення та правила складання

ресурси	(ДСТУ 8302- 2015) [Електронний ресурс]: презентація / Наук. біб-ка НаУКМА; уклад. Т.О. Патрушева. Київ, 2016. URL: <a href="https://www.slideshare.net/naukmalibrary/83022015">https://www.slideshare.net/naukmalibrary/83022015</a> –(дата звернення:16.05.2020).
---------	--

Примітка:

1. Бібліографічний опис оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

#### 1.4. Правила виконання електричних схем

При виконанні електричних схем різного типу і призначення треба користуватися загальними вимогами відповідно стандартам ЕСКД, і в першу чергу, ГОСТ 2. 701-84. (Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению), ГОСТ 2. 702-87. Правила виконання електричних схем, ГОСТ 2. 710-81. Позначення буквено-цифрові, які застосовують на електричних схемах.

До основних типів схем відносяться: *структурна, функціональна, принципова, з'єднання (монтажна), підключень, загальна, розташування, об'єднана (комбінована)*, які мають відповідні шифри: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9.

**Схема** – це графічний конструкторський документ, на якому показані у вигляді умовних позначень складові частини виробу і зв'язки між ними.

Основними складовими схеми є елементи та пристрої.

**Елемент схеми** – складова частина схеми, яка виконує конкретну функцію у виробі і не може бути поділена на частини, коли має самостійне призначення. Наприклад, мікросхема, ємність ( $C$ ), резистор-опір ( $R$ ) та ін.

**Пристрій** – сукупність елементів, які виконують конкретне призначення і являють собою єдину конструкцію. Наприклад, вимірювальний блок, плата та ін.

**Функціональна група** – сукупність елементів, які виконують у виробі конкретну функцію, наприклад, перетворювач, підсилювач, модулятор та ін.

До основних видів схем відносяться: *електрична, гідравлічна, пневматична, кінематична, оптична, вакуумна, газова, комбінована*,

енергетична та автоматизації, які мають відповідні шифри: Е, Г, П, К, Л, В, Х, С, Р та А.

Так, наприклад, схема електрична принципова буде позначатися: ЕЗ, кінематична функціональна: К2, оптична структурна: Л1.

При виконанні електричних схем в бакалаврських роботах треба користуватися наступними загальними вимогами:

- всі види і типи схем виконують без масштабу;
- кількість схем – мінімальна із максимальною інформацією;
- мінімальна відстань між паралельними лініями  $\geq 3\text{мм}$ ;
- при виконанні схем використовують тільки стандартні графічні умовні та буквенні позначення;

- всі комутаційні пристрої зображуються у положеннях прийнятих за початкове;

- розміщення схем горизонтальне (зліва – направо) або вертикальне (зверху – донизу);

- позначення силових кіл здійснюється великими літерами латинського алфавіту та арабськими цифрами L1, L2, L3 або А, В, С; окремі ділянки кіл (між елементами) L1.1, L1.2 або А1, А2 тощо;

- послідовність позначення – від джерела живлення до споживача;
- позначення елементів виконуються двох літерним кодом (перша літера – група видів елементів, друга – вид елемента). Наприклад, ВК: В – перетворювач, К – тепловий датчик; КА: К – реле, А – реле струмове; QF: Q – вимикач в силових колах, F – автоматичний вимикач; SF: S – вимикач в колах керування, сигналізації; F – автоматичний вимикач.

Одно літерний код мають: А – пристрій (загальне позначення), С – конденсатори, М – двигуни постійного та змінного струму, R – опір, резистор.

На рис 1.1 наведено приклади позначення силових кіл та кіл керування в електричних схемах.

Усі написи на кресленнях виконують креслярським шрифтом згідно з ГОСТ 2.309–81. Висота цифр і букв приймається залежно від розміру зображень на проєкціях, розрізах та перерізах. Розміри букв і цифр доцільно обирати з рядів 3,5; 5,0; 7,0.

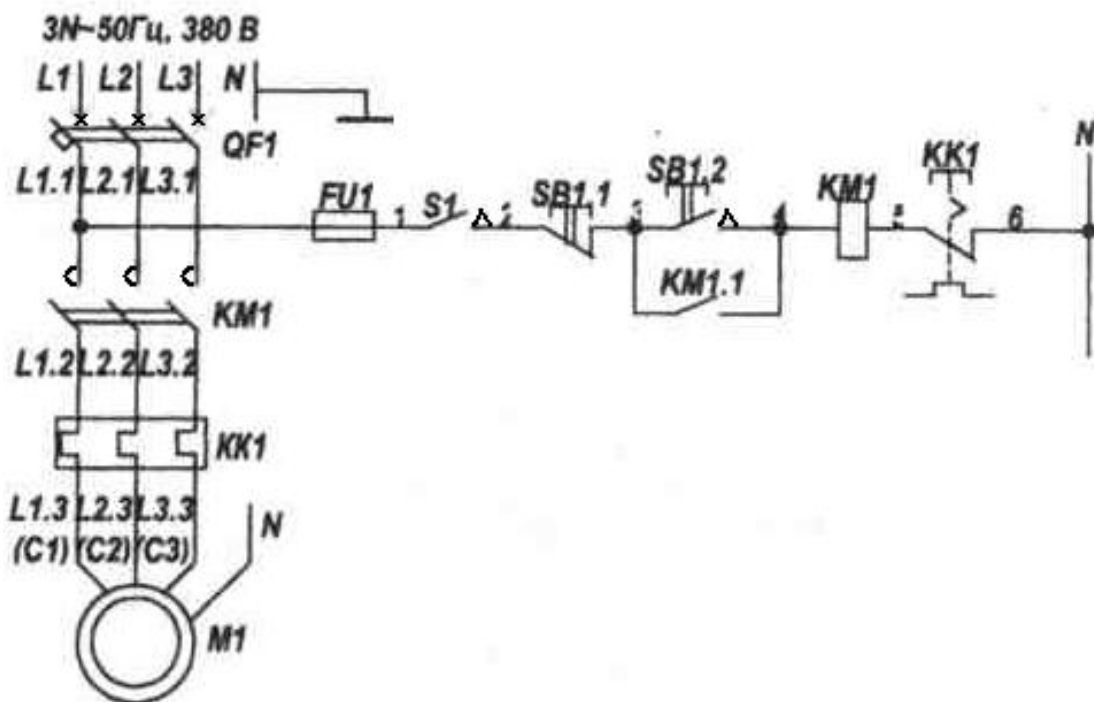


Рис. 1.1. Позначення кіл з урахуванням їх функціонального призначення

### 1.5. Захист та оцінювання кваліфікаційних робіт

*Попередній захист кваліфікаційної роботи* дозволяє об'єктивно оцінити рівень її підготовки здобувачем. З цією метою завідувач кафедри призначає комісію у складі 2–3 працівників кафедри. Дату проведення попереднього захисту встановлюють на кафедрі.

На момент проведення захисту у здобувача має бути готова кваліфікаційна робота і розпочато збір супровідних документів. Для допуску до захисту здобувачу освітнього ступеня бакалавр необхідно опублікувати тези виступу на науковій конференції.

На попередній захист студентові потрібно подати текст готових розділів та підготувати доповідь, у якій чітко має бути відображено:

- завдання дослідження і яким чином вони вирішені;
- отримані результати;
- формулювання новизни та практичної значимості роботи;
- завдання дослідження, які залишилися не вирішеними;
- яким чином ці завдання планують вирішити;
- які передбачувані результати можуть бути отримані за вирішення цих завдань?

Ключові моменти доповіді мають бути відображені і в презентаційному матеріалі, представленому членам комісії. Після

детального ознайомлення з процесом виконання випускної кваліфікаційної роботи, комісія робить висновок про якість здійсненої студентом роботи, висловлює зауваження щодо доопрацювання та дає відповідні рекомендації. Звіт комісії розглядають на засіданні кафедри, під час якого приймають рішення щодо здобувачів, які не пройшли або не з'явилися на попередній захист.

*Підготовка до захисту.* Керівник кваліфікаційної роботи пише на неї відгук (додаток Ж). Потім роботу подають до рецензування на кафедрі (додаток З). До захисту кваліфікаційної роботи допускаються студенти, які повністю виконали всі вимоги навчального плану. Захист проводять на відкритому засіданні Екзаменаційної комісії.

Доповідна записка готується заздалегідь і хронометрується на час не більше 10 хвилин. У разі перевищення цієї норми головуєчий на засіданні ЕК може зупинити доповідь. Краще мати про запас 1–2 хвилини.

За своєю структурою *доповідь* має відповідати відведеному часу та включати наступні матеріали: актуальність теми, мета роботи та завдання, об'єм і структура, коротка характеристика наявного стану об'єкта, представлення власних пропозицій та стислі висновки роботи.

Представляючи свій дипломний проєкт, студент має належно підготувати графічний матеріал. Під час доповіді слід активно презентувати свої проєктні пропозиції і рішення за допомогою креслень. Публічний захист дипломного проєкту має бути у вигляді наукової дискусії і відбуватись в атмосфері взаємної поваги, високої вимогливості і принциповості, збереження наукової етики.

Дипломнику рекомендують як у доповіді ДЕКу, так і у випускній кваліфікаційній роботі уникати слів "я", "мною". Краще слід використовувати вирази "... нами було отримано...", "... у процесі дослідження ми ...", "... нами було виконано наступні розрахунки ..." тощо.

*Захист випускної кваліфікаційної роботи* здійснюється на відкритому засіданні ЕК у терміни, визначені навчальними планами та згідно з графіком, який затверджує деканат.

Під час захисту студент має продемонструвати свій кваліфікаційний та професійний рівень, методи логічного і статистичного аналізу проблем, що досліджуються, здатність до самостійної наукової праці, уміння чітко і доступно викладати висновки. До захисту роботи здобувач має підготувати доповідь, розраховану до 10 хвилин, презентацію, створену у MS Power Point (обсягом приблизно до 20 слайдів).

*Структура презентації.* На першому слайді представляють тему кваліфікаційної роботи, ПІП студента, ПІП, науковий ступінь і вчене звання керівника кваліфікаційної роботи. На другому слайді подають план доповіді, пронумерований трьома і більше цифрами. На третьому слайді подають мету, завдання, об'єкт, предмет і базу дослідження. На наступних слайдах послідовно розкривають зміст кваліфікаційної роботи, переважно у таблицях, рисунках, формулах із мінімальним використанням тексту. Під час створення презентації основну увагу приділяють обґрунтуванню поданих пропозицій. Оформлення таблиць і рисунків здійснюють відповідно до загальних правил, для роздаткового матеріалу застосовують наскрізну нумерацію (Таблиця 1,2..5 і т.д. Рис. 1,2..5). Кожен слайд необхідно пронумерувати. У доповіді здобувач висвітлює актуальність, мету і завдання кваліфікаційної роботи, коротко характеризує її основний зміст, оголошує висновки та пропозиції. Читати доповідь під час захисту не рекомендують. Здобувач має вільно висловлювати свої думки, лише інколи користуючись друкованим текстом. Після доповіді державній комісії дипломник має повідомити про її закінчення фразою "Доповідь закінчено. Дякую за увагу". Після доповіді студента члени екзаменаційної комісії ставлять запитання згідно з темою представленої до захисту кваліфікаційної роботи.

Під час оцінювання екзаменаційна комісія враховує якість роботи, особливості виступу дипломника та його відповіді на запитання і критичні зауваження, що були зроблені виступаючими. Роботу оцінюють за чотирибальною системою на закритому засіданні екзаменаційної комісії.

*Оцінювання випускної кваліфікаційної роботи.* Екзаменаційна комісія під час закритого засідання оцінює кожну кваліфікаційну роботу. Оцінювання рівня якості підготовки здобувача та здобутої ним вищої освіти здійснюють члени екзаменаційної комісії на основі принципів об'єктивності, індивідуальності, комплексності, етичності, диференційованого та компетентнісного підходу, за критеріями оцінювання набутих загальних і професійних компетентностей і шкалою оцінювання, застосовуючи форми і методи діагностики. Об'єктом оцінювання є сукупність знань, умінь і навичок, набутих компетентностей, відтворених у процесі виконання й захисту кваліфікаційної роботи.

*Кваліфікаційна робота як об'єкт оцінювання має продемонструвати вміння:*

- працювати з інформаційними джерелами (законодавчими та нормативними документами, науковою літературою, у т. ч. виданою

іноземними мовами, матеріалами Інтернету і даними статистичної та фінансової звітності);

- викладати матеріал логічно й аргументовано;
- використовувати статистичні та математичні методи аналізу досліджуваної проблеми; застосовувати сучасні наукові методи для здійснення емпіричних досліджень;
- використовувати набуті знання для висловлення пропозицій та обґрунтування рекомендацій щодо предмета дослідження;
- формулювати наукову новизну/практичну цінність роботи;
- узагальнювати результати, робити висновки та формулювати рекомендації щодо проведення подальших досліджень.

*Критерії оцінювання кваліфікаційної роботи.*

У процесі визначення оцінки враховують низку важливих показників якості дипломної роботи:

- актуальність обраної теми;
- чіткість формулювання мети та завдань дослідження;
- структура і логіка побудови змісту дипломної роботи;
- наукова новизна та практична значущість роботи;
- якість і глибина теоретичного, методологічного та практичного аналізу проблематики дослідження;
- наявність критичного огляду літературних джерел та наукової полеміки;
- актуальність і обґрунтованість запропонованих рішень;
- дотримання вимог щодо оформлення дипломної роботи;
- наявність та інформаційна змістовність ілюстративних матеріалів для захисту дипломної роботи;
- змістовність повідомлення магістранта про основні результати дослідження;
- правильність та чіткість відповідей на запитання членів ДЕК;
- зауваження і пропозиції, що містяться у зовнішній рецензії та у відгуку наукового керівника;
- наявність публікацій та їх якісний рівень.

Кваліфікаційну роботу з ознаками плагіату за рішенням екзаменаційної комісії не розглядають, виставляють незадовільну оцінку. Оцінюючи кваліфікаційну роботу, екзаменаційна комісія враховує наукову новизну, практичну значущість, відповідність оформлення встановленим вимогам, уміння представити сформульовані положення та висновки на засіданні ЕК.

*Основні умови одержання оцінки:*

Відмінно (90–100 балів). Кваліфікаційна робота загалом виконана відповідно до вимог:

- містить елементи наукової новизни, підтверджені публікаціями у фахових виданнях за спеціальністю;
- має практичне значення, підтверджене довідкою про впровадження результатів;
- доповідь логічна і стисла, проголошена вільно зі знанням справи;
- відгук і рецензія позитивні;
- відповіді на запитання членів ЕК правильні.

Добре (75–89 балів). Тема кваліфікаційної роботи розкрита, але характерні окремі незначні недоліки:

- у теоретичній частині поверхнево проаналізовані джерела;
- наявні елементи новизни та практичного значення, які опубліковані у фахових виданнях за спеціальністю;
- практичне значення роботи підтверджене довідкою про впровадження;
- недостатньо використані інформаційні матеріали організації, наявні окремі зауваження у рецензії та відгуку;
- доповідь логічна, виголошена вільно;
- відповіді на запитання членів ЕК в основному правильні;
- кваліфікаційна робота оформлена відповідно до вимог.

Задовільно (60–74 бали). Тема кваліфікаційної роботи в основному розкрита, спостерігаються недоліки змістовного прояву:

- нечітко сформульована мета кваліфікаційної роботи;
- теоретичний розділ не містить критичного аналізу підходів до вирішення науково-прикладного завдання, яку охоплює тема, має описовий прояв;
- в аналітичній частині є надлишок елементів описовості;
- недостатньо чітко розкриті елементи наукової новизни та практичної значущості;
- наявна довідка про впровадження результатів роботи та документи про апробацію роботи на наукових семінарах і конференціях;
- добір інформаційних матеріалів (таблиці, графіки, схеми) не завжди обґрунтований;
- висновки і пропозиції автора обґрунтовані непереконливо;
- рецензія і відгук містять окремі зауваження;
- доповідь прочитана за текстом;
- не всі відповіді на запитання членів ДЕК правильні або повні;
- є зауваження щодо оформлення кваліфікаційної роботи.

Незадовільно. Тема кваліфікаційної роботи розкрита поверхнево. Характерні такі недоліки:



- нечітко сформульована мета кваліфікаційної роботи;
- розділи недостатньо пов'язані між собою;
- відсутній критичний огляд сучасних літературних джерел;
- аналіз виконаний поверхнево, переважає описовість недостатньо системності і ґрунтовності;
- відсутні документи про апробацію результатів роботи та публікації за темою роботи;
- запропоновані заходи з аналізу нерезультативні, економічне обґрунтування неповне.

Крім того, наявні недоліки в оформленні кваліфікаційної роботи. Ілюстрації до захисту відсутні. Доповідь прочитана за готовим текстом. Відповіді на запитання членів ЕК неточні або неповні.

Рішення щодо підсумкової оцінки приймається більшістю голосів членів ЕК за результатами публічного захисту з урахуванням висновків наукового керівниками і середнього балу за час навчання. За рівної кількості голосів, у випадку спірної оцінки, перевага надається оцінці, яку відстоює голова ЕК. Оцінка виставлена і оголошена ЕК є кінцевою і не підлягає оскарженню (апеляції). Якщо підсумкова оцінка захисту кваліфікаційної роботи є меншою 60 балів, виставляється оцінка «незадовільно». За шкалою ЄКТС у Білоцерківському національному аграрному університеті використовують таку градацію оцінок:

#### 1.1. Шкала оцінювання успішності здобувачів вищої освіти

За 100-бальною шкалою	За шкалою ECTS	За національною шкалою	
		іспит	залік
90–100	A	Відмінно	Зараховано
82–89	B	Добре	
75–81	C	Задовільно	
64–74	D		
60–63	E		
35–59	FX	Незадовільно (незараховано) з можливістю повторного складання	
1–34	F	Незадовільно (незараховано) з обов'язковим повторним вивченням	

Керівник кваліфікаційної роботи виставляє оцінку у відгуку. Середню оцінку успішності студента виставляють методисти деканату. Оцінкою захисту кваліфікаційної роботи є оцінка виставлена й оголошена ЕК по результатах її захисту.

За результатами успішного захисту випускної кваліфікаційної роботи екзаменаційна комісія приймає рішення щодо присвоєння кваліфікації бакалавр із відповідної спеціальності та про видачу випускнику диплома державного зразка відповідного освітнього ступеня. У випадках, коли захист кваліфікаційної роботи визнано незадовільним, ЕК вирішує, чи може студент подати повторно роботу після доопрацювання й усунення недоліків чи йому необхідно опрацювати іншу тему.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ (Технологічна частина дипломного проєкту)

#### 2.1. Загальні вимоги щодо вибору технологічного обладнання

Під час розробки електрифікованих технологічних процесів, розрахунків та вибору електрообладнання необхідно враховувати специфіку сільськогосподарського виробництва – різноманітність технологічних процесів різного призначення і характеру, умов і режимів роботи електрообладнання, особливості технологічних властивостей сільськогосподарської продукції. В основу вибору електрообладнання повинно бути закладене застосування сучасного й перспективного обладнання та системи машин, які б обумовлювали нормальне протікання технологічного процесу з мінімальними енерговитратами [2].

Специфікою аграрного виробництва є те, що під час вибору й розрахунків сукупності потокових ліній та систем машин в усіх галузях сільського господарства для завершення технологічного або виробничого циклу необхідно враховувати продуктивність, швидкість руху та тривалість процесів, базуючись на визначенні добових (годинних) норм одного споживача (об'єкта) або всієї їх кількості. Під час розрахунків та вибору електрообладнання треба враховувати те, що значна кількість систем робочих машин різного призначення поставляється комплектно [16, 5]. Це насамперед стосується багатьох технологічних процесів у тваринництві, особливо на фермах і комплексах промислового типу, птахівництві, рослинництві, у процесах транспортування, які є невід'ємною частиною усіх сільськогосподарських виробництв (норії, скребкові та стрічкові транспортери, скреперні установки, шнеки тощо).

Комплектна поставка широко застосовується в процесах післяжнивної обробки зерна – зерноочищення та сушіння зернових, зернобобових і круп'яних культур (комплекси ЗАВ–20, ЗАВ–40, КЗС–20, КЗС–50 тощо); процесах кормоприготування – подрібнення (КДУ–2, ДБ–5, «Волгар», УМК–Ф2, ИКМ–Ф10 тощо), змішування (ИСК–3А, ЗС–6, СКО–Ф3 та ін.), комплекти для приготування кормів (КЦС–600, КЦ–24, КПО, КЦК–5, КОРК–15, АВМ–1,5, ОГМ–1,5 тощо); процесах кормороздачі (КС–1,5, КЗС–1,7, РС–5 тощо); процесах гноєзбирання (ТСН–2,0 Б, ТСН–160А, УС–15, ТС–1 та ін.); процесах доїння та первинної обробки молока (агрегати УДА, АДМ–8,

сепаратори СОМ–3, ОСП–3 М, охолодники ОМ–1А, ТОМ–2А, АВ–30, пастеризатори типу ОП, ПТУ тощо) та багатьох інших процесах.

Наведені приклади показують, що розрахунки й вибір технологічного обладнання в багатьох випадках можна обмежити визначенням годинної або добової потреби в конкретному продукті.

Наприклад, продуктивність норії  $Q_H$  визначають за такою формулою:

$$Q_H = \frac{\rho \cdot \varphi \cdot V \cdot G}{l}, \quad (2.1)$$

де  $\rho$  – густина транспортованого матеріалу (кг/м<sup>3</sup>),  $\varphi$  – коефіцієнт завантаження ківшів (для зерна – 0,75 – 0,9),  $V$  – швидкість руху ківшів (м/с),  $G$  – вантажна місткість ківша (кг),  $l$  – відстань між ківшами (м).

Продуктивність пункту зерноочистки

$$Q_{zn} = \frac{G_{доб}}{k \cdot t_p}, \quad (2.2)$$

де  $G_{доб}$  – середньодобове надходження зерна,  $k$  – коефіцієнт використання робочого часу (0,8 – 0,9),  $t_p$  – кількість годин роботи на добу.

Продуктивність кормороздавача  $Q_{кр}$  розраховують за формулою

$$Q_{кр} = 3.6 \cdot \frac{q \cdot n \cdot V}{a}, \quad (2.3)$$

де  $q$  – норма корму на одну голову (кг),  $n$  – кількість тварин (птиці),  $V$  – швидкість кормороздавача (м/с),  $a$  – довжина кормового місця (м).

Відповідно кількість корму  $G$ , який доставляє кормороздавач за один раз, визначають за формулою

$$G = \frac{\rho \cdot V}{\eta}, \quad (2.4)$$

де  $\rho$  – густина корму (кг/м<sup>3</sup>),  $V$  – місткість бункера (м<sup>3</sup>),  $\eta$  – коефіцієнт заповнення бункера (0,7 – 0,8).

Вибір обладнання для прибирання гною здійснюється із врахуванням кількості гною, що виділяється тваринами (птицею) за добу ( $Q_{доб}$ ),

$$Q_{доб} = q \cdot N, \quad (2.5)$$

де  $q$  – вихід гною від однієї тварини (птиці) за добу (т),  $N$  – кількість тварин (птиць) у приміщенні.

Продуктивність поточкових ліній, наприклад, лінії первинної обробки молока визначають шляхом послідовних розрахунків добового надою молока ( $Q_{доб}$ ) та продуктивності лінії ( $Q_L$ ):

$$Q_{доб} = \frac{\alpha \cdot Q_k \cdot n}{365}, \quad (2.6)$$

$$Q_n = \frac{\beta \cdot Q_{доб}}{T}, \quad (2.7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт нерівномірності надою (за триразового доїння  $\alpha = 1,5 - 2,5$ ),  $Q_K$  – середньорічна продуктивність корови (кг/рік),  $n$  – кількість корів на фермі (голів),  $\beta$  – нерівномірність надою протягом доби ( $\beta = 0,3 - 0,6$ ),  $T$  – тривалість процесу обробки молока (годин).

В усіх випадках за розрахунковими значеннями продуктивності підбирають за каталогами відповідне технологічне обладнання та робочі машини. У сучасному сільськогосподарському виробництві використовують технологічне обладнання, машини та агрегати, які поставляють здебільшого комплектно з електроприводом. При цьому вибір фактично здійснюється шляхом перевірки відповідності електродвигунів за видом струму, величиною напруги, режимом роботи, електричною модифікацією, кліматичним виконанням, ступенем захисту від впливу навколишнього середовища.

В окремих випадках виникає необхідність виконання певного вибору електродвигуна й насамперед перевірки на відповідність електропривода приводним характеристикам робочої машини (див. розділ вибору електропривода), режимам її роботи (постійне або малозмінне навантаження, тривале, змінне тощо).

## 2.2. Розрахунок водопостачання

Розрахунок водопостачання проводять у такій послідовності: спочатку вибирають систему водопостачання (із застосуванням баштової або без баштової насосної установки), потім вибирають спосіб подавання води (із застосуванням заглибного або відцентрового насоса). Баштові насосні установки найбільш поширені на сільськогосподарських об'єктах. До комплекту обладнання баштової насосної установки в більшості випадків входить заглибний насос з електродвигуном, станція керування, водонапірна башта, датчики рівня води в її баку тощо.

Водонапірну башту вибирають так, щоб об'єм її бака ( $V_B$ ) та висота від землі до дна бака ( $H_B$ ) були не меншими від розрахункових значень цих параметрів  $V_{Б.Р}$  і  $H_{Б.Р}$ , тобто щоб виконувалися такі умови:

$$V_B \geq V_{Б.Р} \text{ і } H_B \geq H_{Б.Р}.$$

Розрахунковий об'єм бака водонапірної башти ( $V_{Б.Р}$ , м<sup>3</sup>) визначають за такою формулою:

$$V_{Б.Р} = V_{РЕГ} + V_{АВ} + V_{ПОЖ}, \quad (2.8)$$

де  $V_{PEГ}$  – регульований об’єм води в баку водонапірної башти, м<sup>3</sup>;  $V_{AB}$  – аварійний запас води, м<sup>3</sup>;  $V_{ПОЖ}$  – протипожежний запас води, м<sup>3</sup>.

Регульований об’єм води в баку водонапірної башти автоматизованої насосної установки ( $V_{PEГ, м^3}$ ) орієнтовно можна визначити за формулою

$$V_{рег} = 0,01 \frac{Q_{сер.д} \cdot \alpha_d \cdot \alpha_g}{n}, \quad (2.9)$$

де  $Q_{СЕР.Д}$  – середньодобові витрати води в господарстві, м<sup>3</sup>;  $\alpha_d$  і  $\alpha_g$  – коефіцієнти відповідно добової і годинної нерівномірності витрат води (приймають за даними будівельних норм і правил);  $n$  – кількість вмикань насоса за годину (приймають до 6).

Аварійний запас води ( $V_{AB}, м^3$ )

$$V_{ав} = Q_{макс.г} \cdot t_{ав}, \quad (2.10)$$

де  $Q_{МАКС.Г}$  – максимальна годинна витрати води, м<sup>3</sup>/год;  $t_{AB}$  – час, потрібний для усунення можливої аварії (переважно приймають  $t_{AB} = 2-3$  год).

Протипожежний запас води ( $V_{ПОЖ}, м^3$ )

$$V_{ПОЖ} = 3,6 \cdot Q_{ПОЖ} n_{ПОЖ} \cdot t_{ПОЖ}, \quad (2.11)$$

де  $Q_{ПОЖ}$  – витрати води на гасіння пожежі, л/с (беруть за даними будівельних норм і правил);  $n_{ПОЖ}$  – розрахункова кількість одночасних пожеж (для сільськогосподарських виробничих комплексів беруть залежно від площі, яку вони займають: одна пожежа за площі до 150 га, дві пожежі – понад 150 га);  $t_{ПОЖ}$  – тривалість гасіння пожежі (бак водонапірної башти повинен мати протипожежний запас води, розрахований на 10-хвилинну тривалість гасіння пожежі), год.

Розрахункову висоту водонапірної башти ( $H_{б.р}, м$ ) визначають за формулою

$$H_{б.р} = H_e + h + (Z_d - Z_b), \quad (2.12)$$

де  $H_e$  – потрібний вільний напір вихідного струменя води в точці розрахункового (найбільш не вигідного) водорозбору (у диктуючій точці), м;  $h$  – втрати напору у водопроводі від бака водонапірної башти до диктуючої точки, м;  $(Z_d - Z_b)$  – різниця геодезичних відміток землі біля диктуючої точки й біля башти, м.

Мінімальний вільний напір у водопровідній мережі населеного пункту за господарсько-питного водоспоживання потрібно приймати на ввіді в будинок (над поверхнею землі) за одноповерхової забудови не менше 10 м, за більшої кількості поверхів на кожний поверх треба додавати 4 м, біля водорозбірних колонок – не менше 10 м.

Втрати напору у водопроводі від бака до диктуючої точки ( $h, м$ )

$$h = \sum h_t + \sum h_m, \quad (2.13)$$

де  $\sum h_t$  – сума втрат напору на подолання тертя вздовж труб на всіх ділянках водопроводу, м;  $\sum h_m$  – сума втрат напору в місцевих опорах (коліна, вентиля, крани тощо), м.

Втрати напору на подолання тертя вздовж труби на заданій ділянці водопроводу ( $h_t$ , м) та в кожному з місцевих опорів ( $h_m$ , м) визначають за такими формулами:

$$h_t = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2.14)$$

$$h_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2.15)$$

де  $\lambda$  — коефіцієнт гідравлічного опору;  $l$  – довжина труби, м;  $d$  – діаметр труби, м;  $v$  – швидкість руху води в трубі, м/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору.

Насос баштової водонасосної установки для подачі води в бак водонапірної башти вибирають так, щоб його номінальна подача ( $Q_{Н.НОМ}$ ) була не меншою від максимальних годинних витрат води в господарстві ( $Q_{МАКС.Г}$ ), а номінальний напір ( $H_{Н.НОМ}$ ) був не меншим від розрахункового напору ( $H_P$ ):

$$Q_{Н.НОМ} \geq Q_{МАКС.Г} \quad \text{і} \quad H_{Н.НОМ} \geq H_P.$$

Максимальні годинні витрати води ( $Q_{МАКС.Г}$ , м<sup>3</sup>/ГОД) визначають за формулою

$$Q_{МАКС.Г} = \frac{Q_{СЕР.Д} \cdot \alpha_d \cdot \alpha_r}{24}, \quad (2.16)$$

де  $Q_{СЕР.Д}$  – середньодобові витрати води в господарстві, м<sup>3</sup>;  $\alpha_d$  – коефіцієнт добової нерівномірності витрат води ( $\alpha_d = 1,3$ );  $\alpha_r$  – коефіцієнт годинної нерівномірності (для тваринницьких ферм за наявності автонапувалок  $\alpha_r = 2,5$ , без автонапувалок  $\alpha_r = 4$ ).

Розрахунковий напір ( $H_P$ , м)

$$H_P = H_{ВС} + H_{НАГ} + h_{В.Н} = (Z_D - Z_B) + H_B + H_{БК} + h_{В.Н}, \quad (2.17)$$

де  $H_{ВС}$  – висота всмоктування (відстань від рівня води у водозабірній споруді до осі насоса), м;  $H_{НАГ}$  – висота нагнітання (відстань від осі насоса до максимального рівня води в баку водонапірної башти); м;  $h_{В.Н}$  – втрати напору у всмоктувальній і напірній трубах, м;  $(Z_D - Z_B)$  – різниця геодезичних відміток землі біля водонапірної башти та мінімального рівня води у водозабірній споруді, м;  $H_B$  – висота башти (від землі до дна бака), м;  $h_{В.Н}$  – висота максимального рівня води в баку, м.

Висоту максимального рівня води в баку з плоским дном ( $H_{БК}$ , м) визначають за формулою

$$H_{\text{бк}} = \frac{V_{\text{б.р}}}{S}, \quad (2.18)$$

де  $S$  – площа дна бака,  $\text{м}^2$ .

Втрати напору у всмоктувальній і напірній трубах визначають за формулами (2.14) і (2.15).

Електродвигун, потрібний для привода насоса, вибирають за загальною методикою.

Номінальна потужність двигуна ( $P_{\text{ДВ.НОМ}}$ ) повинна дорівнювати або бути трохи більшою від його розрахункової потужності ( $P_{\text{ДВ.Р}}$ ), тобто має виконуватись умова  $P_{\text{ДВ.НОМ}} > P_{\text{ДВ.Р}}$ .

Потужність електродвигуна у кВт визначають за формулою

$$P_{\text{ном.дв}} = \frac{k_{\text{зан}} \cdot P_{\text{нас}}}{\eta_{\text{пер}}}, \quad (2.19)$$

де  $k_{\text{зан}}$  – коефіцієнт запасу, який для відцентрових насосів приймають за 1,3 (для потужності насоса до 4 кВт), 1,25 (для потужності насоса понад 4 кВт до 20 кВт), 1,2 (для потужності насоса понад 20 кВт до 40 кВт), 1,15 (для потужності насоса понад 40 кВт);  $\eta_{\text{пер}}$  – коефіцієнт корисної дії передачі;  $P_{\text{нас}}$  – потужність насоса в розрахунковій точці, кВт, яку визначають за формулою

$$P_{\text{нас}} = \frac{Q_{\text{нас}} \cdot H_{\text{нас}} \cdot \rho \cdot g}{\eta_{\text{нас}} \cdot 10^3}, \quad (2.20)$$

де  $Q_{\text{нас}}$  – подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$  (якщо подача насоса задана в  $\text{м}^3/\text{год}$ , то її необхідно перевести в  $\text{м}^3/\text{с}$ , тобто поділити на 3600);  $H_{\text{нас}}$  – висота підйому води (напір), м;  $\rho$  – густина води,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (для води  $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ );  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$  ( $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ );  $\eta_{\text{нас}}$  – коефіцієнт корисної дії насоса.

### **2.3. Вибір обладнання для забезпечення мікроклімату, теплопостачання та підігріву води в сільськогосподарському виробництві**

Забезпечення нормального функціонування с.г. виробництв в тваринництві, птахівництві, тепличному господарстві, при переробці, сушінні та зберіганні сільськогосподарської продукції в значній мірі визначається правильним вибором відповідного електрообладнання і параметрів мікроклімату, найважливішу роль в створенні якого відіграють вентиляція та опалення.

Відомо, що в загальному енергобалансі витрати електроенергії на вентиляцію, теплопостачання та нагрів становлять до 70...75 %, а наприклад, в тваринництві досягають 85...90 % всього



енергоспоживання. Значні втрати електроенергії обумовлені необхідністю підтримання фізичних та хімічних факторів повітряного середовища (температура, вологість, склад і швидкість руху повітря, наявність пилу тощо), застосуванням теплової енергії (гаряча вода та пара для обігріву приміщень, приготування кормів, напування тварин, пастеризація молока, обігрів ґрунту та інші технологічні і комунально-побутові потреби).

Для вирішення цих проблем доцільно використовувати різне опалювально-вентиляційне обладнання, комплекси вентиляційного обладнання, електрокалорифери, теплогенератори і тепловентилятори, електроводонагрівники, пароутворюючі та водогрійні котли, установки інфрачервоного та ультрафіолетового опромінення тощо [16, 5].

### 2.3.1 Розрахунки та вибір обладнання системи мікроклімату

При виборі та розрахунках вентиляційних систем треба враховувати їх аеродинамічні характеристики, які показують залежність тиску, подачі, частоти обертання та діаметру робочого колеса вентилятора. Вибір вентиляторів повинен базуватися на розрахунковому повітрообміні і тиску, які повинен забезпечувати вентилятор.

При визначенні кількості подачі свіжого повітря найважливішим є кількість шкідливих домішок, склад яких визначається специфікою та призначенням виробничого приміщення. Так наприклад, розрізняють повітрообмін по видаленню надлишкових вуглекислого газу, вологи, тепла, різних шкідливих речовин та продуктів згоряння (різні ділянки майстерень – зварювання, фарбування, сушка, акумуляторна тощо).

Для вибору вентиляційної установки в приміщеннях, де утримуються тварини або птиця, розрахунки зводяться до визначення надлишкового вуглекислого газу ( $L_{CO_2}$ , м<sup>3</sup>/год), надлишкової вологи ( $L_B$ , м<sup>3</sup>/год) та надлишкового тепла ( $L_T$ , м<sup>3</sup>/год).

Обмін повітря по видаленню надлишкового вуглекислого газу за формулою:

$$L_{CO_2} = \frac{\kappa_1 \cdot G_T \cdot n}{\alpha_1 - \alpha_2}, \quad (2.21)$$

де  $\kappa_1$  – коефіцієнт, який враховує виділення вуглекислого газу мікроорганізмами, підстилкою тощо ( $\kappa_1=1,2$ );  $G_T$  – кількість

вуглекислого газу, що виділяється однією твариною [17];  $\alpha_1$  – допустима концентрація вуглекислого газу в повітрі тваринницького приміщення за об’ємом ( $\alpha_1 = 0,002 - 0,0025$  відносних одиниць);  $\alpha_2$  – концентрація вуглекислого газу в припливному повітрі ( $\alpha_2=0,0003$ );  $n$  – кількість тварин.

Обмін повітря по видаленню надлишкової вологи визначаємо за формулою:

$$L_B = \frac{\kappa_2 \cdot W_T \cdot n}{W_1 - W_2}, \quad (2.22)$$

де  $\kappa_2$  – коефіцієнт, який враховує випаровування вологи з підлоги ( $\kappa_2 = 1,2$ );  $W_T$  – кількість водяної пари, що виділяється однією твариною [17];  $W_1, W_2$  – відповідно допустимий вміст водяної пари в приміщенні та в повітрі, г/м<sup>3</sup>.

Параметри  $W_1$  та  $W_2$  визначаються за формулами:

$$W_1 = W_{н.п} + \frac{\varphi_{п.}}{100}, \quad (2.23)$$

$$W_2 = W_{н.з.п} + \frac{\varphi_{з.п.}}{100}, \quad (2.24)$$

де  $W_{н.п}$ ,  $W_{н.з.п}$  – відповідно вміст водяної пари при повному її насиченні і при оптимальній температурі в приміщенні та при розрахунковій температурі зовнішнього повітря, г/м<sup>3</sup>;  $\varphi_n$ ,  $\varphi_{zn}$  – відповідно відносна вологість повітря в приміщенні та зовнішньому повітрі [17].

Визначення повітрообміну в приміщенні по видаленню надлишкової теплоти здійснюємо за формулою:

$$L_T = \frac{(Q_{em} \cdot n - Q_{om})(1 + \alpha \cdot t_n)}{c_n(t_n - t_3)}, \quad (2.25)$$

де  $Q_{em}$ ,  $Q_{om}$  – відповідно кількість тепла, що виділяється однією твариною та через зовнішні огорожі, кДж/год;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт розширення повітря, 1/°C; ( $\alpha = \frac{1}{273^0 C^{-1}}$ );  $c_n$  – питома об’ємна теплоємність повітря, кДж/м<sup>3</sup> (при  $t = 0$  °C,  $p = 760$  мм.рт.ст.,  $c_n = 1,283$ );  $t_n$ ,  $t_3$  – відповідно температура повітря в приміщенні та зовнішнього.

Втрати теплоти через зовнішні огорожі:

$$Q_{om} = V \cdot q_0(t_n - t_3), \quad (2.26)$$

де  $V$  – об’єм приміщення,;  $q_0$  – коефіцієнт, який для утепленого приміщення згідно з [16, 17] прийнято 2,5 кДж/(м<sup>3</sup>·°C·год.).

В якості базового (розрахункового) приймають найбільше значення повітрообміну з трьох наведених вище і визначають кратність обміну повітря:

$$K_n = \frac{L_{p \max}}{V}, \quad (2.27)$$

де  $L_{p \max}$  – розрахунковий максимальний повітрообмін, м<sup>3</sup>/год.;  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Задаючись типом вентилятора, наприклад радіальний (відцентровий) або осьовий, по його технічним характеристикам та необхідним повітрообміном знаходимо розрахунковий напір і визначаємо потужність вентилятора:

$$P_e = \frac{L_{\max} \cdot p}{10^3 \cdot \eta_e}, \text{ кВт}, \quad (2.29)$$

де  $p$  – розрахунковий напір вентилятора, Па;  $\eta_B$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора.

Визначаємо потужність електродвигуна для привода вентилятора:

$$P_{\text{дв}} \geq \frac{\kappa_z \cdot P_e}{\eta_{\text{пер}}}, \text{ кВт}, \quad (2.30)$$

де  $\kappa_z$  – коефіцієнт запасу, який залежить від типу і потужності вентилятора;  $\eta_{\text{ПЕР}}$  – коефіцієнт корисної дії приводу передачі.

### 2.3.2. Розрахунок та вибір обладнання для опалення та нагріву води

Найбільшим споживачем гарячої води та пари в сільськогосподарському виробництві є тваринницькі господарства, особливо ферми великої рогатої худоби та свиноферми. Так, наприклад, гарячу воду використовують для приготування кормів, миття посуду, пастеризаторів, молокопроводів, напування тварин, підмивання вимені, нагріву приміщень та ін.

Розрахунок встановленої потужності і вибір електронагрівальних установок залежить від їх призначення, тобто для нагріву матеріалів або їх плавлення, випаровування, він здійснюється за відповідними формулами:

для нагрівання матеріалів, наприклад води:

$$P = \frac{\kappa_z \cdot G \cdot c(t_2 - t_1)}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.31)$$

для плавлення і випаровування:

$$P = \frac{\kappa_3 \cdot G [c(t_2 - t_1) + \alpha]}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.32)$$

де  $\kappa_3$  – коефіцієнт запасу ( $\kappa_3 = 1,1 \dots 1,3$ );  $G$  – продуктивність установки, м<sup>3</sup>/год., кг/год.;  $c$  – питома теплоємність (для води 4,2), кДж/(кг<sup>0</sup>С);  $t_2$ ,  $t_1$  – відповідно кінцева та початкова температура;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії електронагрівальної установки (для установок теплоізольованих  $\eta = 0,9 \dots 0,95$ , для неізольованих  $\eta = 0,7 \dots 0,8$ ); 3600 – теплоенергетичний коефіцієнт, кДж/(кВт год.);  $\alpha$  – питома теплота плавлення (випаровування), кДж/кг.

Розрахунки та вибір електрообладнання для систем опалення приміщень сільськогосподарського призначення з метою визначення потужності опалювального пристрою виконують на базі рівняння теплового балансу приміщення.

$$Q_n = Q_{\text{в}} + Q_{\text{ог}} - Q_{\text{то}} - Q_{\text{мс}}, \quad (2.33)$$

де  $Q_{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{в}}$ ,  $Q_{\text{ог}}$ ,  $Q_{\text{т.о}}$ ,  $Q_{\text{тв}}$  – відповідно потік тепла від теплової установки, втрати тепла з вентиляцією, втрати тепла через огорожі приміщення, теплоти від технологічного обладнання та випаровування вологи від тварин або інших об'єктів тепловиділення, кДж/год.

Втрати тепла з вентиляцією ( $Q_{\text{в}}$ ) або кількість тепла для нагрівання припливного повітря визначають по формулі:

$$Q_{\text{в}} = L_{\text{п}} \cdot c(t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (2.34)$$

де  $L_{\text{п}}$  – розрахунковий повітрообмін, м<sup>3</sup>/год.,  $c$  – теплоємність повітря (1,3 кДж/м<sup>3</sup>·<sup>0</sup>С),  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{з}}$  - внутрішня та зовнішня температура повітря, <sup>0</sup>С.

Втрати тепла через огорожі приміщення визначають по формулі:

$$Q_{\text{ог}} = \kappa_t \cdot F_{\text{п}}(t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (2.35)$$

де  $\kappa_t$  – коефіцієнт теплопередачі (вікна, двері, стіни, стеля та ін.), кДж/м<sup>2</sup>·год.·<sup>0</sup>С,  $F_{\text{п}}$  - поверхня огорожень, м<sup>2</sup>.

Теплота від технологічного обладнання згідно з [5] становить 0,15...0,2  $Q_{\text{ог}}$ .

Теплота від випаровування вологи визначається по формулі:

$$Q_{\text{мс}} = Q'_{\text{мс}} \cdot n \cdot \kappa_t, \quad (2.36)$$

або

$$Q_{\text{мс}} = 2,5 \cdot G_{\text{в}}, \quad (2.37)$$

де  $Q'_{\text{мс}}$  – норма тепловиділення твариною, кДж/год.·гол., (для птиці приймається із врахуванням живої ваги),  $n$  – кількість тварин (птиці),  $\kappa_t$  – коефіцієнт, який враховує зміну тепловиділення від зміни

температури,  $G_B$  – кількість вологи, яка випаровується з різних огорожуючих та технологічних конструкцій, г/год.

Потужність установки для опалення:

$$P = \frac{Q_n}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.38)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії установки.

При вирощуванні молодняка в тваринництві і птахівництві застосовують установки місцевого обігріву (теплу підлогу, електрообігрівальні панелі, килимки, інфрачервоне та ультрафіолетове опромінення, електробрудери тощо).

Потужність електронагрівників теплої підлоги (електронагрівальні елементи з проводів ПОСХВ, ПОСХП, сталевих дроту, в останні роки нагрівальних кабелів) визначають за формулою:

$$P_n = P_o \cdot F, \quad (2.39)$$

де  $P_o$ ,  $F$  – відповідно питома поверхнева потужність (Вт/м<sup>2</sup>) та загальна площа теплої підлоги (м<sup>2</sup>).

Питома поверхнева потужність  $P_o$  приймається згідно довідникових даних [5]. Так наприклад, для курчат, поросят та телят ці значення відповідно становлять: 150...300, 100...200, 100...150 Вт/м<sup>2</sup>. Лінійна питома потужність при цьому відповідно становить: 10...30, 7,0...20, 10...22 Вт/м.

Загальна площа теплої підлоги:

$$F = \frac{N}{\Delta N}, \quad (2.40)$$

де  $N$ ,  $\Delta N$  – відповідно загальна кількість тварин чи птиці та щільність посадки, гол./м<sup>2</sup> [5].

Так наприклад, щільність посадки для поросят 1...1,4 м<sup>2</sup>, для курчат 1,4...1,6 м<sup>2</sup> на 100 курчат.

**РОЗДІЛ 3**  
**РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО**  
**ОБЛАДНАННЯ**  
**(Електротехнічна частина проєкту)**

**3.1. Вибір електродвигуна**

**3.1.1. Загальна методика вибору електродвигуна**

Сучасний виробничий агрегат, як правило, складається з робочої машини і автоматизованого електропривода, які тісно ув'язані між собою конструктивно. Тому надійну, безпечну і економічно вигідну роботу агрегату можна забезпечити лише при умові, якщо його електропривод спроектований з урахуванням усіх особливостей виробничого процесу та приводних характеристик і режимів роботи машин.

Проектування електропривода здебільшого здійснюють одночасно з проектуванням робочої машини у такій послідовності.

1. Розробляють технічне завдання на проектування електропривода. У технічному завданні вказують: а) особливості виробничого процесу та послідовність виконання окремих його операцій; б) конструктивні дані робочої машини (кількість приводних валів та частота їх обертання, передавальні відношення передач, момент інерції обертових частин та маси і лінійні швидкості частин, які рухаються поступально, і т. д.); в) режим роботи і навантажувальну діаграму машини; г) характеристики оточуючого середовища, в якому буде працювати електропривод, та інші дані.

2. Визначають потужність електродвигуна, потрібного для привода робочої машини.

3. Вибирають електродвигун за родом струму, напругою, режимом роботи, електричною модифікацією, конструктивним виконанням та іншими ознаками.

4. Розробляють принципіальну електричну схему керування електроприводом.

5. Вибирають апарати керування і захисту та інше електрообладнання, передбачене принципіальною електричною схемою.

6. Розробляють схему з'єднання і виконують креслення окремих (нетипових) вузлів електропривода.

7. Складають специфікацію і оцінюють економічність вибраного привода.

У тих випадках, коли на попередніх етапах проектування не вдається вибрати найбільш раціональний тип привода, доводиться паралельно вести проектування кількох варіантів. При цьому остаточний вибір типу привода здійснюють на основі порівняння техніко-економічних показників цих варіантів.

Електродвигун, потрібний для привода даної робочої машини, вибирають за такими основними ознаками: родом струму; напругою; режимом роботи; електричною модифікацією; конструктивним виконанням і способом монтажу; кліматичним виконанням і категорією розміщення; ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих або рухомих частин, що знаходяться всередині його корпусу, та від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх тіл і води; частотою обертання; потужністю.

За родом струму електродвигун вибирають відповідно до роду струму електричної мережі, від якої він буде живитись, та вимог робочої машини до механічних характеристик двигуна. У сільському господарстві використовують мережі змінного струму, тому і електродвигуни, як правило, вибирають змінного струму. Двигун постійного струму застосовують лише тоді, коли робоча машина потребує плавного і в широких межах регулювання швидкості або спеціальних механічних характеристик двигуна, які не можуть бути забезпечені при використанні двигунів змінного струму. Живлення такого двигуна здійснюють від електромережі змінного струму через відповідний перетворювальний пристрій.

За напругою електродвигун вибирають так, щоб його номінальна напруга відповідала напрузі електромережі, в яку він буде вмикатися.

За режимом роботи (тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний) двигун вибирають відповідно до режиму роботи машини, для привода якої він призначений. В окремих випадках для короткочасного режиму роботи можна вибрати двигун, розрахований на тривалий режим роботи.

За електричною модифікацією (з підвищеним пусковим моментом, з підвищеним ковзанням, багатошвидкісний, з фазним ротором, з вмонтованим електромагнітним гальмом, малошумний) асинхронний двигун вибирають залежно від моменту зрушення робочої машини, характеру навантаження двигуна і величини махових мас системи “електродвигун – робоча машина“, потреби в регулюванні швидкості та гальмуванні системи, вимог рівня шуму у виробничому приміщенні тощо. Двигуни з підвищеним пусковим моментом вибирають для привода машин з великими моментами зрушення (скребкові конвейєри для прибирання гною, поршневі насоси тощо); двигуни з підвищеним

ковзанням – для привода машин з різко змінним (ударним) навантаженням (кормопреси, компресори і т. п.), а також машин, які працюють у повторно-короткочасному режимі; багатошвидкісні – для привода машин, які потребують ступінчастого регулювання швидкості; двигуни з фазним ротором – для привода машин, що потребують плавного регулювання швидкості (наприклад, у стендах для випробування і обкатування автотракторних двигунів), а також машин, що мають особливо важкі умови пуску (сепаратори, центрифуги); двигуни з вмонтованим електромагнітним гальмом – для машин, які потребують фіксованої зупинки в регламентований час (підйомні машини, металообробні верстати); малошумні двигуни, призначені для роботи в приміщеннях, що потребують зниженого рівня шуму (жилі будинки, студії звукозапису тощо).

За конструктивним виконанням і способом монтажу електродвигун вибирають залежно від конструктивних особливостей робочої машини і передавального пристрою та їх розташування на місці встановлення.

За кліматичним виконанням і категорією розміщення двигун вибирають відповідно до кліматичних умов району, в якому він буде експлуатуватися, та характеристики місця його розташування.

За ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих або рухомих частин, що знаходяться всередині корпусу двигуна, і від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх тіл і води двигун вибирають відповідно до характеристики оточуючого середовища, в якому він буде працювати.

За частотою обертання двигун вибирають залежно від потрібної частоти обертання приводного валу робочої машини. Якщо ця частота не дорівнює жодній із каталожних номінальних частот обертання електродвигунів і пряме з'єднання двигуна з машиною за допомогою муфти неможливе, то вибирають двигун з більшою частотою обертання і застосовують плоскопасову, клинопасову, зубчасту чи будь-яку іншу передачу. При цьому треба пам'ятати, що тихохідні двигуни порівняно з швидкохідними більш металомісткі, мають нижчі енергетичні показники. Тому їх слід застосовувати лише при безпосередньому з'єднанні з машиною або тоді, коли застосування двигуна з більшою частотою обертання ускладнює конструкцію привода.

За номінальною потужністю електродвигун вибирають згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини.



### 3.1.2. Попередній вибір електродвигуна за потужністю і частотою обертання

Вихідними даними для вибору електродвигуна за потужністю та подальших його перевірок є навантажувальна діаграма й механічна характеристика робочої машини, кінематична схема привода та моменти інерції системи "електродвигун – робоча машина".

Вибір потужності електродвигунів проводять за наявності навантажувальної діаграми, яку отримують експериментальним шляхом

Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність у процесі роботи не змінюються (рис. 3.1) або змінюються в часі періодично з певною закономірністю, можна з достатньою для практики точністю розрахувати аналітично.



Рис. 3.1. Навантажувальна діаграма насосів і вентиляторів

Так потужність насоса розраховують за формулою

$$P_{нас} = \frac{Q \rho H g 10^{-3}}{\eta_{нас}}, \quad (3.1)$$

де  $Q$  – подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho$  – густина рідини, що подається насосом,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $H$  – розрахунковий напір,  $\text{м}$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння ( $9,81\text{м}/\text{с}^2$ );  $\eta_{нас}$  – ККД насоса.

Під час побудови навантажувальних діаграм вентиляторів їх потужність розраховують за формулою

$$P_e = \frac{L p 10^{-3}}{\eta_e}, \quad (3.2)$$

де  $L$  – подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $p$  – напір вентилятора,  $\text{Па}$ ;  $\eta_B$  – ККД вентилятора.

Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність змінюються в часі випадково, знімають експериментально за допомогою самописних приладів.

Обробку навантажувальної діаграми виконують методом еквівалентних величин. Для цього виконують такі дії:

1) плавну криву діаграми (рис. 3.2) замінюють ламаною лінією і поділяють її на окремі ділянки з тривалістю  $t_1, t_2, t_3, t_4$  і т.д.;

2) визначають еквівалентні значення потужності, моменту або струму на кожній ділянці діаграми й будують ступінчастий графік.

Для трапецеїдальної ділянки еквівалентна потужність визначиться так:

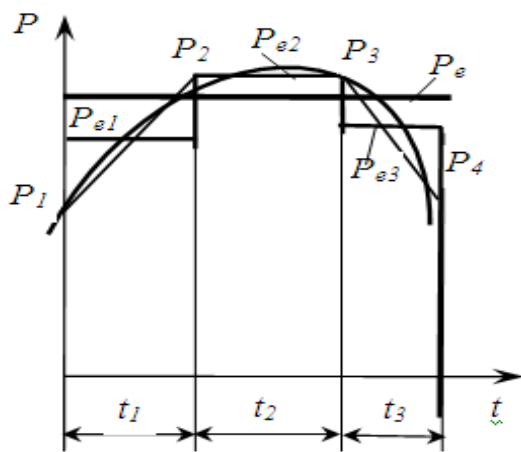


Рис. 3.2. Навантажувальна діаграма та її обробка

$$P_{e.д.л.} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1P_2 + P_2^2}{3}}, \quad (3.3)$$

для трикутної ділянки:

$$P_{e.д.л.} = \frac{P}{\sqrt{3}}, \quad (3.4)$$

для прямокутної ділянки:

$$P_e = P; \quad (3.5)$$

3) визначають еквівалентну потужність електродвигуна за формулою

$$P_e = \sqrt{\frac{P_{e1}^2 t_1 + P_{e2}^2 t_2 + P_{e3}^2 t_3 + P_{e4}^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \quad (3.6)$$

де  $P_{e1}, P_{e2}, P_{e3}, P_{e4}$  – еквівалентні потужності на ділянках навантажувальної діаграми, кВт, у відповідні періоди роботи тривалістю  $t_1, t_2, t_3, t_4$ , хв.

За такою ж формулою визначають еквівалентні значення моменту й струму. За навантажувальною діаграмою визначають режим роботи електродвигуна.

Номінальну потужність двигуна за умови допустимого нагрівання під час роботи для тривалого режиму роботи (S1) з постійним навантаженням визначають за умовою

$$P_{дв.ном} \geq P_{дв.розр}, \quad (3.7)$$

де  $P_{дв.розр}$  – розрахункова потужність двигуна, яка визначається за формулою

$$P_{дв.розр} = \frac{K_{зан} P_M}{\eta_{пер}}, \quad (3.8)$$

де  $K_{зан}$  – коефіцієнт запасу;  $\eta_{пер}$  – ККД передавального пристрою.

Номінальну потужність двигуна за умови допустимого нагрівання під час роботи для тривалого режиму роботи (S1) зі змінним навантаженням визначають за такими умовами:

а) якщо потужність виміряна на валу двигуна

$$P_{дв.ном.} \geq P_e; \quad (3.9)$$

б) якщо виміряна потужність, споживана двигуном із мережі  $P_I=f(t)$ ,

$$P_{\text{дв.ном.}} \geq P_e \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (3.10)$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  – номінальний ККД двигуна за потужності  $P_e$ ;

в) якщо навантажувальна діаграма задана у вигляді  $M=f(t)$

$$M_{\text{дв.ном.}} \geq M_e; \quad (3.11)$$

г) якщо навантажувальна діаграма задана у вигляді  $I=f(t)$

$$I_{\text{дв.ном.}} \geq I_e. \quad (3.12)$$

Для короткочасного режиму роботи (S2) випускаються спеціальні електродвигуни АИР...Кр1, АИР...Кр2, АИР...Кр3, потужність яких вибирають за умовами

$$P_n \geq P_k, \quad t_{p.\text{кат}} \geq t_{p.\phi}, \quad (3.13)$$

де  $P_k$  – потужність, визначена за навантажувальною діаграмою;  $t_{p.\text{кат}}$  – каталогове значення тривалості роботи;  $t_{p.\phi}$  – фактичне значення тривалості роботи.

Для короткочасного режиму роботи можна використовувати двигуни, призначені для тривалого режиму роботи, які вибирають за умовами:

$$I_n \geq \frac{I_e}{p_m}; \quad M_n \geq \frac{M_e}{p_m}; \quad P_n \geq \frac{P_e}{p_m}, \quad (3.14)$$

де  $I_e, M_e, P_e$  – еквівалентні величини, визначені за навантажувальними діаграмами;  $p_m$  – коефіцієнт механічного перевантаження:

$$p_m = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{k.\phi}}{T_H}}}}, \quad (3.15)$$

де  $t_{k.\phi}$  – фактична тривалість короткочасної роботи, хв;  $T_H$  – стала часу нагрівання двигуна, хв.

Для повторно-короткочасного режиму роботи (S3) виготовляють електродвигуни з підвищеним ковзанням АИРС, які вибирають за умовою:

$$P_n \geq P_e; \quad TB_{CT} \geq TB_{\phi}, \quad (3.16)$$

де  $P_E$  – еквівалентна потужність, визначена за навантажувальною діаграмою за час роботи двигуна  $t_p$ ;  $TB_{CT}$  – стандартна тривалість вмикання;  $TB_{\phi}$  – фактична тривалість вмикання.

Тривалість вмикання двигуна визначають за формулою

$$TB \% = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 \% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \%, \quad (3.17)$$

де  $t_0$  – тривалість паузи;  $t_{\text{ц}}$  – тривалість циклу.

Для повторно-короткочасного режиму роботи можна вибрати двигун тривалого режиму роботи, який для роботи в повторно-короткочасному режимі вибирають за умовою

$$P_n \geq P_e \sqrt{TB_\phi}. \quad (3.18)$$

За частотою обертання двигун вибирають так, щоб його частота обертання відповідала частоті обертання робочої машини.

За визначеними значеннями потужності й частоти обертання з каталогу попередньо вибирають електродвигун і за необхідності виконують перевірки.

### 3.1.3. Перевірка вибраного електродвигуна

*Перевірка вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час пуску.*

Електродвигун за тепловим режимом під час пуску перевіряють за умовою

$$\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{факт}} = v_t \cdot t_n, \quad (3.19)$$

де  $\tau_{\text{доп}}$  – допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, °С (для класу ізоляції В – 80 °С, для класу F – 100 °С);  $\tau_{\text{факт}}$  – фактичне перевищення температури в кінці періоду пуску електродвигуна, °С;  $v_t$  – швидкість наростання температури обмотки під час загальмованого ротора, °С/с;  $t_n$  – час пуску електродвигуна, с. Для двигунів АИР  $\tau_{\text{доп}}$  приймають 80 °С.

Час пуску електродвигуна визначають графоаналітичним методом. При цьому розв'язують рівняння руху електропривода в кінцевих приростах:

$$M_{\text{дин}} = M_\delta - M_c = j \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (3.20)$$

де  $M_{\text{дин}}$  – динамічний момент, Н·м;  $M_\delta$  – момент електродвигуна, Н·м;  $M_c$  – зведений момент статичних опорів робочої машини, Н·м;  $j$  – зведений момент інерції системи «електродвигун – робоча машина», кг·м<sup>2</sup>;  $\Delta\omega$  – приріст кутової швидкості, с<sup>-1</sup>;  $\Delta t$  – приріст часу пуску, с.

Розрахунок проводять у послідовності, яка наведена нижче.

Користуючись каталоговими даними, розраховують механічну характеристику електродвигуна  $M_D$  і будують її в першому квадранті прямокутної системи координат (рис. 2.3).

Механічну характеристику електродвигуна за номінальної напруги живлення розраховують за координатами п'яти характерних точок:

1) точка синхронної швидкості:  $\omega = \omega_0$  ( $s=0$ ),  $M=0$ .

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}, \quad (3.21)$$

де  $n_0$  – синхронна частота обертання, об/хв;

2) точка номінальної швидкості:  $\omega = \omega_{ном}$ , ( $s=s_n$ ),  $M=M_n$ .

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}, \quad (3.22)$$

де  $s_n$  – номінальне ковзання;  $n_n$  – номінальна частота обертання.

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}; \quad (3.23)$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \quad (3.24)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність двигуна, кВт.

3) точка критичного моменту:  $\omega = \omega_k$  ( $s=s_k$ ),  $M=M_k$ .

$$s_k = \frac{s_n + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (3.25)$$

$$\text{де } \mu_1 = \frac{\mu_k}{\mu_n}, \quad (3.26)$$

$\mu_k$  – кратність максимального моменту двигуна;  $\mu_n$  – кратність пускового моменту двигуна.

$$\omega_k = \omega_0 (1 - s_k); \quad (3.27)$$

$$M_k = \mu_k \cdot M_n. \quad (3.28)$$

4) точка мінімального моменту:  $\omega = \omega_{мін}$  ( $s_{мін}=0,8$ ),  $M=M_{мін}$ .

$$\omega_{мін} = \omega_0 (1 - s_{мін}); \quad (3.29)$$

$$M_{мін} = \mu_{мін} \cdot M_n; \quad (3.30)$$

5) точка пускового моменту:  $\omega=0$  ( $s=1$ ),  $M=M_n$ .

$$M_n = \mu_n \cdot M_n. \quad (3.31)$$

Згідно з ГОСТ 183–84 допускається виготовляти електродвигуни, у яких критичний, мінімальний і пусковий моменти можуть бути меншими від каталогових значень відповідно на 10, 20 і 15 %. Із урахуванням цього визначають уточнені значення моментів:

$$M'_k = 0,9 M_k; \quad M'_{мін} = 0,8 M_{мін}; \quad M'_n = 0,85 M_n,$$

наносять їх на графік і через одержані точки та точки –  $M'_n = M_n$  і  $M' = 0$  та проводять плавну криву –  $\Omega = f(M'_\delta)$ .

Оскільки момент асинхронного електродвигуна змінюється пропорційно квадрату напруги, то необхідно розрахувати й побудувати штучну механічну характеристику електродвигуна з урахуванням допустимого зниження напруги від номінальної на 5 %. Розрахунок проводиться за формулою

$$M' = M'(1 - 0,05)^2 = 0,9M'. \quad (3.32)$$

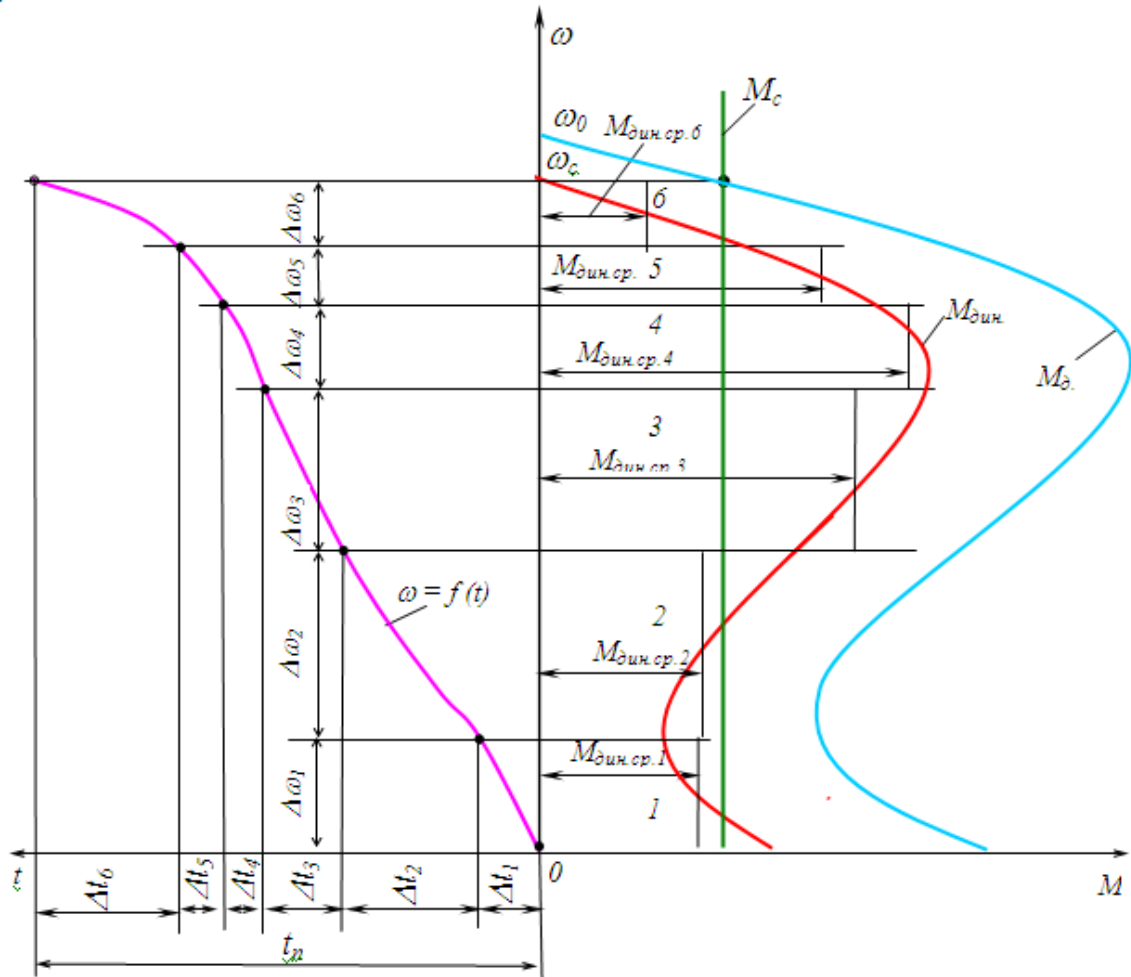


Рис.. 3.3. Визначення часу пуску електропривода графоаналітичним способом

При цьому номінальний, критичний, мінімальний і пусковий моменти мають такі значення:  $M'_n = 0,9M'_{\delta.n}$ ;  $M''_к = 0,9M'_{\delta.к}$ ;  $M''_{\delta.мін} = 0,9M'_{\delta.мін}$ ;  $M''_{\delta.n} = 0,9M'_{\delta.n}$ .

За даними розрахунку будують залежність  $\omega = f(M''_\delta)$ .

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність моменту статичних опорів, які вона створює, від кутової швидкості приводного валу.

Зведену до валу двигуна механічну характеристику робочої машини  $M_c=f(\omega)$  розраховують за рівнянням

$$M_c = \frac{n_{м.н.}}{n_n \eta_{пер}} \left[ M_0 + (M_{сн} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \right], \quad (3.33)$$

де  $n_{м.н.}$  – номінальна частота обертання робочого органа машини, об/хв;  $n_n$  – номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв;  $M_0$  – початковий момент статичних опорів робочої машини, Н·м;  $M_{сн}$  – момент статичних опорів робочої машини за номінальної кутової швидкості електродвигуна  $\omega_n$ , Н·м;  $\omega$  – кутова швидкість електродвигуна за моменту  $M_c$ , с<sup>-1</sup>;  $x$  – показник степені, що характеризує зміну моменту статичних опорів робочої машини під час зміни швидкості;  $\eta_{пер}$  – ККД передачі від двигуна до робочої машини.

Момент статичних опорів робочої машини за номінальної кутової швидкості визначають за формулою

$$M_{сн} = 9550 \frac{P_{м.н.}}{n_{м.н.}}. \quad (3.34)$$

За даними розрахунку механічної характеристики робочої машини будують залежність  $M_c=f(\omega)$ .

Для визначення часу пуску двигуна графічно знаходять різницю  $M_{дин} = M'_d - M_c$  і будують графік динамічного моменту  $\omega = f(M_{дин})$ , який розділяють на окремі ділянки через довільні проміжки швидкості  $\Delta\omega$  і знаходять середнє значення динамічного моменту  $M_{дин.сер.}$  на кожній ділянці. Значення  $\Delta\omega$  вибирають такими, щоб забезпечити достатню точність визначення  $M_{дин.сер.}$

Зведений момент інерції електропривода й робочої машини з обертовими робочими органами до валу електродвигуна, кг/м<sup>2</sup>, визначають за формулою

$$J_{зв} = J_{рот} + \frac{J_M}{i^2}, \quad (3.35)$$

де  $J_{рот}$  – момент інерції ротора електродвигуна, кг·м<sup>2</sup>;  $J_M$  – момент інерції обертових частин робочої машини, кг·м<sup>2</sup>;  $i = \frac{n_n}{n_{м.н.}}$  – передаточне число механічної передачі.

Якщо в механічній системі є елементи, що рухаються поступально, наприклад, стрічки транспортерів, візки, то зведений момент інерції до валу електродвигуна знаходять за формулою

$$J_{зв} = \frac{mv^2}{\omega^2_{дв}}, \quad (3.36)$$

де  $m$  – маса вузлів, що рухаються поступально, кг;  $v$  – швидкість руху, м/с;  $\omega_{\text{де}}$  – кутова швидкість ротора двигуна,  $\text{с}^{-1}$ .

Час пуску електропривода на  $i$  ділянці графіка знаходять за виразом

$$\Delta t_i = \frac{J_{\text{зг}} \Delta \omega_i}{M_{\text{дин.сп.і}}} \quad (3.37)$$

Визначивши час пуску на кожній ділянці, повний час пуску визначають за формулою

$$t_n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (3.38)$$

Графік зміни кутової швидкості в часі  $\omega = f(t)$  будують у другому квадранті (рис. 3.3). Для цього послідовно відкладають значення приросту часу і відповідні значення кутової швидкості.

Знаючи час пуску, за формулою (3.19) перевіряють вибраний двигун на нагрівання під час пуску.

#### ***Перевірка вибраного електродвигуна за умовами пуску.***

Для робочих машин з важкими умовами пуску необхідно виконувати перевірку вибраного двигуна за умовами пуску. Умова перевірки

$$0,95^2 \cdot 0,85 \mu_n M_{\text{д.н.}} \geq (1,2 - 1,3) M_{\text{зр.р.м.}}, \quad (3.39)$$

де  $\mu_n$  – кратність пускового моменту електродвигуна;  $M_n$  – номінальний момент двигуна, визначений за каталоговими даними, Н·м;  $M_{\text{зр.р.м.}}$  – момент зрушення робочої машини, зведений до валу електродвигуна.

Якщо умова (3.39) не виконується, вибирають двигун більшої потужності або з підвищеним пусковим моментом.

#### ***Перевірка вибраного двигуна на перевантажувальну здатність.***

Якщо навантажувальна діаграма електродвигуна має пікові навантаження, то необхідно виконувати перевірку попередньо вибраного за умовами нагрівання електродвигуна на перевантажувальну здатність. Умова перевірки

$$0,95^2 \cdot 0,9 \mu_k M_{\text{д.н.}} \geq M_{\text{макс.н.д.}}, \quad (3.40)$$

де  $\mu_k$  – кратність максимального моменту двигуна;  $M_{\text{макс.н.д.}}$  – максимальний момент на валу електродвигуна під час роботи, визначений за навантажувальною діаграмою, Н·м.



Якщо навантажувальна діаграма задана залежністю  $P_2 = f(t)$ , то  $M_{\text{макс.н.д.}}$  наближено визначається за формулою

$$M_{\text{макс.н.д.}} = 9550 \frac{P_{2\text{макс}}}{n_n}, \quad (3.41)$$

де  $P_{2\text{макс}}$  – максимальна потужність на валу електродвигуна, визначена за навантажувальною діаграмою, кВт.

Якщо ж навантажувальна діаграма задана залежністю  $I = f(t)$ , то за довідниковими даними будують залежності  $\eta_i$  і  $\cos\varphi_i$  від ступеня завантаження двигуна  $\beta_i = P_2/P_{\text{ном}}$ . Розраховують коефіцієнт завантаження двигуна

$$\beta = I_{\text{макс}}/I_{\text{ном}} \quad (3.42)$$

і за залежностями  $\eta_i = f(\beta_i)$  і  $\cos\varphi_i = f(\beta_i)$  визначають коефіцієнт корисної дії  $\eta$  та коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  за струму  $I_{\text{макс}}$ .

Розраховують значення  $M_{\text{макс.н.д.}}$  за формулою

$$M_{\text{макс.н.д.}} = \frac{\sqrt{3}UI_{\text{макс}}\cos\varphi\eta}{\omega_n}. \quad (3.43)$$

Якщо умова (3.40) не виконується, то необхідно вибрати електродвигун більшої потужності й знову виконати його перевірку.

## **3.2. Світлотехнічні розрахунки освітлювальних установок. Вибір і розрахунок опромінюваних установок**

### **3.2.1. Розрахунок освітлення сільськогосподарських приміщень**

Вихідні дані для розрахунку освітлення: загальна характеристика об'єктів, необхідні параметри приміщень (площа, довжина, ширина, висота, особливості технологічного процесу, характер навколишнього середовища, коефіцієнти відбивання стін, стелі та підлоги, умови електропостачання). Потім необхідно вибирати тип джерел світла, систему освітлення, тип світильників і мінімальну нормовану освітленість для кожного приміщення.

Найбільш поширені такі методи розрахунку освітлення сільськогосподарських приміщень: метод коефіцієнта використання світлового потоку, метод питомої потужності і точковий метод [9, 5, 17].

*Метод коефіцієнта використання світлового потоку* застосовують при розрахунку загального рівномірного освітлення закритих приміщень при відсутності істотних затінювачів. За питомою потужністю розраховують загальне рівномірне освітлення незаставлених приміщень у тих випадках, коли в довідковій літературі є відповідні таблиці питомої потужності.

Точковим методом користуються для розрахунку зовнішнього і місцевого освітлення, а також для перевірки освітленості в окремих точках робочої поверхні закритих приміщень.

При розміщенні світильників враховують архітектурні особливості приміщення, розміщення вікон, будівельних конструкцій, технологічного обладнання тощо. Світильники з точковими джерелами світла розміщують у вершинах квадратів (із стороною квадрата  $L$ ) або прямокутників (із сторонами  $L_a$  і  $L_b$ ). Для прямокутної площини рекомендується брати  $L_a : L_b \leq 1,5$ . У вузьких приміщеннях застосовують однорядне розміщення світильників. Світильники з люмінесцентними лампами рекомендується встановлювати рядами.

Відстань між світильниками визначають за формулою:

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (3.44)$$

де  $\lambda$  – відносна відстань між світильниками;  $H_p$  – розрахункова висота підвішування світильника (відстань від світильника до розрахункової поверхні), м.

Відносну відстань між світильниками вибирають за умовою:

$$\lambda_c \leq \lambda < \lambda_e, \quad (3.45)$$

де  $\lambda_c$  і  $\lambda_e$  – відповідно світлотехнічно і економічно вигідні відносні відстані.

Залежно від типової кривої сили світла світильника значення  $\lambda_c$  і  $\lambda_e$  відповідно дорівнюють: концентрована – 0,6 і 0,6; глибока 0,9 і 1,0; косинусна – 1,4 і 1,6; напівширока – 2,0 і 2,6; рівномірна – 1,6 і 1,8.

За відомими значеннями  $L$  і розмірами приміщень визначають кількість рядів світильників і їх загальну кількість:

$$n_a = \frac{a}{L}, \quad (3.46)$$

$$n_b = \frac{b}{L}, \quad (3.47)$$

$$N = n_a \cdot n_b, \quad (3.48)$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення, м;  $n_a$  і  $n_b$  – кількість світильників у ряду;  $N$  – загальна кількість світильників.

При розрахунку освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку визначають необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику за формулою:

$$\Phi = \frac{ESK_3Z}{N\eta}, \quad (3.49)$$

де  $E$  – мінімальна нормована освітленість, лк;  $S$  – площа освітлюваного приміщення, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коефіцієнт запасу;  $Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до

мінімальної);  $N$  – кількість світильників;  $\eta$  — коефіцієнт використання світлового потоку.

Мінімальну нормовану освітленість ( $E$ ) приймають за нормативною документацією або за довідковою літературою.

Коефіцієнт запасу ( $K_3$ ) в сільськогосподарських приміщеннях з газорозрядними лампами приймають 1,3, а з лампами розжарювання – 1,15.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення ( $Z$ ) приймають 1,15 для світильників з лампами розжарювання прямого світла і 1,1 — в інших випадках.

Коефіцієнт використання світлового потоку ( $\eta$ ) залежить від індексу приміщення ( $i$ ) (характеризує конфігурацію) та коефіцієнтів відбиття стелі  $\rho_n$ , стін  $\rho_c$  і підлоги  $\rho_p$ . Значення коефіцієнтів використання світлового потоку наведено в довідковій літературі.

Індекс приміщення визначають за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p(a + b)} \quad (3.50)$$

Коефіцієнт відбиття стелі ( $\rho_n$ ) в чистих приміщеннях (адміністративні приміщення, квартири тощо) приймають 70 %, в чистих виробничих приміщеннях – 50 %, в забруднених – 30 % і в забруднених та задимлених – 10 %. Коефіцієнт відбивання стін ( $\rho_c$ ) у чистих приміщеннях приймають 50 – 60 %, в забруднених приймають 10 – 30 %. Коефіцієнт відбиття підлоги ( $\rho_p$ ) приймають 30 % для чистих приміщень і 10 % для всіх інших приміщень.

При розрахунку освітлення за *методом питомої потужності* визначають потужність лампи  $P$  за формулою:

$$P = \frac{\omega \cdot S}{N \cdot n} \quad (3.51)$$

де  $\omega$  — питома потужність загального рівномірного освітлення, Вт·м<sup>2</sup>;  $S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;  $N$  – кількість світильників у приміщенні;  $n$  – кількість ламп у світильнику.

Питома потужність  $\omega$  є важливим енергетичним показником освітлювальної установки і широко використовується для оцінки економічності прийнятих рішень. Вона являє собою відношення встановленої потужності світильників до площі освітлювального приміщення.

У довідковій літературі її значення наводиться залежно від рівня нормованої освітленості, коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги, коефіцієнта запасу, розрахункової висоти підвішування

світильника при близькому до оптимального значенні відносної відстані між світильниками. Напруга мережі прийнята 220 В, а відношення між довжиною  $a$  і шириною  $b$  приміщення  $a: b \leq 2,5$ .

*Точковий метод* розрахунку освітлення застосовують при розрахунку зовнішнього освітлення, освітленості у будь-якій точці довільно розміщеної площини, місцевого освітлення та для перевірки розрахунків. При цьому світло, що відбивається, і освітленість від віддалених світильників враховують наближено або й зовсім не враховують. За розрахункову приймають контрольну точку освітлюваної площини, в якій передбачається найменша освітленість. Для цієї точки визначають умовну освітленість від найближчих світильників, вважаючи, що в них встановлено лампи з світловим потоком 1000 лм.

Сумарну умовну освітленість в контрольній точці визначають за формулою

$$\sum e = \frac{I_{\alpha_1} \cdot \cos^3 \alpha_1}{h_p^2} + \frac{I_{\alpha_2} \cdot \cos^3 \alpha_2}{h_p^2} + \dots + \frac{I_{\alpha_n} \cdot \cos^3 \alpha_n}{h_p^2}, \quad (3.52)$$

де  $I_{\alpha}$  – сила світла світильника з умовною лампою 1000 лм в напрямі освітлюваної точки, кд;  $\alpha$  – кут між напрямом сили світла в контрольну точку та перпендикуляром, опущеним із світлового центра джерела до горизонтальної площини, на якій розміщена ця точка (рис. 3.3);  $h_p$  – розрахункова висота підвішування світильника.

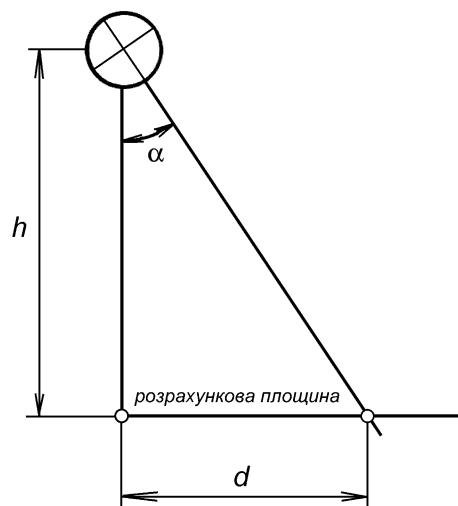


Рис. 3.3. Схема для розрахунку освітленості горизонтальної площини точковим методом

Умовну освітленість у контрольній точці від одного світильника визначають за кривими просторових ізолюксів. Графіки просторових ізолюксів являють собою сімейство кривих з однаковою горизонтальною освітленістю. За відомими координатами розрахункової точки  $d$  і  $h$  по графіку просторових ізолюксів визначають умовну освітленість у цій точці. Світловий потік лампи  $\Phi_L$  визначають за формулою

$$\Phi_L = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \sum e}, \quad (3.53)$$

де  $E$  — нормована освітленість, лк;  $k$  — коефіцієнт додаткової освітленості, який враховує дію віддалених світильників і світло, що відбивається (приймають у межах 1,1...1,2);  $\mu$  — коефіцієнт додаткової освітленості, що враховує дію віддалених світильників і світло, яке відбивається (приймають в межах 1,1 ... 1,2);  $\sum e$  — сумарна відносна освітленість у контрольній точці від найближчих світильників.

За одержаним значенням світлового потоку з довідкової літературою [9, 5] вибирають стандартну лампу, потік якої близький до розрахункового.

Після вибору ламп визначаємо фактичну освітленість

$$E_\Phi = E_H \frac{\Phi_\Phi}{\Phi_P}. \quad (3.54)$$

Фактичне відхилення становить

$$\Delta E = \frac{E_\Phi - E_H}{E_H} \cdot 100\%. \quad (3.55)$$

Допустимі значення відхилення:  $\Delta E_{\text{дон}} = -10... +20\%$ .

Результати розрахунків зводять у світлотехнічну відомість.

### 3.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі

Щоб рівномірно розподілити освітлювальне навантаження, його необхідно розділити на групи так, щоб кількість груп була кратна трьом і потужності трьох груп були за можливостями рівними.

Найбільша допустима встановлена потужність у групових мережах напругою 380/220 В становить:

- двопровідні мережі (фаза й нуль) — 4,4 кВт для ламп розжарювання і 3,3 кВт для люмінесцентних ламп;
- чотирипровідні мережі (три фази й нуль) — 8,8 кВт для ламп розжарювання і 6,6 кВт для люмінесцентних ламп.

### 3.1. Світлотехнічна відомість для свинарника-маточника розміром 12x42x2,4 м

№ п/п	Назва приміщення	Площа, м <sup>2</sup>	Коефіцієнт відбиття			Кількість світильників	Тип світильників	Нормована освітленість, лк	Лампа			Загальна, потужність, кВт	Питома потужність, Вт/м <sup>2</sup>
			Стелі	Стін	Підлоги				Тип	Потужність, Вт	Світловий потік, лм		
1	Приміщення для свиней	504	50	30	10	36	ЛСП15	75	ЛД40	40	2340	1,4	
2	Службове приміщення	13	50	30	10	1	НСП03	100	Б215-225-100	100	1350	0,1	
3	Котельня	13	50	30	10	1	НСП01	50	Б215-225-100	100	1350	0,1	
4	Приміщення для інвентаря	9	50	30	10	1	НСП01	50	Б215-225-100	100	1350	0,1	
5	Приміщення для підстилки	9	50	30	10	1	НСП01	50	Б215-225-100	100	1350	0,1	
6	Тамбур	9	50	30	10	1	НСП01	50	Б215-225-100	100	1350	0,1	

Допустима кількість світильників у груповій лінії:

- двопровідна мережа – 20 шт. із лампами розжарювання і 50 шт. із люмінесцентними;
- чотирипровідна мережа – 60 шт. із лампами розжарювання і 150 шт. із люмінесцентними.

Струм кожної групи, А), визначають за формулою

$$I_i = \frac{P_i}{U_\phi \cos \varphi}, \quad (3.56)$$

де  $P_i$  – потужність відповідної групи, Вт;  $U_\phi$  – фазна напруга,  $U_\phi = 220$  В;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

Площу поперечного перерізу струмоведучої жили проводу вибирають так, щою його тривалодопустима сила струму ( $I_{доп}$ ) була менша від розрахункової сили струму кожної з груп  $I_{ГР}$ :

$$I_{доп} \geq I_{ГРi}. \quad (3.57)$$

Струм (повний), А, що споживає освітлювальна мережа, визначається за формулою

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi}, \quad (3.58)$$

де  $P$  – повна потужність освітлювальної мережі, Вт;  $U_L$  – лінійна напруга,  $U_L = 380$  В;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

### 3.3. Розрахунок і вибір опромінювальних установок

#### 3.3.1. Розрахунок установок у тваринництві

Ультрафіолетове опромінювання є важливим фактором зовнішнього середовища. При утримуванні в приміщеннях у тварин і птиці виникає так зване “ультрафіолетове голодування”, яке послаблює імунобіологічні властивості організму. Ультрафіолетове опромінювання сільськогосподарських тварин і птиці оздоровлює їх, запобігає виникненню рахіту, сприяє росту молоді (поросят, телят та ін.) підвищує продуктивність тварин і яйцєносність птиці. Опромінювання особливо необхідне в зимовий час, коли інтенсивність природного УФ випромінювання Сонця незначна, і тварини, що знаходяться в приміщенні не можуть її використовувати і відчують потребу в вітамінах, особливо у вітаміні *D*. Ультрафіолетове опромінювання сприяє кращому утворенню провітаміну активно діючого вітаміну *D*. Денна доза УФ опромінювання визначається в антирахітних, ерітемних або енергетичних одиницях.

Для ультрафіолетового опромінювання застосовуються стаціонарні установки (ОЭ1, ЭО – 1, ОРК –2, ОБП, ОБУ – 1 та інші) та пересувні УФ опромінювачі (УО – 4М, УОК – 1).

Механізована підвісна установка типу УО – 4М складається з приводної станції, несучої конструкції для 4 опромінювачів з лампами типу ДРТ – 400 та з шафи керування. Приводна станція забезпечує рух опромінювачів вздовж тваринницького приміщення довжиною до 90 м. Потужність електродвигуна привода 0,27 кВт, число обертів в хвилину – 1450, напруга – 380 В. Несуча конструкція складається з дроту діаметром 6 мм, троса діаметром 3,1 мм та натяжних роликів. Швидкість руху опромінювачів ( $V = 18$  м/год) забезпечується редуктором. На дроті підвішені 4 опромінювачі на телескопічних підвісках, які надають можливість у невеликих межах змінювати висоту підвісу опромінювачів до спини тварин. За допомогою троса опромінювачі рухаються по приміщенню зі швидкістю 0,3 м/хв.

Дозування УФО здійснюється шляхом зміни висоти підвісу опромінювачів або кількості їх проходів над тваринами. Однією установкою можна опромінювати 800 поросят, 100 корів, 5 – 6 тис. курей.

Кількість проходів опромінювачів, які забезпечують одержання заданої дози ультрафіолетового опромінювання, визначається за виказом:

$$n = \frac{\pi^2 \cdot V \cdot H_E \cdot h_p}{2 \cdot \Phi_E \cdot K \cdot \sin \alpha}, \quad (3.59)$$

де  $n$  – кількість проходів опромінювачів над тваринами;  $H_E$  – денна доза опромінювання, мер·год./м<sup>2</sup>;  $h_p$  – розрахункова висота підвісу опромінювачів, м;  $V$  – швидкість руху опромінювачів, 18 м/год.;  $\Phi_E$  – еритемний потік лампи ДРТ - 400, 6900 мер;  $K$  – коефіцієнт перерозподілу потоку лампи арматурою, 1,3;  $\alpha$  – кут, що дорівнює половині кута дії опромінювача,  $\alpha = 67$  град.

Якщо при розрахунку кількості проходів виходить не ціле число – потрібно округлити його до цілого, скоригувавши висоту підвісу опромінювачів за виразом:

$$h_p = \frac{2 \cdot \Phi \cdot K \cdot \sin \alpha \cdot n}{\pi^2 \cdot V \cdot H_E}, \quad (3.60)$$

де  $n$  – ціле число проходів.

### 3.2. Рекомендовані дози ультрафіолетового опромінювання тварин і птиці [5, 9].

Вид тварини, птиці	Добова доза опромінювання, мер год. /м <sup>2</sup>
Телята до 6 міс	120 – 140
Телиці і нетелі	180 – 210
Корови і бугаї	270 – 290
Поросята – сисуні	20 – 25
Поросята на відгодівлі	80 – 90
Вівцематки	245 – 260
Курчата в клітках	20 – 25
Кури-несучки в клітках	40 – 50

#### 3.3.2. Розрахунок опромінювальних установок у рослинництві

Важливим фактором навколишнього середовища для росту рослин є світло, під дією якого відбувається процес фотосинтезу. Зимом і ранньою весною освітленість недостатня, тому використовують штучне електричне досвічування, яке скорочує термін вирощування розсади на 25–30 днів, і підвищує урожайність на 25–30 %.

Для опромінення розсади застосовують опромінювані ОТ–400М із лампами ДРЛФ–400, а також опромінювачі з металогенними лампами ДРИ (ГСП26, ОГС01–2000 «Фотос»), ДМ3–3000 (ОТ–3000), ДМ4–6000 (ОТ–6000), ДНаТ (ЖСП18). Найефективнішими є



металогалогенні лампи високого тиску ДРИ, ДНаТ, ДМ, які мають ККД в області ФАР 26–30 % (лампи ДРЛ – 15 %).

Потужність опромінювальної установки, кВт, визначають за формулою

$$P = P_{\text{пит}} \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (3.61)$$

де  $P_{\text{пит}}$  – питома потужність опромінення, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – площа опромінення, м<sup>2</sup>.

Питомі потужності опромінення рослин наведені в ОНТП.СХ.10–85 для різних світлових зон (табл. 3.3). Північні, західні, центральні й східні області України відносяться до IV світлової зони, південні – до V, АР Крим – до VI зони.

Необхідна кількість опромінювачів:

$$n = P / P_{\text{опр}}, \quad (3.62)$$

де  $P_{\text{опр}}$  – установлена потужність опромінювача, кВт.

### 3.3. Технічні показники й режими роботи опромінювальних установок у розсадному відділенні

Установка	ОТ–400М			УОРТ–15–400			УОРТ–6–1000		
	ОТ–400МИ, ОТ–400МЕ			ГСП26–400 (ЖСП18–400)			ГСП26–1000		
Лампа	ДРЛФ–400			ДРИ–400 (ДНаТ–400)			ДРИ–1000		
Характеристика опромінювача	Світлова зона			Світлова зона			Світлова зона		
	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI
Питома потужність, Вт/м <sup>2</sup>	110	100	60	44	40	32	44	40	32
Кількість опромінювачів на 1000 м <sup>2</sup> , шт.	276	250	200	7	7	5	7	7	5
Тривалість опромінення за вегетацію, год	480	480	480	349	349	349	349	349	349
Витрата електроенергії, кВт·год./м <sup>2</sup>	53	48	38	15	15	11	44	40	32

## 3.4. Вибір електронагрівальних установок

### 3.4.1. Вибір електричних водонагрівачів

Нагрівати воду для потреб тваринницьких і птахівницьких ферм, парниково-тепличних господарств, майстерень та інших

сільськогосподарських водоспоживачів можна за допомогою елементних й електродних електроводонагрівників.

Промисловість випускає ємкісні та проточні водонагрівники.

Потрібну кількість нагрітої води та температуру її нагріву для кожного теплового процесу визначають, користуючись відповідними ОНТП. Найчастіше воду нагрівають до температури 70–90 °С, а щоб отримати воду з необхідною температурою, її змішують із холодною.

Розрахунок встановленої потужності й вибір електронагрівників залежить від їх призначення:

- для електронагрівників ємкісного типу

$$P = \frac{\kappa_3 c V (\theta_k - \theta_n)}{3600 \eta}; \quad (3.63)$$

- для електронагрівників проточного типу

$$P = \frac{\kappa_3 c G (\theta_k - \theta_n)}{3600 \eta}, \quad (3.64)$$

де  $\kappa_3$  – коефіцієнт запасу ( $\kappa_3 = 1,1–1,3$ );  $c$  – питома теплоємність, кДж/кг·°С (для води  $c=4,2$  кДж/кг·°С);  $V$  – об'єм резервуара, м<sup>3</sup>;  $G$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/год.;  $\theta_k, \theta_n$  – кінцева та початкова температура;  $t$  – час нагрівання, год.;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (для установок теплоізолюваних  $\eta=0,9–0,95$ , для неізолюваних  $\eta = 0,7–0,8$ ).

Тип водонагрівника вибирають залежно від температури, кількості та якості потрібної господарству теплої води та умов розподілу її між споживачами. Під час вибору треба враховувати також простоту конструкції, надійність роботи й безпечність обслуговування водонагрівника, потужність джерела електропостачання тощо.

Ємкісні електроводонагрівники вибирають за ємкістю резервуара та номінальною температурою і тривалістю нагрівання води. Ємкість резервуара водонагрівника повинна бути достатньою для забезпечення гарячою водою усіх споживачів, які від нього живляться, а тривалість нагрівання мусить бути такою, щоб забезпечувалось своєчасне подавання гарячої води споживачам. В електромережу ємкісні електроводонагрівники рекомендується вмикати переважно в години найменшого навантаження джерела електропостачання.

Проточний електроводонагрівник вибирають за номінальною продуктивністю та температурою нагріву води. При цьому номінальна продуктивність вибраного водонагрівника ( $G_{ном}$ ) повинна бути не меншою від максимальної погодинної витрати нагрітої води ( $G_{макс}$ ) в період найбільшого споживання, яку визначають за графіком споживання нагрітої води.

### 3.4.2. Вибір установок для місцевого обігрівання тваринницьких і птахівницьких приміщень

Для створення локальних зон підвищених температур у місцях безпосереднього розміщення тварин або птиці – місцеве обігрівання.

У системах водяного електроопалення гарячу воду одержують від електричних водонагрівників типів ЭКВ, ЭПЗ, ВЭ і подають в опалювальні радіатори або оребрені труби, розміщені в приміщенні. Циркуляція води в системі може бути природною або примусовою. У невеликих приміщеннях використовують термосифонні системи без циркуляційних насосів.

У системах повітряного електроопалення застосовують електричні калорифери серії СФО, парові калорифери, у які пара подається від електродних парових котлів КЭП, КЭПР тощо.

Вибір електронагрівальної установки виконуємо за розрахунковою потужністю ( $P_p$ ) та способом нагрівання (електродний, електронагрівними елементами – ТЕНами). В цьому випадку можна використовувати установки типу САЗС, САОС, УАП та ін.

Розрахунки та вибір електрообладнання для систем опалення приміщень сільськогосподарського призначення з метою визначення потужності опалювального пристрою виконують на базі рівняння теплового балансу приміщення.

$$Q_n = Q_{\text{в}} + Q_{\text{ог}} - Q_{\text{то}} - Q_{\text{тж}}, \quad (3.65)$$

де  $Q_{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{в}}$ ,  $Q_{\text{ог}}$ ,  $Q_{\text{то}}$ ,  $Q_{\text{тв}}$  – відповідно потік тепла від теплової установки, втрати тепла з вентиляцією, втрати тепла через огорожі приміщення, теплоти від технологічного обладнання та випаровування вологи від тварин або інших об'єктів тепловиділення, кДж/год.

Втрати тепла з вентиляцією ( $Q_{\text{в}}$ ) або кількість тепла для нагрівання припливного повітря визначають по формулі:

$$Q_{\text{в}} = L_p \cdot c(t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (3.66)$$

де  $L_p$  – розрахунковий повітрообмін, м<sup>3</sup>/год,  $c$  – теплоємність повітря  $c = 1,3$  кДж/(м<sup>3</sup>·°С),  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{з}}$  - внутрішня та зовнішня температура повітря, °С.

Втрати тепла через огорожі приміщення визначають по формулі:

$$Q_{\text{ог}} = \kappa_t \cdot F_n(t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (3.67)$$

де  $\kappa_t$  – коефіцієнт теплопередачі (вікна, двері, стіни, стеля та ін.), кДж/(м<sup>2</sup>·год·°С),  $F_{\text{п}}$  - поверхня огорожень, м<sup>2</sup>.

Теплота від технологічного обладнання згідно з [5] становить 0,15...0,2  $Q_{ог}$ .

Теплота від випаровування вологи визначається по формулі:

$$Q_{мс} = Q'_{мс} \cdot n \cdot \kappa_t, \quad (3.68)$$

або

$$Q_{мс} = 2,5 \cdot G_B, \quad (3.69)$$

де  $Q'_{мс}$  – норма тепловиділення твариною, кДж/(год·гол), (для птиці приймається із врахуванням живої ваги),  $n$  – кількість тварин (птиці),  $\kappa_t$  – коефіцієнт, який враховує зміну тепловиділення від зміни температури,  $G_B$  – кількість вологи, яка випаровується з різних огороджуючи та технологічних конструкцій, г/год.

Потужність установки для опалення:

$$P = \frac{Q_n}{3600 \cdot \eta}, \quad (3.70)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії установки.

При вирощуванні молодняка в тваринництві і птахівництві застосовують установки місцевого обігріву (теплу підлогу, електрообігрівальні панелі, килимки, інфрачервоне та ультрафіолетове опромінення, електробрудери тощо).

Потужність електронагрівників теплої підлоги (електронагрівальні елементи з проводів ПОСХВ, ПОСХП, сталевого дроту, в останні роки нагрівальних кабелів) визначають за формулою:

$$P_n = P_o \cdot F, \quad (3.71)$$

де  $P_o$ ,  $F$  – відповідно питома поверхнева потужність (Вт/м<sup>2</sup>) та загальна площа теплої підлоги (м<sup>2</sup>).

Питома поверхнева потужність  $P_o$  приймається згідно довідникових даних [5]. Так наприклад, для курчат, порослят та телят ці значення відповідно становлять: 150...300, 100...200, 100...150 Вт/м<sup>2</sup>. Лінійна питома потужність при цьому відповідно становить: 10...30, 7,0...20, 10...22 Вт/м.

Загальна площа теплої підлоги:

$$F = \frac{N}{\Delta N}, \quad (3.72)$$

де  $N$ ,  $\Delta N$  – відповідно загальна кількість тварин чи птиці та щільність посадки, гол/м<sup>2</sup> [5].

### 3.4.3. Розрахунок та вибір електрообладнання для обігріву ґрунту в парниках і теплицях

У парниках (складається з 20 рам, кожна рама довжиною 1,6 м, шириною – 1,06 м) використовують нагрівальні елементи зі сталевого оцинкованого дроту або нагрівальні проводи марки ПОСХВ і ПОСХП.

Теплиці поділяються на зимові (овочі) та весняні (овочі, розсада). Вони бувають блоково-арочні ( $S = 1000 \dots 30000 \text{ м}^2$ ) та ангарні ( $S = 500 \dots 1000 \text{ м}^2$ ) із зашкеленими або вкритими поліетиленовою плівкою огорожувальними конструкціями. Для нагріву повітря в теплицях використовують електронагрівальні установки, наприклад електрокалорифери СФОЦ, теплогенератори ТГ та ін., а для обігріву ґрунту – нагрівальні проводи.

Потужність між нагрівальними елементами ґрунту і повітря розподіляють [5, 9] в співвідношенні: для парників 1/2 або 2/1, для теплиць – 1/2.

Розрахунок потужності електрообігріву здійснюється по формулі:

$$P = \kappa \cdot F_n (t_g - t_z) \cdot 10^{-3}, \quad (3.73)$$

де  $\kappa$  – зведений коефіцієнт теплопередачі через огорожуючі поверхню теплиці або парника, наприклад для теплиці з поліетиленової плівки  $\kappa = 5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ ;  $F_n$  – площа зашкеленої або вкритої плівкою поверхні,  $\text{м}^2$ ;  $t_g$ ,  $t_z$  – відповідно температура повітря в приміщенні та зовнішня.

### 3.4.4. Кабельні системи опалення сільськогосподарських виробничих та житлово-побутових приміщень

Останнім часом для обігріву приміщень різного призначення (тваринницькі приміщення, теплиці, парники, адміністративні та ін. побутові приміщення) застосовують електричні кабельні системи опалення (ЕКСО) з номінальною напругою до 1000 В. При цьому електрична енергія перетворюється на теплову в спеціальному нагрівальному кабелі, який і здійснює безпосередній обігрів.

ЕКСО поділяються на системи прямої дії та системи з теплоакмуляцією. Вони можуть забезпечувати повне опалення приміщення або в якості часткового, наприклад підігрів підлоги, стін, стелі у приміщенні.

Основними пристроями, які підлягають вибору такої системи опалення є:

- розрахункова теплова потужність нагрівальних секцій;

- розрахункова електрична потужність системи;
- крок укладання нагрівального кабелю.

Вибір параметрів ЕКСО прямої дії розглянемо на прикладі укладання нагрівальної секції в підлозі адміністративно-побутового приміщення [8].

*Вихідні дані.*

Нагрівальна секція укладається в підлогу приміщення площею 16,0 м<sup>2</sup>, розташованого на першому поверсі будинку. Ескіз плану підлоги з укладеною нагрівальною секцією наведено на рис. 3.4, а розріз підлоги – на рис. 3.5.

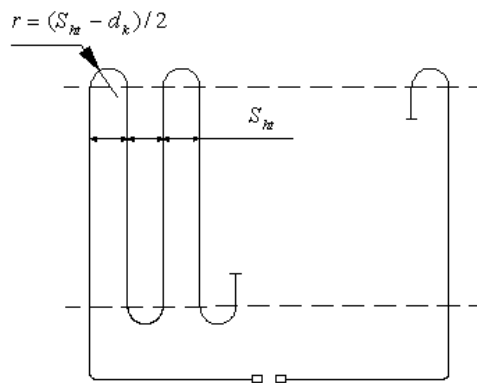


Рис 3.4. Схема укладання нагрівального кабелю:

$S_{ht}$  – крок укладання нагрівального кабелю;  $d_k$  – діаметр нагрівального кабелю

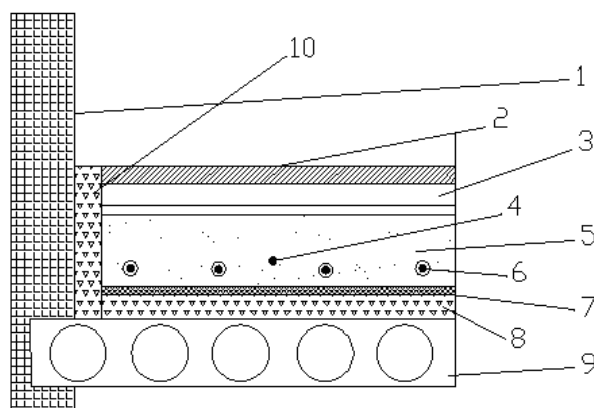


Рис. 3.5. Приклад розрізу підлоги з укладеною нагрівальною секцією: 1 – стіна; 2 – лицьове покриття; 3 – підсонова; 4 – датчик температури; 5 – стяжка; 6 – нагрівальний кабель; 7 – монтажна стрічка; 8 –

теплоізоляція; 9 – плита міжповерхового перекриття; 10 – торцева теплоізоляція

Шари, розташовані вище нагрівального кабелю:

– цементно-піщана стяжка: товщина  $m_{si1} = 0,03$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si1} = 0,93$  Вт/(м·°С);

– клеюча мастика: товщина  $m_{si2} = 0,001$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si2} = 0,17$  Вт/(м·°С);

– підоснова: товщина  $m_{si3} = 0,003$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si3} = 0,047$  Вт/(м·°С);

– лицьове покриття: товщина  $m_{si4} = 0,003$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si4} = 0,33$  Вт/(м·°С).

Шари, розташовані нижче нагрівального кабелю:

– цементно-піщана стяжка: товщина  $m_{se1} = 0,01$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se1} = 0,93$  Вт/(м·°С);

– теплоізоляція: товщина  $m_{se2} = 0,05$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se2} = 0,041$  Вт/(м·°С);

– плита міжповерхового перекриття: товщина  $m_{se3} = 0,25$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se3} = 1,74$  Вт/(м·°С).

Розрахункова витрата теплоти в приміщенні  $Q_{ht}^v = 1170$  Вт.

Порядок розрахунків

Визначимо загальний термічний опір шарів підлоги, що розташовані вище нагрівального кабелю за наступною формулою:

$$R_{si} = \frac{m_{si1}}{\lambda_{si1}} + \frac{m_{si2}}{\lambda_{si2}} + \frac{m_{si3}}{\lambda_{si3}} + \frac{m_{si4}}{\lambda_{si4}} + \frac{1}{\alpha_{si}} = \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,003}{0,047} + \frac{0,003}{0,33} + \frac{1}{9,9}$$

$$= 0,212 (\text{м}^2 \cdot \text{°С}) / \text{Вт}$$

Визначаємо загальний термічний опір шарів підлоги, що розташовані нижче нагрівального кабелю за наступною формулою:

$$R_{se} = \frac{m_{se1}}{\lambda_{se1}} + \frac{m_{se2}}{\lambda_{se2}} + \frac{m_{se3}}{\lambda_{se3}} + \frac{1}{\alpha_{se}} = \frac{0,01}{0,93} + \frac{0,05}{0,041} + \frac{0,25}{1,74} + \frac{1}{23,26} = 1,418 (\text{м}^2 \cdot \text{°С}) / \text{Вт}$$

Визначимо теплову потужність нагрівальної секції:

$$Q_{ht}^{req} = Q_{ht}^v \cdot \frac{R_{si} + R_{se}}{R_{se}} = 1170 \cdot \frac{0,212 + 1,418}{1,418} = 1345 \text{ Вт}$$

Визначимо електричну потужність нагрівальної секції:

$$P_{ht}^{req} = k_z \cdot Q_{ht}^{req} = 1,3 \cdot 1345 = 1748 \text{ Вт}$$

Довжину нагрівального кабелю визначаємо:

$$L_k = \frac{P_{ht}^{req}}{P_n} = \frac{1748}{18} = 97 \text{ м}$$

Вибираємо нагрівальну секцію потужністю  $P_{ht}^{req} = 1900 \text{ Вт}$  з такими параметрами: довжина нагрівального кабелю  $L_k = 105 \text{ м}$ , зовнішній діаметр кабелю  $d_k = 0,008 \text{ м}$ , допустима кратність радіуса внутрішньої кривої вигину нагрівального кабелю до його зовнішнього діаметра  $K_{rd} \geq 6$ .

Крок укладання кабелю визначаємо за формулою:

$$S_{ht} = \frac{100 \cdot F_{ht}}{L_k} = \frac{100 \cdot 16,0}{105} = 0,15 \text{ м}.$$

Перевірка на допустиму кратність радіуса  $r$  внутрішньої кривої вигину нагрівального кабелю виконується за формулою:

$$K_r = \frac{r}{2 \cdot d_k} = \frac{(S_{ht} - 0,008)}{2 \cdot d_k} = \frac{(0,15 - 0,008)}{2 \cdot 0,008} = 8,9,$$

де  $K_r = 8,9 \geq K_{rd} = 6$ .

### 3.5. Розрахунок та вибір електротехнологічного обладнання

Нині в аграрному виробництві все більш широке застосування знаходять електротехнологічні процеси та відповідне електротехнологічне обладнання.

Дослідження та практика показують, що електротехнології в різних галузях сільськогосподарського виробництва являють собою основу для удосконалення існуючих технологій, вирішують питання підвищення продуктивності і якості продукції, питання енергоресурсозбереження [1, 22, 12].

Питання застосування електротехнологічного обладнання настільки актуальне, що розробка та вибір такого обладнання сьогодні може являти собою одну з найважливіших частин випускної бакалаврської роботи, творчою частиною самостійної роботи.

Особливістю електротехнологічних процесів є можливість безпосередньої дії електричної енергії або проміжних перетворень її на об'єкти обробки (грунт, рослини, сільськогосподарська продукція та ін.). В багатьох технологічних процесах електрично енергія виконує роль безпосереднього робочого органу, який, передаючи енергію об'єкту обробки, виконує конкретну робочу функцію.

Діючими факторами при цьому можуть бути електричне та магнітне поле, постійний струм, струм промислової та високої (надвисокої) частоти, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, акустичні коливання звукової та ультразвукової частоти тощо.



Технології та обладнання із застосуванням електричного поля обумовлюють прискорення росту рослин, підвищення врожайності за рахунок інтенсифікації передпосівної обробки насіння, підвищують ефективність процесів стерилізації (м'ясопродукція, консерви, соки та ін.), сепарації (очищення зернових, рису, олійних рослин), аероіонізації (очищення повітря, обробка продукції рослинництва, овочів та фруктів при тривалому зберіганні), некореневої обробки рослин живильними та протруючими препаратами, при виробництві різних видів покриттів (електрофарбування, електроемалювання), обробки продуктів харчування (електрокопчення м'яса, риби, ковбасних виробів).

Реалізація наведених вище технологічних рішень вимагає вибору відповідного обладнання, яке в більшості випадків складається із вибору високовольтного джерела та обладнання робочої камери (зони), де відбувається безпосередньо та чи інша обробка об'єктів [1, 22].

В якості високовольтного джерела залежно від продуктивності, специфіки та призначення використовуються установки типу В-140-5-2, КГ-70, ПВС-60-10, *Sames*, *Classic*, *RGV-90-2* та ін.

Для передпосівної обробки насіння, очищення насіння сільськогосподарських культур від різних бур'янів можна використовувати електростатичні, барабанні, коронні та інші конструкції електросепараторів, наприклад типу ЭФС-0,1, які мають продуктивність 0,5 – 0,7 т/год при очищенні і 1,0 т/год. при передпосівній обробці (встановлена потужність машини 0,8 кВт), установки ПС-1 (барабанний сепаратор з продуктивністю 30–40 кг/год.) та ін.

При некореневій підкормці, обприскуванні живильними та протруючими розчинами рослин, особливо на підприємствах закритого ґрунту, в процесах електрофарбування та емалювання, особливо в умовах випуску та ремонту сільськогосподарської техніки необхідно використовувати установки типу УЕРЦ-2, УЕРЦ-4, Ореол-600, Ореол-100, Реа-90А, Aerobell, обладнання фірм *Holder*, *Agroton*, *Sames*, *Ransburg* та ін., які мають продуктивність від 250 до 1000 мл/хв і встановлену потужність 0,2 – 1,5 кВт.

Потрібна кількість розпилювачів для таких робіт залежить від кількості матеріалу (живильний розчин, добрива, протруючі препарати, фарби та ін.), який необхідно нанести в одиницю часу:

$$N_p = \frac{Q_m}{D_k}, \quad (3.74)$$

де  $Q_m, D_k$  – відповідно кількість матеріалу (г/хв., мл/хв), доза (норма) подачі матеріалу на розпилювач.

Загальна кількість матеріалу, який треба нанести залежить, в першу чергу, від площі поверхні:

$$Q_m = Q_n \cdot S \frac{V}{n}, \quad (3.75)$$

де  $Q_n, S, V, n$  – відповідно витрати матеріалу при одному нанесенні, площа нанесення (оброблюємої поверхні), швидкість руху установки, крок між рослинами або деталями (при фарбуванні).

Витрати матеріалу на одне нанесення визначають по наступній формулі:

$$Q_n = \frac{\rho \cdot h}{k \cdot C_{cx}}, \quad (3.76)$$

де  $\rho, h, k, C_{cx}$  – відповідно густина матеріалу, товщина шару, коефіцієнт використання матеріалу ( $k \approx 0,8 \dots 0,9$ ), сухий залишок матеріалу (особливо при виробництві покриттів).

Для виробництва копченої м'ясної та рибної продукції в межах 50–200 кг на добу, особливо в умовах невеликих цехів по переробці такої продукції, наприклад у фермерських господарствах, можна використовувати електрокопильні установки типу “Димок“, ЭК-45, “Борисфен“ та ін. До складу таких установок входять джерело високої напруги, камера електрокопчення та димогенератор. Вони мають потужність 2–3 кВт і продуктивність 8...12 кг/год. при температурі копчення 25...90 °С. У випадку розрахунку установки продуктивність визначають по наступній формулі:

$$G = 3,6 \frac{g \cdot l}{T \cdot a}, \text{ т/год.} \quad (3.77)$$

де  $g, l, T, a$  – відповідно маса продукції, активна довжина коронуючих електродів, тривалість обробки, відстань між окремими одиницями продукції (кусок м'яса, палка ковбаси тощо).

Застосування магнітного поля і, в першу чергу, для очищення насіння, кормів здійснюється з використанням, наприклад, електромагнітних сепараторів ЗМ 101, А1-ДЭС (для кормів), які мають відповідно потужність 1,8 та 1,2 кВт і продуктивність 10 та 20 т/год., а також СМ-0,4 (для насіння) потужністю 2,6 кВт та продуктивністю 400 – 500 кг/год.

Магнітне поле застосовують і як робочий інструмент при обробці води з метою зміни її рН і для подальшого використання для розчинів мінеральних добрив, а також для зменшення накипу, наприклад на базі установок типу ПМУ.

Для інтенсифікації і підвищення ефективності різних процесів переробки, наприклад насіння кукурудзи, висівків, сушіння зернових культур, фруктів, деревини, стерилізації овочевих фаршів, соків, м'ясних та рибних консервів застосовують струми високої та надвисокої частоти (від  $10^3$  до  $10^{10}$  Гц). У випадках використання нагріву, потужність, яка перетворюється в теплову енергію визначають за наступною формулою:

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ Вт}, \quad (3.78)$$

де  $\omega$ ,  $C$ ,  $U$ ,  $\operatorname{tg} \delta$  – відповідно кутова частота ( $\omega = 2\pi f$ ), ємність, ефективне значення змінної напруги на електродах робочого конденсатора, тангенс кута діелектричних витрат).

Потужність високочастотної установки (генератора) при цьому повинна бути більше  $P$  і враховувати сумарний коефіцієнт корисної дії (коливального контуру, робочого конденсатора, тепловіддачі між матеріалом і середовищем, самого генератора), який складає 0,5 – 0,6.

В якості джерел високої частоти використовують різні високочастотні установки типу ВЧГ-1, ВЧГ-3 та ін., які працюють на частотах 13,56 і 25 МГц. При сушінні деревини можна пропонувати установки для сушильних камер типу СПВД, *Hildebrand*, *Kronseeder*, “Інфракон”, “Ігрис” та ін.

Значна увага в бакалаврських роботах повинна приділятися використанню оптичного випромінювання інфрачервоного ( $4 \cdot 10^{11}$  –  $4 \cdot 10^{14}$  Гц) та ультрафіолетового діапазонів ( $4 \cdot 10^{14}$  –  $8 \cdot 10^{17}$  Гц) для стимулювання біологічних та хімічних процесів, бактерицидної дії в тваринництві та птахівництві, дії на тваринні та рослинні організми. В таких процесах використовують опромінювальні установки типу УФІКИ, СОЖ, Луч, КС, ЭИС та ін. [15, 16].

Заслугове інтерес для використання в спеціальній частині дипломного проекту бакалавра і застосування акустичних коливань [22, 12] при виробництві та переробці продукції сільського господарства, процесах очищення, диспергування, передпосівної обробки насіння, приготуванні кормів, обробки соків, олії, різних технічних рідин, стерилізації молока, м'ясних та овочевих фаршів, пюре тощо).

Так наприклад, застосування ультразвукової очистки деталей та вузлів сільськогосподарської техніки в ремонтних майстернях в 3 – 4 рази зменшує час обробки, прискорює виведення бруду, покращує якість. Аналогічні результати можна отримати при митті металевої та скляної тари.

При виборі ультразвукових генераторів в залежності від призначення установки, характеру її роботи, враховують робочі смуги

частот та номінальну потужність, види генератора (ламповий, тиристорний, транзисторний), схему дії на технологічний об'єкт (безпосередньо, через проміжне середовище).

Найбільш широке застосування знаходять ультразвукові генератори УЗГ2-0,4, УЗГ1-4, УЗГ4-0,1, УЗГ-10 тощо, які використовують магнітострикційні (типу ПМС) або п'єзоелектричні (типу П112 та ЦТС-24) перетворювачі ультразвукових коливань в діапазоні від 18...22 до 60...300 кГц.

### **3.6. Розрахунок електричного навантаження на вводі об'єкта споживання. Вибір джерела живлення**

Розрахунок електричних навантажень виконується з метою правильного вибору перерізу ліній та розподільчих пристроїв, комутаційних і захисних апаратів, числа та потужностей трансформаторів на різних рівнях системи електрозабезпечення. Залежно від місця визначення розрахункових навантажень та необхідної точності розрахунок виконується такими способами:

- методом впорядкованих діаграм показників графіків навантажень (за середньою потужністю та коефіцієнтом максимуму);
- за встановленою потужністю і коефіцієнтом запиту;
- за середньою потужністю і коефіцієнтом форми графіка навантаження;
- за питомим навантаженням на одиницю виробничої площі;
- за питомим використанням електроенергії на одиницю продукції під час заданого об'єму випуску продукції за певний період.

Визначення розрахункової потужності за питомими показниками доповнює перші три методи й дозволяє перевірити отримані за ними результати.

Для розрахунку навантажень об'єктів сільськогосподарського виробництва використовують різні методи. Так, для сільськогосподарських споживачів електроенергії, які працюють за відомим графіком роботи та в тривалому режимі (тваринницькі комплекси, птахофабрики, водопостачальні, нагрівальні та освітлювальні електроустановки тощо) розрахунок здійснюють *за графіком електричних навантажень*.

Розрахунок електричних навантажень на вводі в ремонтні майстерні, різні переробні підприємства можна проводити за допомогою *методу упорядкованих діаграм (ефективного числа електроприймачів)*.

Метод упорядкованих діаграм є основним методом розрахунку електричних навантажень. За ним визначаються максимальні  $(P_M, Q_M, S_M)$  розрахункові навантаження групи електроприймачів. Для цього в межах розрахункового вузла виділяють групу електроприймачів зі змінним (група А) і групу електроприймачів із практично постійним графіком навантаження (група Б).

До електроприймачів із практично постійним графіком навантаження можуть бути віднесені ті, у яких  $k_u \geq 0.6, k_{ект} = 1$  і коефіцієнт заповнення добового графіка за найбільш навантажену зміну  $k_{зан} \geq 0.9$ . За відсутності таких даних електроприймачі відносять до електроприймачів зі змінним графіком навантаження.

Максимальні розрахункові навантаження групи приймачів зі змінним графіком навантаження визначаються за формулою

$$P_M = K_M P_{CM}; \quad Q_M = K'_M Q_{CM}; \quad S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (3.76)$$

де  $P_M, Q_M, S_M$  – максимальне активне, реактивне і повне навантаження;  $K_M$  – коефіцієнт максимуму активного навантаження;  $K'_M$  – коефіцієнт максимуму реактивного навантаження –  $K'_M = 1.1$  за  $n_{эф} \leq 10$  і  $K'_M = 1$  за  $n_{эф} > 10$ ;  $P_{CM}, Q_{CM}$  – середня активна й реактивна потужності всієї групи електроприймачів за найбільш навантажену зміну:

$$P_{CM} = \sum_{i=1}^n P_{CMi} = \sum_{i=1}^n k_{Ui} P_{НОМi}; \quad Q_{CM} = \sum_{i=1}^n P_{CMi} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.77)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт використання окремого електроприймача;  $P_{НОМ}$  – номінальна потужність окремого електроприймача, приведена до тривалого режиму (резервні електроприймачі не враховуються);  $\operatorname{tg} \varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності.

Коефіцієнт максимуму активного навантаження ( $K_M = f(K_u, n_{эф})$ ) визначається за таблицею залежно від ефективного числа електроприймачів ( $n_{эф}$ ) та середньозваженого коефіцієнта використання групи електроприймачів:

$$k_U = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ}}, \quad (3.78)$$

де  $P_{НОМ}$  – сумарна номінальна потужність електроприймачів усієї групи.

Під ефективним числом електроприймачів слід розуміти таке число однорідних за режимом роботи приймачів однакової потужності, які обумовлюють таку ж величину розрахункового навантаження, що й група фактично різних за номінальною потужністю режимів роботи електроприймачів. Ефективне число електроприймачів  $n_{эф} = f(n, m, K_u, P_{НОМ})$  може бути визначене за формулою

$$n_{ef} = \frac{(\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст_i})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст_i}^2}. \quad (3.79)$$

Для електроприймачів із *практично постійним графіком навантаження* максимальне розрахункове навантаження приймається рівним середній потужності за найбільш навантажену зміну ( $P_m = P_{см}$ ;  $Q_m = Q_{см}$ ).

Застосування розглянутого методу (упорядкованих діаграм) приведено на прикладі майстерні по ремонту автотракторного обладнання.

*Приклад.* В табл. 3.4. наведено перелік технологічного обладнання та електроприймачів в майстерні, їх кількість, а також значення  $P_{вст}$ ,  $P_{ср}$ ,  $Q_{ср}$ ,  $\kappa_v$  та  $\cos\phi$  підраховані для кожного електроприймача.

### 3.4. Примірний перелік електрообладнання ремонтної майстерні

№ п/п	Назва електроприймачів	Кількість	$P_{вст}$ , кВт	$Q_{ср}$ , кВАр	$\kappa_v$	$P_{ср}$ , кВт	$\cos\phi$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Очищувач пароводострумний	1	2,2	0,37	0,3	0,66	0,87
2.	Стаціонарний пост змащування	6	7,7	3,5	0,5	3,85	0,74
3.	Нагрівач мастил	1	0,55	0,5	0,5	0,3	0,75
4.	Установка КИ-4935	1	55	13	0,4	22	0,59
5.	Установка для мийки	1	7,5	2,7	0,6	4,5	0,86
6.	Стенд розбирання і збирання тракторів	1	7,5	1,8	0,4	3,0	0,86
7.	Верстат для шліфовки клапанів	1	0,55	0,17	0,3	0,16 5	0,70
8.	Верстат для притирки фасок	1	1,65	0,5	0,3	0,5	0,70
9.	Стенд обкаточно-гальмівний	1	4,5	10,2	0,4	18	0,87
10.	Стенд регулювання паливної апаратури КИ-921	1	1,5	0,4	0,4	0,6	0,83
11.	Паливно-роздавальна колонка	2	0,74	0,21	0,3	0,2	0,69
12.	Заточний верстат настільний	2	0,5	0,12	0,3	0,15	0,77
13.	Свердлильний верстат настільний	1	0,55	0,21	0,4	0,22	0,71

14.	Трансформатор для пайки проводів	1	3,4	2,8	0,3	1,5	0,92
15.	Компресорна установка	1	4,0	2,5	0,8	3,2	0,78
16.	Випробувальний стенд УКВС	1	2,2	0,59	0,4	0,88	0,83
17.	Селеновий випрямляч	1	1,6	-	0,8	1,28	-
18.	Електроножниці	1	0,38	0,55	0,3	0,11	0,7
19.	Вертикально-свердильний верстат	1	2,32	1,18	0,5	1,16	0,7
20.	Комбінований верстат	1	4,52	1,4	0,4	1,8	0,78
21.	Токарно-гвинторізний верстат	1	3,0	0,65	0,32	0,96	0,83
22.	Стенд обкатування с.г. машин	1	7,65	1,78	0,4	0,3	0,86
23.	Засіб для обкатування КПП	1	7,0	2,2	0,4	2,8	0,79
24.	Перетворювач зварювальний	1	14,0	1,7	0,3	0,6	0,94
25.	Однопостовий зварювальний трансформатор	1	16,3	8,1	0,3	0,6	0,94
26.	Молот пневматичний	1	7,5	3,6	0,6	4,5	0,81
27.	Електрошліфувальна машина	1	1,1	0,25	0,4	0,44	0,81
28.	Обдирочно-шліфувальна машина	1	4,0	1,03	0,4	1,6	0,84
29.	Кран підвісний	3	11,4	7,6	0,5	5,7	0,6
30.	Вентилятор відцентровий (дугтя)	1	0,18	0,16	0,75	0,136	0,64
31.	Лебідка електрична	2	9,8	2,8	0,49	4,8	0,59
32.	Таль електрична	1	5,5	1,67	0,49	2,7	0,85
33.	Установка для відновлення шийок колінвалів	1	7,5	5,3	0,5	3,8	0,74
34.	Автомат наплавочний	1	0,2	0,08	0,4	0,1	0,68
35.	Установка для зарядки акумуляторів і пуску двигунів	1	-	4,2	0,6	-	1
36.	Стенд КИ-968	1	2,2	1,47	0,4	1,2	0,83
37.	Освітлення	-	27,1	-	0,8	24,36	1
38.	Вентиляція		9,25	8,3	0,75	6,93	0,64

Згідно даних табл. 3.4  $n_{ef} = \frac{300^2}{508345} = 17,7 \approx 18$ .

При  $n_{ef} = 18$  знаходимо коефіцієнти використання і максимуму навантажень, згідно довідникових даних [6]. При  $\kappa_e = 0,46$ ;  $\kappa_{max} = 1,23$ .

Розраховуємо повне максимальне навантаження:

$$P_{роз. max} = \kappa_e \cdot \kappa_{max} \cdot \sum P_{вст.}, \quad (3.80)$$

$$P_{роз.маx} = 0,46 \cdot 1,23 \cdot 300 = 169,7 \text{ кВт.}$$

$$Q_{роз.маx} = P_{роз.маx} \cdot tg \alpha = 169,7 \cdot 0,32 = 54,3 \text{ кВАр.}$$

Визначаємо повний максимум навантаження:

$$S_n = \sqrt{P_{роз.маx}^2 + Q_{роз.маx}^2} \cdot \quad (3.81)$$

$$S_n = \sqrt{169,7^2 + 54,3^2} = 178,2 \text{ кВА.}$$

Струм навантаження на вводі:

$$I_{роз.маz} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (3.82)$$

$$I_{роз.маz} = \frac{1782}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2711 \text{ А.}$$

Марка і переріз провoda на вводі буде А (3×95+1×50) [16].

Згідно розрахунку для ремонтної майстерні приймаємо комплектну трансформаторну підстанцію КТП-250-10/0,4 У1.

*Метод побудови графіка електричних навантажень* застосовують у тих випадках, коли точно відомий розпорядок роботи електроприймачів на підприємстві. Спочатку складають технологічний графік роботи електрообладнання і вказують тип машин, потужності електродвигунів та інших електроприймачів.

Споживана активна ( $P_{спож}$ ) та реактивна ( $Q_{спож}$ ) потужності визначається за виразами:

$$P_{спож} = \frac{K_3 P_{НОМ}}{\eta}, \text{ кВт;} \quad (3.83)$$

$$Q_{спож} = P_{спож} tg \varphi, \text{ кВАр,} \quad (3.84)$$

де  $K_3$  – середній коефіцієнт завантаження двигуна;  $P_n$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна.

На основі технологічного графіка роботи обладнання будують графік електричних навантажень. По осі ординат відкладають значення визначених потужностей, а по осі абсцис – тривалість роботи обладнання. Півгодинний максимум визначають на ділянці, де протягом півгодини споживана потужність є найбільшою. Якщо максимум навантаження триває менше ніж півгодини, то знаходять еквівалентну потужність

$$P_E = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (3.85)$$

де  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – потужності в півгодинний період;  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – тривалість дії відповідної потужності.



Аналогічно за графіком реактивних потужностей знаходять півгодинний максимум реактивного навантаження  $Q_E$ .

Розрахункове повне навантаження

$$S = \sqrt{P_e^2 + Q_e^2}. \quad (3.86)$$

де  $P_{max}$ ,  $Q_{max}$  – відповідно максимальна активна та реактивна споживані потужності, які беруть з графіка навантажень.

**Наприклад.** Визначити розрахункове навантаження на вводі в цех із переробки молока продуктивністю 15 т на добу. Технічні характеристики та графік його роботи наведено в табл. 3.5 та на рис. 3.6.

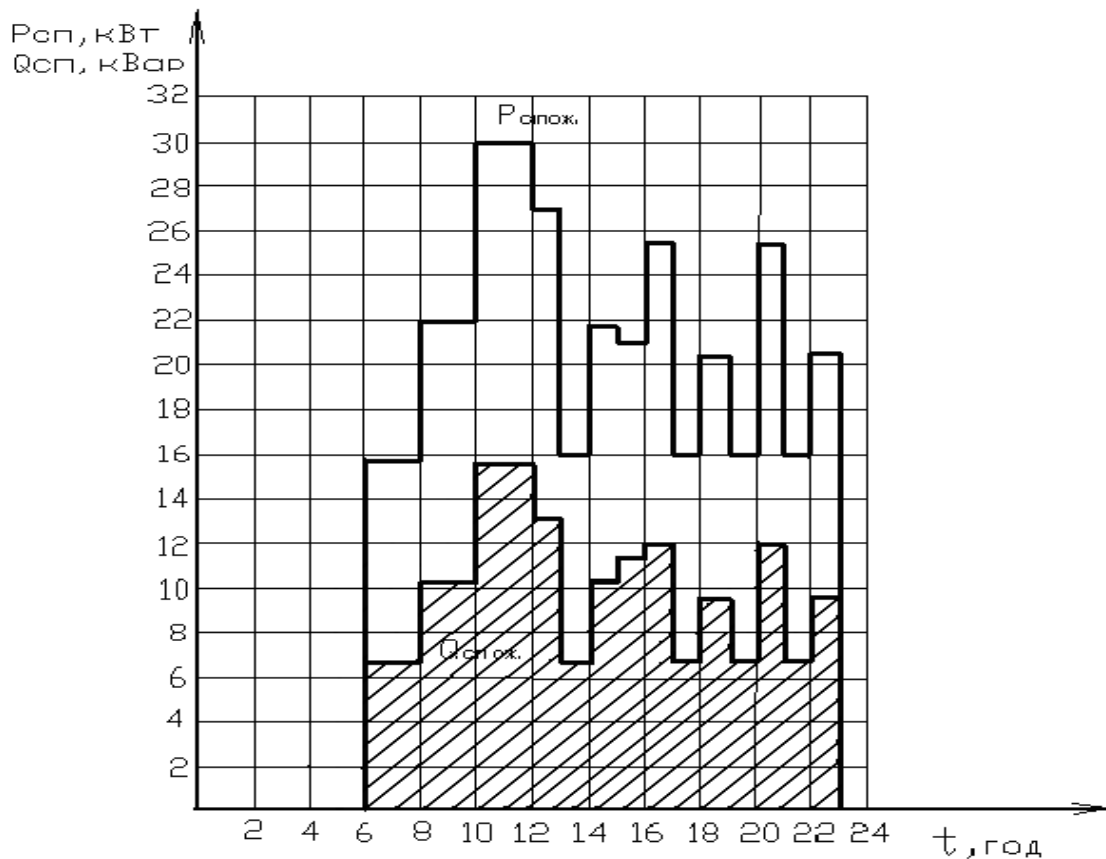


Рис. 3.6. Графік навантажень цеху з переробки молока

Визначення потужності здійснюємо шляхом аналізу графіка електричного навантаження і розрахунків активної  $P_{cn}$ , кВт, та реактивної  $Q_{cn}$ , кВАр, спожитої потужності:



$$S_{\max} = \sqrt{30,11^2 + 15,51^2} = 33,87 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм на ввіді розраховуємо за формулою:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}, \text{ А,} \quad (3.87)$$

$$I_{\text{розр}} = \frac{33,87}{\sqrt{3} \cdot 380} = 51,4 \text{ А.}$$

Для вводу в цех приймаємо кабель АВВГ(4×16) із  $I_{\text{ДОП}} = 60 \text{ А}$ .

Згідно розрахунку для цеху приймаємо комплектну трансформаторну підстанцію КТП 40-10/0,4 У1.

### 3.7. Розрахунок і вибір зовнішніх та внутрішніх електропроводок

Електричні проводки поділяються на зовнішні, внутрішні та вводи від повітряних ліній. Проводи та кабелі вибирають по тривало допустимим струмом і розрахунок зводять до вибору їх площі поперечного перерізу з врахуванням матеріалу проводів (кабелів) та способу прокладання [5].

Розрахунок і вибір проводимо згідно з умови:

$$I_{\text{тр.доп.}} \geq I_{\text{розр.}}, \quad (3.88)$$

де  $I_{\text{розр.}}$  – розрахунковий струм ділянки електричної мережі.

Враховуючи різноманітність електроспоживачів кожного виробництва, об'єкта (однофазні, трифазні споживачі, двигунне навантаження та ін.) за максимальні тривалі робочі струми приймають їх номінальні струми, які визначають за формулами:

– для однофазних споживачів:

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}, \quad (3.89)$$

– для трифазних споживачів:

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}, \quad (3.90)$$

- для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

$$I_{\text{ном}} = \frac{10^3 \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (3.91)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Розрахунковий струм на ввіді в об'єкт (до ввідного пристрою виробничого приміщення) визначають за формулою:

$$I_{\text{розр.}} = K_0 \sum I_{\text{ном(розр.)}}, \quad (3.92)$$

де  $\kappa_0$  – коефіцієнт одночасності, який залежить від кількості електроспоживачів;  $\sum I_{ном(розр.)}$  – сума номінальних струмів всіх електроспоживачів.

Знаючи  $I_{розр.}$  здійснюється вибір вводу до виробничого об'єкта, тобто вид стаціонарної електропроводки з конкретного матеріалу (переважно алюміній, мідь), площі поперечного перерізу жил (провод, кабель) та способу прокладання.

Наступним кроком є визначення втрат напруги на вводі, тобто практична перевірка правильності вибору перерізу проводу.

Розрахунок втрат напруги можна здійснювати за формулами:

$$\Delta U, \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot l(r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100 \quad (3.93)$$

або

$$\Delta U, \% = \frac{\sum (P_{розр.} \cdot l)}{c \cdot S}, \quad (3.94)$$

де  $I_{max}$  – максимальний струм;  $l$  – довжина вводу;  $r_0$  і  $x_0$  – відповідно активний та реактивний опори проводу-вводу;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності;  $U_n$  – номінальна напруга;  $P_{розр.}$  – розрахункова потужність виробничого об'єкта;  $S$  – поперечний переріз проводу-вводу;  $c$  – коефіцієнт, який залежить від напруги, матеріалу проводу і числа фаз (для трифазної лінії  $c = \frac{\gamma \cdot U_n^2}{10^3}$ , де  $\gamma$  – питома провідність матеріалу проводу).

Розрахунок втрат здійснимо за формулою (3.93) на наступному прикладі.

**Приклад.** Визначити втрати напруги в ПЛ-0,38, яка виконана проводом А-35 і живить електроенергією виробничий об'єкт. При цьому:

$$S_{НАВ}=30 \text{ кВА}; l_{ЛН}=0,3 \text{ км}; r_0=0,83 \text{ Ом/км}; x_0=0,31 \text{ Ом/км}; \cos \varphi=0,82.$$

Струм навантаження визначаємо за формулою:

$$I_{нав} = \frac{S_{нав}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 45,6 \text{ А.}$$

Втрати напруги в ПЛ-0,38:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot I_{нав} \cdot l(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100\% = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 45,6 \cdot 0,3(0,83 \cdot 0,82 + 0,31 \cdot 0,57)}{380} \cdot 100\% = 5,32\% \end{aligned}$$

Таким чином, втрати напруги знаходяться в межах допустимих значень 6%.

### 3.8. Вибір пускозахисної апаратури

Електричні апарати, що застосовуються для комутації (замикання, розмикання і перемикання) електричних кіл та проведення струму називають комутаційними апаратами. За призначенням вони поділяються на апарати керування, за допомогою яких здійснюється пуск – зупинка і зміна режиму роботи електродвигуна та апарати захисту, які захищають його від струмів короткого замикання, перевантаження, роботи на двох фазах тощо.

Для електродвигунів змінного струму необхідно передбачати захист від коротких замикань, струмів перевантаження, роботи на двох фазах та від значного зниження напруги.

Захист від коротких замикань повинен мати кожний електродвигун. Допускається одним загальним апаратом захищати від коротких замикань групу електродвигунів, якщо при цьому забезпечується термічна стійкість пускових апаратів і апаратів захисту від перевантаження, що застосовуються в колах кожного електродвигуна цієї групи.

Для захисту електродвигунів від коротких замикань застосовуються автоматичні вимикачі з електромагнітними розчіплювачами або плавкі запобіжники.

Для захисту електродвигунів від перевантаження застосовуються автоматичні вимикачі з тепловими розчіплювачами, теплові реле та реле з температурним захистом.

Від перевантаження електродвигуни необхідно захищати в тих випадках, коли з технологічних причин можливе перевантаження робочих машин, які приводяться в рух цими електродвигунами, а також при особливо важких умовах пуску треба обмежити тривалість пуску при зниженій напрузі.

Від роботи на двох фазах захищають трифазні асинхронні електродвигуни, в колах живлення яких можлива втрата однієї фази. Захист здійснюється тими самими апаратами, що й захист від перевантаження.

#### 3.8.1. Вибір автоматичних вимикачів

Структура умовного позначення автоматичних вимикачів серій А37, АЕ20, ВА51, ВА16, ВА14. АП50Б наведена в [4].

Автоматичні вимикачі вибирають:

– за серією;

– за напругою:  $U_{A.H} \geq U_{MEP}$ ;

– за номінальним струмом: автоматичного вимикача:  $I_{A.H} \geq I_{ДВ.H}$  та максимальних розчіплювачів струму:  $I_{P.H} \geq I_{ДВ.H}$ ;

– за струмом уставки електромагнітних розчіплювачів і типом захисної характеристики (табл.

Вибраний апарат перевіряють на неспрацювання під час пуску асинхронних електродвигунів, а саме:

а) під час захисту одного двигуна:

$$I_{у.ем.р} = K_{вдс} \cdot I_{P.H} \geq K_3 \cdot K_{P.P} \cdot K_{P.л.с} \cdot K_I \cdot I_{ДВ.H} = (1,45 - 1,6) \cdot K_I \cdot I_{ДВ.H} \quad (3.95)$$

де  $K_B$  – кратність відсічки вимикача;  $I_{P.H}$  – номінальний струм розчіплювача;  $K_3$  – коефіцієнт запасу ( $K_3 = 1,1$ );  $K_{P.P}$  – коефіцієнт, що враховує неточність уставки струму розчіплювача (за технічною характеристикою апарата);  $K_{P.л.с}$  – коефіцієнт розкиду пускових струмів двигуна ( $K_{P.л.с} = 1,1$ );  $K_I$  – кратність пускового струму двигуна;  $I_{ДВ.H}$  – номінальний струм;

б) під час захисту групи двигунів перевірка виконується для найважчих умов, коли запускається двигун із найбільшим пусковим струмом, а решта двигунів групи працює з номінальним навантаженням:

$$I_{у.ем.р} = K_{вдс} \cdot I_{p.ном} \geq K_3 \cdot K_{p.p} \cdot \left( \sum_1^{n-1} I_{дв.ном} + K_{p.п.с} \cdot K_{i.нб} \cdot I_{дв.ном.нб} \right) \quad (3.96)$$

### 3.6. Типи захисної характеристики автоматичних вимикачів

Тип захисної характеристики	Кратність струму спрацювання	Сфера застосування вимикача
Z	$(2,4 - 3,6) I_{ном}$	Електроустановки зі значною протяжністю електропроводки (малі струми короткого замикання), а також для захисту напівпровідникових пристроїв
B	$(3 - 5) I_{ном}$	Електроустановки, які не мають значних пускових струмів, зокрема електропроводки житлових будинків
C	$(5 - 10) I_{ном}$	Електроустановки з «ударними» навантаженнями, що перевищують струм нормального режиму до 5 разів (багатополусні асинхронні електродвигуни, освітлювальні установки з газорозрядними лампами)
D	$(10 - 20) I_{ном}$	Електроустановки зі значними пусковими струмами (трансформатори, двополусні асинхронні електродвигуни тощо)

**Приклад:** Вибрати автоматичний вимикач серії ВА51 для захисту від коротких замикань і перевантаження асинхронного електродвигуна серії АИР180М4СУ2,  $I_H = 56,9$  А, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами та одним замикаючим допоміжним контактом, з виконанням можливості регулювання струму неспрацювання теплового розчіплювача, ступінь захисту IP20.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА51–31–341110P20УХЛЗ, ТУ 16–641.002–83.

### 3.8.2. Вибір запобіжників

Плавкі запобіжники серій ПРС, ПН–2, ПП 57 та інші є найпростішими апаратами захисту електродвигунів, силових трансформаторів, електропроводок від коротких замикань і великих тривалих перевантажень.

Запобіжники вибирають:

– за серією:

– за розрахунковим струмом плавкої вставки:

а) при захисті одного двигуна: 
$$I_P = \frac{k_i \cdot I_{ДВ.Н}}{\alpha};$$

б) при захисті групи двигунів: 
$$I_P = \sum_1^{n-1} I_{ДВ.Н} + \frac{I_{ПУСК.НБ}}{\alpha},$$

де  $k_i$  – кратність пускового струму двигуна;  $I_{ДВ.Н}$  – номінальний струм двигуна, А;  $\alpha$  – коефіцієнт, що залежить від умов пуску двигуна (при  $t_n \leq 10$  с  $\alpha = 2,5$ ; при  $t_n > 10$  с  $\alpha = 2 \dots 1,6$ );  $\sum_1^{n-1} I_{ДВ.Н}$  – сума

номінальних струмів двигунів групи без струму найбільшого двигуна, А;  $I_{ПУСК.НБ}$  – пусковий струм найбільшого двигуна групи, А.

– за номінальним струмом плавкої вставки:  $I_{ВСТ.Н} \geq I_P$ ;

– за номінальним струмом запобіжника:  $I_{ЗП.Н} \geq I_{ВСТ.Н}$ .

Структура умовного позначення запобіжників серій ПН – 2, ПРС НПН – 2 наведена в [5].

**Приклад.** Вибрати запобіжник серії ПРС для захисту асинхронного електродвигуна серії АИР100S4У2,  $I_H = 6,7$  А, кратність пускового струму  $K_I = 7,0$ .

Визначаємо розрахунковий струм плавкої вставки:

$$I_P = \frac{7 \times 6,7}{2,5} = 18,76 \text{ А.}$$

Вибираємо найближчий більший номінальний струм плавкої вставки 20 А.

Вибираємо запобіжник серії ПРС–25У3–3 з плавкою вставкою ПВД–П–20У3, ТУ 16.522.112–74.

### 3.8.3. Вибір електротеплових реле

Електротеплові реле призначені для захисту трифазних асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором від симетричних перевантажень недопустимої тривалості та роботи на двох фазах.

Вибір теплового реле для захисту електродвигуна здійснюється таким чином, щоб його серія і тип відповідали серії і типу електромагнітного пускача, з яким воно комплектується, або характеристиці комплектного пристрою керування, в якому реле буде встановлено.

Теплові реле вибирають за такими умовами:

1) типом реле – за типом магнітного пускача, для якого воно розроблено;

2) за номінальним струмом реле, який повинен бути не менше номінального струму двигуна:  $I_{Т.Р.Н} \geq I_{Н.ДВ.}$ ;

3) за номінальним струмом двигуна, який повинен бути всередині діапазону регулювання струму неспрацювання реле:

$$I_{Р.МАКС.} \geq I_{Н.ДВ.} \geq I_{Р.МІН.}$$

**Приклад.** Вибрати теплове реле серії РТЛ для захисту асинхронного електродвигуна АИР112М6У3,  $I_n = 9,2$  А.

*Умови вибору:*

а) за номінальним струмом:  $I_{т.р.н} \geq I_{н.дв.}$ ;

б) за діапазоном струму неспрацювання:  $I_{р макс.} \geq I_{н.дв} \geq I_{р мін}$ ;

в) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вибираємо теплове реле РТЛ–1014–04,  $I_{т.р.н.} = 25$  А;  $I_{р} = 7–10$  А.

### 3.8.4. Вибір електромагнітних пускачів

Електромагнітні пускачі вибирають:

– за серією: ПМЛ, тощо;

– за призначенням (реверсивний, нереверсивний, для пуску асинхронних короткозамкнених двигунів з перемиканням обмотки статора з “зірки” на “трикутник”) – залежно від режиму роботи і способу пуску двигуна. Реверсивний пускач вибирають тоді, коли за умовами виробничого процесу необхідна зміна напрямку обертання двигуна. В усіх інших випадках вибирають нереверсивні пускачі. Пускач, призначений для пуску асинхронних короткозамкнених



двигунів з перемиканням обмотки статора з “зірки“ на “трикутник“, вибирають для двигунів середньої і великої потужності, прямий пуск яких неможливий;

– за конструктивним виконанням (з кнопками керування, без кнопок, з сигнальною лампою, без лампи тощо) залежно від місця встановлення (окремо, в комплектному пристрої) та необхідності в сигналізації. Пускачі з кнопками “Пуск“ і “Стоп“ та сигнальною лампою здебільшого застосовують для керування окремими електродвигунами, а без кнопок і ламп – двигунами агрегатів і поточкових ліній. При цьому пускачі, як правило, встановлюють в комплектних пристроях керування;

– за наявністю теплових реле – залежно від потреби в тепловому захисті двигуна. Для керування двигунами, що потребують захисту від перевантаження і роботи на двох фазах і не мають інших апаратів теплового захисту, вибирають пускачі з тепловими реле. Для керування двигунами, що не потребують теплового захисту, вибирають пускачі без реле;

– за захищеністю від впливу оточуючого середовища, кліматичним виконанням і категорією розміщення – відповідно до умов, в яких він буде експлуатуватися. Пускачі, які встановлюються в оболонках комплектних пристроїв керування, повинні мати ступінь захисту IP00;

– за номінальною робочою напругою – так, щоб номінальна робоча напруга пускача  $U_{НОМ.Р}$  була не меншою від напруги електромережі  $U_{МЕР}$ , в якій він буде працювати, тобто повинна виконуватися умова  $U_{НОМ.Р} \geq U_{МЕР}$ ;

– за величиною (номінальним робочим струмом  $I_{НОМ.Р}$ ) – відповідно до номінального струму електродвигуна  $I_{ДВ.НОМ}$ , виходячи з умови:  $I_{НОМ.Р} \geq I_{ДВ.НОМ}$ ;

– за умовами комутації (при категорії застосування АСЗ і АС4) – так, щоб струм комутації пускачем  $b I_{НОМ.Р}$  був не меншим від пускового струму двигуна  $I_{ДВ.ПУСК}$ , тобто повинна виконуватись умова:  $b \cdot I_{НОМ.Р} \geq I_{ДВ.ПУСК}$ ;

– за напругою втягувальної котушки пускача  $U_{КОТ}$  – відповідно до напруги кола керування  $U_{КЕР}$  електродвигуном, виходячи з умови  $U_{КОТ} = U_{КЕР}$ ;

– за кількістю контактів допоміжного кола – відповідно до кількості їх, указаний на принципіальній електричній схемі (при необхідності збільшення кількості контактів допоміжного кола застосовують контактні приставки ПКЛ);

– за виконанням по зносостійкості контактів: А – 3,0 млн. циклів; Б – 1,5 млн. циклів; В – 0,3 млн. циклів;

Структура умовного позначення пускачів серії ПМЛ приведена в [16] та каталогах ВАТ “НВО “Етал”.

**Приклад:** Вибрати нереверсивний електромагнітний пускач серії ПМЛ з тепловим реле для запуску асинхронного електродвигуна серії АИР100S4У2,  $I_H = 6,7$  А, з одним замикаючим допоміжним контактом. Напруга кола керування дорівнює 220 В, ступінь захисту IP00. Пускач повинен забезпечити 1,5 млн. циклів за період експлуатації.

Вибираємо нереверсивний електромагнітний пускач ПМЛ-1200О4Б,  $U_{КОТ} = 220$  В, 50 Гц, ТУ У 3.11-05814256-097-97 з тепловим реле РТЛ-1012 О4, ТУ У 3.11-05814256-99-97.

### **3.8.5. Вибір реле, кнопок керування, перемикачів та сигнальних пристроїв**

**Проміжні реле** призначені для збільшення кількості допоміжних контактів і передачі сигналів керування із одного кола в інше. Їх вибирають за родом струму, напругою і номінальним струмом котушки, напругою і номінальним струмом контактів, кількістю і видом контактів, наявністю затримки часу, способом монтажу, способом приєднання провідників, ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

**Реле часу** призначені для створення необхідної витримки часу між моментом отримання або зникнення імпульсу на реле та моментом зміни стану його контактів. У схемах керування застосовують електромагнітні, пневматичні, електронні та моторні реле часу. Реле часу вибирають за родом струму й величиною напруги на вході, необхідним діапазоном регулювання витримок часу, конструктивним виконанням, комутаційною здатністю вихідних елементів.

**Реле максимального струму** використовуються у схемах захисту електродвигунів від максимальних струмів під час заклинювання робочих органів, захисту електродвигунів, які працюють у повторно-короткочасному режимі роботи, а також у схемах релейного захисту енергетичних систем.

Реле струму вибирають за родом струму й величиною контрольованого струму, необхідним діапазоном регулювання уставок струму, конструктивним виконанням, комутаційною здатністю.

**Реле напруги** застосовуються для захисту обладнання від підвищення і від зниження напруги. Відповідно розрізняють реле

максимальної і мінімальної напруги. Його вибирають за величиною контрольованої напруги, необхідним діапазоном регулювання уставок напруги, конструктивним виконанням, комутаційною здатністю.

**Рубильники** призначені для ручної комутації електричних кіл номінальною напругою до 660 В змінного й до 440 В постійного струму. Вибір рубильників здійснюється за номінальною напругою, номінальним струмом, допустимим комутуваним струмом, конструктивним виконанням і ступенем захисту.

**Пакетні вимикачі й перемикачі** призначені для нечастих (до 30 за годину) комутацій електричних кіл напругою до 220 В постійного струму або до 380 В змінного струму.

За струмом пакетні вимикачі й перемикачі вибираються так, щоб номінальний струм вимикача був не менше найбільшого робочого струму навантаження (пускового струму асинхронного двигуна):

$$I_{В.НОМ} \geq I_{РОБ}, I_{В.НОМ} \geq I_{ПУСК}$$

Окрім того, пакетні вимикачі й перемикачі вибирають за кількістю полюсів, кількістю комутаційних положень рукоятки, ступенем захисту від дії навколишнього середовища (IP00, IP56, IP67), кліматичним виконанням і категорією розміщення

**Універсальні перемикачі** серії УП5000 призначені для комутації кіл керування напругою до 500 В змінного струму частотою 50 Гц і до 220 В постійного струму. Універсальні перемикачі вибирають так, щоб діаграма замикання контактів відповідала вимогам схеми керування, для якої він вибирається. Тривалий струм кола керування не повинен перевищувати допустимий тривалий струм навантаження контактів перемикача (16 А), а максимальний струм під час розмикання кола – граничну розривну здатність контактів.

**Кнопки керування і кнопкові пости** призначені для комутації електричних кіл керування з напругою до 500 В змінного й до 220 В постійного струму. Їх вибирають за напругою, струмом, кількістю і видом контактів, конструктивним виконанням та ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

**Світлосигнальні пристрої** вибирають за напругою, розмірами та кольором світлофільтра. Апарати керування, захисту й сигналізації необхідно вибирати з урахуванням того, що вони будуть установлені в металеву оболонку (ящик) із ступенем захисту IP54.

Після вибору апаратів керування і захисту складають таблицю переліку елементів схеми, яка є основою для замовлення обладнання та апаратури.

### 3.8.6. Вибір низьковольтних комплектних пристроїв (НКП)

В сучасному електроприводі сільськогосподарських машин і агрегатів широко використовуються низьковольтні комплектні пристрої – блоки, шафи, ящики пульти, станції тощо. Для потреб промисловості і сільського господарства випускається велика номенклатура низьковольтних комплектних пристроїв (НКП). Вони відрізняються між собою за видом керованого електродвигуна, функціями, кількістю двигунів, призначенням, ступенем автоматизації та іншими ознаками.

Низьковольтні комплектні пристрої (НКП) вибирають:

- за конструкцією (Б – блок, П – панель, Ш – шафа, Щ – щит відкритий, Я – ящик, С – пульт);

- за класом НКП, наприклад 5 – НКП керування трифазними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором; 6 – теж, але з для двигунів з фазним ротором; 7 – НКП керування синхронними машинами; 8 – НКП – вводу та розподілу електроенергії;

- за групою в даному класі, наприклад в 5 класі є такі групи: 1 – прямий пуск двигуна без реверсування, без електричного гальмування; 4 – прямий пуск двигуна, реверсування, гальмування противмиканням; 6 – прямий пуск двигуна без реверсування чи з реверсуванням, з динамічним гальмуванням; 7 – керування багатьма швидкохідними електродвигунами; 8 – пуск двигуна при зниженій напрузі, регулювання швидкості зміною напруги на статорі; 9 – керування кількома двигунами;

- за порядковим номером розробки в межах однієї групи;

- за номінальною силою струму силового кола;

- за номінальною напругою силового кола;

- за напругою кола керування;

- за кліматичним виконанням та категорією розміщення.

Структура умовного позначення низьковольтних комплектних пристроїв (НКП) приведена в [18].

**Приклад.** Вибрати ящик керування електроприводом гноєприбирального транспортера ТСН–160. Номінальний струм двигуна похилого транспортера АІР100L6БСУ2 становить 5,6 А, горизонтального АІР112МВ6БСУ2 – 9,2 А. Двигуни з вбудованим температурним захистом. Номінальна напруга силового кола 380 В, кола керування – 220 В.

Вибираємо ящик керування Я5920–3274ТУ5. Позначення цього ящика керування розшифровується так:

- Я – ящик;
- 5 – клас (керування трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором);
- 9 – група (керування кількома двигунами);
- 20 – порядковий номер розробки;
- 32 – позначення номінальної сили струму головних кіл (16 А);
- 7 – номінальна напруга головного кола (380 В);
- 4 – номінальна напруга кола керування (220 В);
- Т – додаткова ознака (вбудований температурний захист);
- У5 – кліматичне виконання і категорія розміщення.

### 3.8.7. Перевірка захисної апаратури на спрацювання у разі короткого замикання

Всі електроустановки повинні мати захист від струмів короткого замикання, аварійних та аномальних ситуацій. Апарати захисту повинні практично миттєво вимикати струми короткого замикання і не спрацювати під час пускового струму нормальної тривалості [5, 17].

Так наприклад, при захисті електричних мереж автоматичними вимикачами, які мають тільки електромагнітний розчіплювач, струм короткого замикання у петлі фазний провід – нульовий провід визначають за формулою:

$$I_{к.з.} = \kappa_з \cdot \kappa_p \cdot I_{відс.}, \quad (3.97)$$

де  $\kappa_з$ ,  $\kappa_p$  – відповідно коефіцієнт захисту ( $\kappa_з=1,1$ ) та коефіцієнт розкиду струму спрацювання відсічки (при  $I_{H.AB} \leq 100$  А,  $\kappa_p=1,4$ ; при  $I_{H.AB} \geq 100$  А,  $\kappa_p = 1,25$ );  $I_{H.AB}$ ,  $I_{ВІДС}$  – відповідно номінальний струм автоматичного вимикача та струм відсічки.

Струм однофазного короткого замикання визначають за формулою:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{TKЗ}}{3} + Z_n}, \quad (3.97)$$

де  $Z_{TKЗ}$  – повний опір трансформатора струму замикання на корпус;  $Z_n$  – опір петлі фаза-нуль.

Для практичних розрахунків можна використовувати наступну формулу:

$$\frac{Z_{TKЗ}}{3} = \frac{26}{S_H}, \quad (3.98)$$

де  $S_H$  – номінальна потужність трансформатора.

Опір  $Z_n$  – визначають по формулі:

$$Z_n = \sqrt{(\sum R_n)^2 + (\sum X_n)^2}, \quad (3.99)$$

де  $\sum R_n, \sum X_n$  – відповідно сума активних та реактивних опорів окремих елементів петлі фаза-нуль.

При розрахунках струмів однофазного короткого замикання звичайно визначають значення цього струму ( $I_{кз}^1$ ) у найбільш віддаленій точці електричної мережі.

На рис 3.7. подано принципова електрична схема розрахунків струмів короткого замикання на конкретному прикладі.

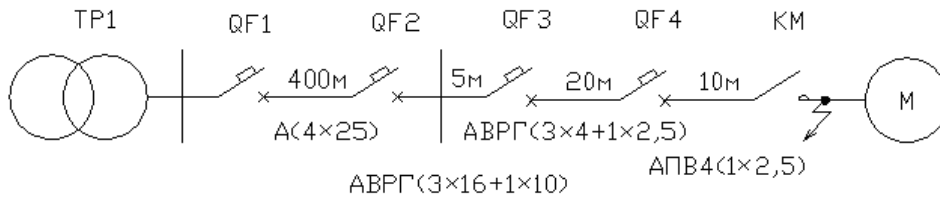


Рис. 3.7. Принципова електрична схема для розрахунку одно та трьох фазного короткого замикання

$$\begin{aligned} S_H &= 250 \text{ кВА}; \\ \Delta P_{кз} &= 3700 \text{ Вт}; \\ \Delta U_K &= 4,5\% . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{АИР100L4У3}; \\ P_H &= 4,0 \text{ кВт}; \\ I_H &= 8,5 \text{ А}; \\ K_i &= 7. \end{aligned}$$

Визначаємо загальний активний опір:

$$\sum R_n = R_{1\phi n} + R_{2\phi n} + R_{3\phi n} + R_{4\phi n} + R_{конт}, \quad (3.100)$$

де  $R_{1\phi n} - R_{4\phi n}$  – відповідно активні опори окремих ділянок ел. мережі;  $R_{конт}$  – активний опір контактів низьковольтних комплектних пристроїв, захисних апаратів та пускачів, згідно довідникових даних, або: для підстанцій – 0,015 Ом, для НКП – 0,025 Ом, для апаратів у споживачів – 0,03 Ом.

$$R_{1\phi n} = Z_0 \cdot l_{\phi n} = 1,28 \cdot 0,4 \cdot 2 = 1,024 \text{ Ом},$$

де  $Z_0$  – активний опір для алюмінієвого проводу, Ом/км;  $l_{\phi n}$  – довжина проводу (петля фаза-нуль).

$$R_{2\phi n} = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot K_t = 31,4 \cdot 0,005 \left( \frac{1}{16} + \frac{1}{10} \right) \cdot 1,18 = 0,03 \text{ Ом},$$

де  $\rho, S$  – відповідно питомий опір та переріз проводу;  $K_t$  – коефіцієнт, який залежить від температурного коефіцієнта опору матеріалу проводу ( $\alpha$  – для міді, алюмінію – 0,004), способу прокладання та розрахункової температури (для кабелю  $t_2 = 65^\circ\text{C}$ , для відкритого проводу  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ ):

$$K_t = 1 + \frac{\alpha}{\rho}(t_2 - t_1); (\rho - \text{для кольорових металів} - 1)$$

$$K_{t1} = 1 + \alpha(65 - 20) = 1,18;$$

$$K_{t2} = 1 + \alpha(40 - 20) = 1,1.$$

$$R_{3\phi n} = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot K_t = 31,4 \cdot 0,002 \left( \frac{1}{4} + \frac{1}{2,5} \right) \cdot 1,18 = 0,48 \text{ Ом.}$$

$$R_{4\phi n} = R_\phi + \frac{R_n \cdot R_m}{R_n + R_m} = 0,0785 + \frac{0,125 \cdot 0,033}{0,125 + 0,033} = 0,1 \text{ Ом.}$$

де  $R_\phi$ ,  $R_n$ ,  $R_m$  – відповідно активний опір фазного, нульового проводів та труби, в якій прокладається провід:

$$R_\phi = 31,4 \cdot \frac{0,01}{4,0} = 0,0785 \text{ Ом;}$$

$$R_n = 31,4 \cdot \frac{0,01}{2,5} = 0,125 \text{ Ом;}$$

$$R_m = 3 \cdot 0,01 \cdot K_t = 0,033 \text{ Ом (активний опір труби} - 3 \text{ Ом/км).}$$

$$\sum R_n = 1,024 + 0,03 + 0,48 + 0,1 + (3 \cdot 0,03 + 0,015 + 0,01) = 1,75 \text{ Ом}$$

Визначаємо загальний індуктивний опір:

$$\sum X_n = 2 \cdot X_{\phi n}^1 + X_m^{11} \quad (3.101)$$

де  $X_{\phi n}^1$  – зовнішній індуктивний опір поодинокого проводу;  $X_m^{11}$  – внутрішній індуктивний опір поодинокого проводу.

Наведені опори визначають по формулам:

$$X_{\phi n}^1 = 0,145 \cdot \lg l_{\phi n} = 0,377 \text{ Ом/км,} \quad (3.102)$$

$$X_m^{11} = 0,6 \cdot R_{20},$$

де  $l_{\phi n}$  – відстань між фазним та нульовим проводом ( $l_{\phi n} = 400 \text{ мм}$ ).

$$2 \cdot X_{\phi n}^1 = 0,377 \cdot 2 \cdot 0,4 = 0,3 \text{ Ом;}$$

$$X_m^{11} = 0,6 \cdot 3 \cdot 0,01 = 0,018 \text{ Ом.}$$

На ділянці з кабелем, індуктивним опором можна знехтувати.

$$\sum X_n = 0,3 + 0,018 = 0,318 \text{ Ом}$$

Визначаємо загальний опір петлі фазний провід-нульовий провід:

$$Z_n = \sqrt{(\sum R_n)^2 + (\sum X_n)^2} = \sqrt{(1,75)^2 + (0,318)^2} = 1,78 \text{ Ом.}$$

Визначаємо струм однофазного короткого замикання:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{мкз}}{3} + Z_n} = \frac{220}{0,104 + 1,78} = 1168 \text{ А.}$$

Згідно розрахунків приймаємо в якості автоматичного вимикача (QF4), автомат ВА51-2534 ( $I_n = 25 \text{ А}$ ;  $I_{н.розч.} = 10\text{А}$ ,  $I_{відс} = 89,25 \text{ А}$  ( $1,5 \cdot I_{н.пуск}$ )).

Захисні апарати в електричних мережах 0,38 кВ перевіряють і за гранично-вимикаючою здатністю згідно вимоги:

$$I_{зр.вим} \geq I_{кз}^{(3)} \quad (3.103)$$

Струм трифазного короткого замикання визначають за формулою:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_{к})^2 + (\sum X_{к})^2}}, \quad (3.104)$$

де  $\sum R_{к}$ ,  $\sum X_{к}$  – відповідно загальні суми активної та реактивної складових опору трифазної мережі короткого замикання.

Визначаємо

$$\sum R_{к} : \sum R_{к} = R_m + R_{ф} + R_{конт}, \quad (3.105)$$

де  $R_m, R_{ф}$  – відповідно активний опір трансформатора та фази до точки короткого замикання.

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{л}^2}{S_{ном}^2} = \frac{3700 \cdot 400^2}{250000^2} = 0,01 \text{ Ом};$$

$$R_{ф} = 1,28 \cdot 0,4 = 0,512 \text{ Ом};$$

$$R_{конт} = 0,02 + 0,015 = 0,035 \text{ Ом};$$

$$\sum R_{к} = 0,01 + 0,512 + 0,035 = 0,557 \text{ Ом}.$$

Визначаємо

$$\sum X_{к} : \sum X_{к} = X_m + X_{ф}, \quad (3.106)$$

де  $X_m, X_{ф}$  – відповідно реактивна складова повного опору трансформатора та фазного проводу при трьохфазному короткому замиканні.

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}, \quad (3.107)$$

$$\text{де } Z_m = \frac{U_{кз} \cdot U_{л}^2}{100 \cdot S_m} = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 250 \cdot 10^3} = 0,03 \text{ Ом}.$$

$$\text{Тоді } X_m = \sqrt{(0,03)^2 - (0,01)^2} = 0,028 \text{ Ом}$$

$$\sum X_{к} = 0,028 + 0,15 = 0,178 \text{ Ом}$$

Визначаємо повний опір при трифазному короткому замиканні згідно:

$$Z_n = \sqrt{(\sum R_{к})^2 + (\sum X_{к})^2} = \sqrt{(0,557)^2 + (0,178)^2} = 0,583 \text{ Ом}.$$

Струм короткого замикання визначаємо по формулі (3.104):



$$I_{кз}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,583} = 396,6 \text{ А.}$$

Визначаємо ударний струм трифазного короткого замикання:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{кз}^{(3)} = 1,41 \cdot 396,6 = 559,2 \text{ А.}$$

Згідно довідника у автомата ВА51-2534 гранично-вимикаюча здатність 3 кА. Таким чином умова виконується.

Для вибору автомата на шинах трансформатора:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot Z_{mp}} = \frac{400}{1,73 \cdot 0,03} = 7,7 \text{ кА}$$

$$i_{y\delta} = 7,7 \cdot 1,41 = 10,87 \text{ кА}$$

Тут приймаємо автомат (QF1) ВА51-3134.

### 3.8.8. Перевірка умов пуску асинхронних двигунів

При пуску асинхронного коротко замкнутого електродвигуна в електричній мережі або в джерелі живлення виникає значний струм, що обумовлює зниження напруги на стільки, що пуск стане неможливим. В таких випадках розрахунок може бути зведено до визначення витрат напруги на затискачах електродвигуна.

Прямий пуск двигунів із короткозамкнутим ротором допускається у випадках, якщо напруга мережі при цьому знижується не більше ніж на 25...30% від номінальної.

У конкретних виробничих умовах найбільш трапляється випадок, коли пуск електродвигуна здійснюється в електричну мережу, що працює з навантаженням.

В цьому випадку фактичні втрати напруги при пуску дорівнюють [17, 18]:

$$\Delta U_{\text{факт.л.}} \% = \Delta U_1 \% + \frac{Z_{л} + Z_{mp}}{Z_{л} + Z_{mp} + Z_{ел.дв.}} \cdot 100\% , \quad (3.108)$$

де  $\Delta U_1$  – втрати напруги в попередньо завантаженій лінії;  $Z_{л}$  – повний опір лінії до електродвигуна;  $Z_{TP}$  – повний опір трансформатора при короткому замиканні;  $Z_{ДВ.}$  – повний опір короткого замикання електродвигуна.

Наведені у виразі (3.108) параметри визначають по відповідним формулам:

$$\Delta U_1 \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{нав} \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100\% , \quad (3.109)$$

де  $I_{HAB}$  – струм навантаження, А;  $l$  – довжина лінії до електродвигуна, км;  $r_0, x_0$  – відповідно активний та індуктивний опори проводів, Ом/км;  $U_H$  – напруга номінальна в лінії, В.

При відсутності інформації про струм навантаження втрат напруги в лінії визначають по формулі ( $\Delta U_L, \%$ ):

$$\Delta U_{л, \%} = \frac{(r_0 \cdot P + x_0 \cdot Q) \cdot l}{U_{ном}^2} \cdot 100\%, \quad (3.110)$$

де  $P, Q$  – відповідно активна (кВт) та реактивна (кВАр) потужність, що передається по лінії.

$$Z_{л} = \sqrt{R_{л}^2 + X_{л}^2}, \quad (3.111)$$

де  $R_L, X_L$  – активний та реактивний опір лінії.

$$Z_{mp} = \frac{U_{к \%} \cdot U_H}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{\Delta U_{к \%} \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H}, \quad (3.112)$$

де  $U_{к \%}$  – напруга короткого замикання трансформатора;  $U_H, I_H, S_H$  – відповідно номінальні напруга, струм та потужність трансформатора.

$$Z_{о\epsilon} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot \kappa_i \cdot I_H}, \quad (3.113)$$

де  $\kappa_I$  – кратність пускового струму електродвигуна;  $U_H, I_H$  – відповідно номінальні напруга та струм електродвигуна.

Розрахунок можливості пуску електродвигуна здійснюємо на конкретному прикладі, де використовуємо попередні дані, а також умову, що пуск здійснюється в попередньо завантажену лінію, в якій втрати напруги становлять 7%.

Визначаємо відповідно  $Z_{TP}$  та  $Z_{ДВ}$ . ( $Z_L$  відоме і дорівнює 0,583 Ом):

$$Z_{mp} = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 250000} = 0,03 \text{ Ом.}$$

$$Z_{о\epsilon} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 8,5} = 3,69 \text{ Ом.}$$

Тоді

$$\Delta U_{факт.л. \%} = 7 + \frac{0,583 + 0,03}{0,583 + 0,03 + 3,69} \cdot 100\% = 7 + 14,2 = 21,2\%$$

Таким чином  $21,2\% < 30\%$ , що вказує на можливість пуску електродвигуна АИР100L4У3.

У випадку коли, ця умова не виконується треба збільшувати переріз проводів або потужність трансформатора живлення електричної мережі.

### **3.9. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання сільськогосподарських споживачів**

#### **3.9.1. Вихідні дані**

Вихідними даними для проектування систем електропостачання (СЕП) сільськогосподарських споживачів є: плани територій із зазначенням місць розташування споживачів електричної енергії, дані про електричні навантаження споживачів (існуючих і тих, що будуть вводиться в експлуатацію у перспективі), схеми електричних мереж (лінії електропередачі і трансформаторні підстанції різних класів напруги), схеми ліній електропередачі, на яких зазначено марку, переріз проводів та довжини окремих ділянок, максимальні навантаження та їх характер існуючих споживчих підстанцій, кліматичний район за вітром та ожеледдю, потужність короткого замикання на шинах системних підстанцій електроживлення 110 (35) кВ.

При вирішенні задач реконструкції чи модернізації існуючих елементів СЕП, крім вищезазначеного, до вихідної включається інформація про електричне обладнання трансформаторних підстанцій, релейний захист, автоматику, телекомунікаційні засоби та ін.

#### **3.9.2. Визначення електричних навантажень на вводах споживачів електричної енергії**

На основі визначених споживачів електричної енергії обчислюють розрахункові навантаження на їх вводах .

Розрахункові навантаження на вводах виробничих, громадських та комунальних споживачів визначають згідно з [3], де наведено установлену потужність струмоприймачів, розрахункове навантаження на вводі в денний ( $P_D$ ) і вечірній ( $P_B$ ) максимуми, та потужність найбільшого двигуна (більше 10 кВт). Розрахункові навантаження на вводах до споживачів, які мають тільки електроосвітлення і не більше трьох силових електроприймачів, приблизно можуть дорівнювати сумі установлених потужностей електроприймачів.

Розрахункові навантаження на вводі в сільській житловий будинок визначають за номограмою [3, 21], виходячи із існуючого споживання електроенергії з врахуванням динаміки зростання до розрахункового року. При цьому потрібно враховувати, що вихідні дані про наявне електроспоживання, як правило, беруть за попередній рік, а введення об'єкта в експлуатацію відбудеться не раніше, ніж

через рік після складення проекту. Тому розрахунковий рік визначається додаванням двох років до розрахункового періоду.

Наприклад, при розрахунковому п'ятирічному періоді розрахунковим буде 7-й рік, при десятирічному – 12-й рік.

Оскільки для окремих споживачів потрібно знати розрахункове денне  $P_D$  і вечірнє  $P_B$  навантаження, а за номограмою визначається тільки одне навантаження  $P$ , для житлових будинків вводиться коефіцієнт участі  $K$ , який для денного максимуму  $K_D=0,3...0,4$ ; для будинків з електроплитами  $K_D=0,6$ ; у вечірньому максимумі побутове навантаження враховується з коефіцієнтом  $K_B=1,0$ . Тоді:

$$P_D = K_D P; \quad P_B = K_B P. \quad (3.114)$$

Знайдені навантаження на вводах споживачів електричної енергії записують у табл. 3.7.

### 3.7. Розрахункові навантаження на вводах споживачів електричної енергії

№ п/п	Назва споживача	Кількість, шт.	Розрахункове навантаження, кВт	
			Денне, $P_D$	Вечірнє, $P_B$

#### 3.9.3. Розрахунок сумарної потужності населеного пункту

При розрахунку сумарної потужності споживачів розділяють на групи (окремо для денного та вечірнього максимумів). У групи включають споживачів одного характеру, потужність яких не відрізняється більше, ніж в чотири рази.

В окремих групах потужності підсумовують за допомогою коефіцієнта одночасності:

$$P_D = K_O \sum_{i=1}^n P_{Di}; \quad P_B = K_O \sum_{i=1}^n P_{Bi} \quad (3.115)$$

а потужність груп – за допомогою добавок [3, 21]:

$$P = P_B + \Delta P(P_M), \quad (3.116)$$

де  $P_B$  – більша потужність;  $\Delta P(P_M)$  – добавка від меншої потужності.

У вечірнє навантаження потрібно включити навантаження вуличного та зовнішнього освітлення. Навантаження вуличного освітлення  $P_{B.O.}$ , кВт (освітлення вулиць з житловими будинками) визначається за формулою:

$$P_{B.O.} = P_{B.H.} L_B 10^{-3}, \quad (3.117)$$

де  $P_{B.H.}$  – норма вуличного освітлення, Вт/м;  $L_B$  – довжина вулиць, м.

Навантаження зовнішнього освітлення  $P_{3.O.}$  (територій ферм, господарчих дворів тощо) обчислюють з розрахунку 250 Вт на одне приміщення і 3 Вт на один метр довжини периметра території, тобто:

$$P_{3.O.} = (250 N_{ПР} + 3 L_{П}) 10^{-3}, \quad (3.118)$$

де  $N_{ПР}$  – кількість приміщень, шт.;  $L_{П}$  – периметр території, м.

Навантаження вуличного та зовнішнього освітлення підсумовують з коефіцієнтом одночасності  $K_O = 1$  і включають у вечірній максимум з коефіцієнтом участі, який дорівнює одиниці.

3.9.4. Розрахунок системи електропостачання сільського населеного пункту

#### 3.9.4.1. Розрахунок кількості та вибір місць розташування споживчих трансформаторних підстанцій ТП-10/0,4 кВ

Кількість трансформаторних підстанцій у населеному пункті можна обчислити за формулою:

$$n_{ТП} = \sqrt{\frac{S_P F B}{\Delta U_{доп}}}, \quad (3.119)$$

де  $S_P$  – повне максимальне розрахункове навантаження споживачів заданого населеного пункту, кВА;  $F$  – площа населеного пункту, км<sup>2</sup>;  $B$  – параметр, що залежить від напруги (для 10/0,4 кВ  $B = 0,06 \dots 0,07$  %/км);  $\Delta U_{доп}$  – допустима втрата напруги у мережі низької напруги, %.

На плані населеного пункту розміщують ТП-10/0,4 кВ з таким розрахунком, щоб вони знаходилися у центрі навантаження, а лінії 0,38 кВ були за можливістю мінімальної довжини.

Розміщувати ТП–10/0,4 кВ на плані населеного пункту необхідно по можливості так, щоб вони живили споживачів однакового характеру (виробничі, комунально-побутові), а також прагнути до рівномірного розподілу навантаження між окремими ТП.

Розмістивши ТП–10/0,4 кВ на плані населеного пункту, намічають траси проходження лінії 0,38 кВ. У випадку змішаного навантаження підстанцій окремі лінії 0,38 кВ повинні за можливістю жити споживачів одного характеру і мати рівномірні навантаження.

#### 3.9.4.2. Розрахунок навантажень ліній електропередачі напругою 0,38 кВ

При визначенні розрахункового навантаження на кожній ділянці лінії 0,38 кВ рекомендується об'єднувати житлові будинки у групи від

3 до 7 об'єктів. Навантаження групи житлових будинків знаходять підсумовуванням за допомогою коефіцієнта одночасності в загальному випадку по денному  $P_D$  і вечірньому  $P_B$  максимумам:

$$P_D = K_O \sum_{i=1}^n P_{Di}; \quad P_B = K_O \sum_{i=1}^n P_{Bi}, \quad (3.120)$$

де  $P_{Di}$ ,  $P_{Bi}$  – розрахункові навантаження на ввіді житлового будинку, відповідно у денний і вечірній час, кВт;  $K_O$  – коефіцієнт одночасності, залежить від кількості споживачів (будинків).

Розрахункові навантаження окремих ділянок лінії 0,38 кВ знаходять, підсумовуючи навантаження окремих споживачів, що підключені до лінії, з врахуванням одночасності потрапляння в максимум навантаження.

Розрахунок ведуть, починаючи з кінця лінії, навантаження підсумовують за методом добавок:

$$P_D = P_{ДБ} + \Delta P(P_{ДМ}); \quad P_B = P_{ВБ} + \Delta P(P_{ВМ}), \quad (3.121)$$

де  $P_{ДБ}$ ,  $P_{ВБ}$  та  $P_{ДМ}$ ,  $P_{ВМ}$  – найбільше і найменше навантаження відповідно денного та вечірнього максимумів, кВт;  $\Delta P(P)$  – добавка від найменшого навантаження до найбільшого, кВт. В окремих випадках, якщо явно виражено денний або вечірній максимуми навантаження, розрахунок проводять за одним з максимумів – денним або вечірнім.

Розрахунки навантажень ліній 0,38 кВ рекомендується виконувати у табличній формі (табл. 3.8).

### 3.8. Розрахунок навантажень ліній 0,38 кВ

Ділянка лінії	Денне навантаження, кВт				Вечірнє навантаження, кВт			
	$P_{ДБ}$	$P_{ДМ}$	$\Delta P(P_{ДМ})$	$P_D$	$P_{ВБ}$	$P_{ВМ}$	$\Delta P(P_{ВМ})$	$P_B$

#### 3.9.4.3. Вибір перерізу проводів ліній електропередачі 0,38 кВ

Переріз проводів на окремих ділянках ліній 0,38 кВ вибирають за мінімумом приведених затрат (за економічними інтервалами потужностей) залежно від максимальної потужності  $S_M$  (більшого з розрахункових денного  $S_D$  або вечірнього  $S_B$  навантажень ділянки лінії). Границі економічних інтервалів для вибору перерізів проводів ліній 0,38 кВ наведено в [3].

Повна потужність (денна  $S_D$  та вечірня  $S_B$ ) на ділянках лінії 0,38 кВ визначається за розрахунковими активними навантаженнями цих ділянок і відповідними коефіцієнтами потужності.

Розрахунки починають з головних ділянок лінії і дані записують у табл. 3.9.

Переріз проводів ліній 0,38 кВ потрібно перевірити на допустиму втрату напруги аналогічно тому, як це виконується при розрахунках лінії 10 кВ.

### 3.9. Розрахунки щодо вибору перерізів проводів лінії 0,38 кВ

Ді- лян- ка	Денне навантаження			Вечірнє навантаження			$S_M$ , кВА	П р о в і д	Втрата напруги, %	
	$P_D$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_D$ , кВт	$P_B$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_B$ , кВт			На ділян- ці	Від ТП

#### 3.9.4.4. Обґрунтування номінальної потужності споживчих трансформаторних підстанцій

Для розрахунку номінальної потужності трансформаторних підстанцій необхідно визначити потужність на шинах 0,4 кВ. Розрахункова потужність на шинах 0,4 кВ ТП знаходиться сумуванням навантажень окремих ліній 0,38 кВ за допомогою добавок (окремо за денним і вечірнім максимумами). У вечірнє навантаження ТП потрібно включити навантаження  $P_{BO}$  вуличного та  $P_{ZO}$  зовнішнього освітлення.

Тоді формула для підрахунку вечірнього навантаження на шинах ТП буде:

$$P_B = P_{BB} + \Delta P(P_{BMi}) + \dots + P_{BO} + P_{ZO}, \quad (3.122)$$

де  $P_{BB}$  – потужність лінії з найбільшим навантаженням, кВт;  
 $P_{BMi}$  – потужність  $i$ -ї лінії з меншим навантаженням, кВт.

Потужність трансформаторів споживчих ТП-10/0,4 кВ вибирають за розрахунковою потужністю  $S_p$ , за яку беруть найбільшу із розрахункових денних або вечірніх потужностей. У свою чергу повні денна  $S_D$  та вечірня  $S_B$  потужності визначають за розрахунковими навантаженнями ( $P_D$  та  $P_B$ ) на шинах ТП з врахуванням відповідних коефіцієнтів потужності для ТП.

Паспортні дані силового трансформатора необхідно навести в табличній формі (табл. 3.10).

Розрахунок електричної мережі 10 кВ включає: визначення розрахункових навантажень існуючих трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ; підрахунок електричних навантажень, вибір перерізів проводів та розрахунок втрат напруги на ділянках лінії 10 кВ.

### 3.10. Паспортні дані силового трансформатора ТП 10/0,4 кВ

Тип	Номинальна потужність, кВА	Напруги обмоток, кВ		Схема і група з'єднань обмоток	Втрати, Вт			Напруга короткого замикання $U_k, \%$	Струм холостого ходу $I_{хх}, А$
		ВН	НН		холостого ходу		Короткого замикання		
					рівень А	рівень Б			

#### 3.9.4.5. Розрахунок розгалуженої лінії електропередачі 10 кВ

Розрахункові навантаження  $P_P$  існуючих підстанцій 10/0,4 кВ на розрахунковий рік визначають за формулою:

$$P_P = K_H P_M \quad (3.123)$$

де  $P_M$  – максимальне існуюче навантаження ТП, кВт (згідно із завданням);  $K_H$  – коефіцієнт зростання навантаження, змінюється залежно від виду споживачів (табл. 3.11).

#### 3.11. Коефіцієнт зростання навантаження

Вид споживачів	Розрахунковий рік		
	5	7	10
Виробничі	1,3	1,4	<b>2,1</b>
Змішані	1,3	1,4	<b>2,0</b>
Комунально-побутові	1,2	1,3	<b>1,8</b>

Денні та вечірні навантаження існуючих ТП визначають множенням розрахункового навантаження на коефіцієнт участі його в денному  $K_D$  та вечірньому  $K_B$  максимумах, які дорівнюють: для виробничих споживачів  $K_D = 1,0$ ;  $K_B = 0,6$ ; для комунально-побутових –  $K_D = 0,3 \dots 0,4$ ;  $K_B = 1,0$ ; для змішаних –  $K_D = K_B = 1,0$ .

Дані розрахунків записують за формою табл. 3.12.

#### 3.12. Розрахункові навантаження ТП-10/0,4 кВ

№ п/п	$P_M$ , кВт	Вид навантаження	$P_P = K_H P_M$ , кВт	$P_D = K_D P_P$ , кВт	$P_B = K_B P_P$ , кВт



Підрахунок електричних навантажень на ділянках лінії 10 кВ починають з кінця лінії, підсумовуючи навантаження ТП за денним і вечірнім максимумами (окремо за добавками).

На кожній ділянці лінії знаходять виробниче навантаження  $P_{ВИР}$ , яке включає в себе в денний час навантаження ТП з виробничим і змішаним видами споживачів, у вечірній час – тільки навантаження ТП з виробничим видом, та загальне навантаження  $P_{ЗАГ}$ , яке включає навантаження всіх ТП.

Розрахунки навантажень на ділянках лінії 10 кВ виконують, користуючись табл. 3.13.

Переріз проводів лінії 10 кВ вибирають з використанням економічних інтервалів потужностей залежно від еквівалентної потужності  $S_E$  на ділянці лінії.

### 3.13. Розрахунок навантажень на ділянках лінії 10 кВ

Ді- лян- ка	Н а в а н т а ж е н н я								
	Вид	Денне, кВт				Вечірнє, кВт			
		$P_{ДБ}$	$P_{ДМ}$	$\Delta P(P_{ДМ})$	$P_{Д}$	$P_{ВБ}$	$P_{ВМ}$	$\Delta P(P_{ВМ})$	$P_{В}$
6-7	$P_{ВИР}$								
	$P_{ЗАГ}$								

Еквівалентна потужність ділянки лінії 10 кВ  $S_E$  дорівнює:

$$S_E = K_D S_M \quad (3.124)$$

де  $S_M$  – максимальна потужність ділянки лінії (найбільша з розрахункових навантажень денного  $S_D$  або вечірнього  $S_B$  максимумів), кВА;  $K_D$  – коефіцієнт для визначення еквівалентної потужності (для мереж сільських регіонів рекомендується  $K_D = 0,7$ ).

Розрахункове денне  $S_D$  та вечірнє  $S_B$  навантаження знаходять, виходячи з загального денного  $P_D$  та вечірнього  $P_B$  навантажень і коефіцієнта потужності.

Розрахунки та вибір перерізів проводів починають з головної ділянки лінії й одержані дані заносять у табл. 3.14.

### 3.14. Результати розрахунків з вибору перерізів проводів лінії 10 кВ

Ді- лян- ка	Денне навантаження			Вечірнє навантаження			$S_M$ , кВа	$S_E$ , кВа	П р о в і д	Втра- ти на- пруги, %  $\Delta U$
	$\frac{P_{ВИР}}{P_{ЗАГ}}$	$\cos \varphi$	$S_D$ , кВа	$\frac{P_{ВИР}}{P_{ЗАГ}}$	$\cos \varphi$	$S_B$ , кВа				
№										

Переріз проводів лінії 10 кВ, які вибрані за допомогою економічних інтервалів потужностей, потрібно перевірити на допустиму втрату напруги. При цьому фактична втрата напруги до найвіддаленішої точки у мережі не повинна перевищувати допустиму, тобто:

$$\sum \Delta U_i < \Delta U_{\text{доп.}} \quad (3.125)$$

Фактична втрата напруги на  $i$ -й ділянці лінії (%):

$$\Delta U_i = [(P_i r_i / U_H) + (Q_i x_i / U_H)] 100 / U_H, \quad (3.126)$$

де  $P_i, Q_i$  – розрахункові активна та реактивна потужності ділянки лінії, кВт, кВАр;  $r_i, x_i$  – активний та реактивний опори ділянки лінії, Ом;  $U_H$  – номінальна напруга лінії, В;

$$r_i = r_{oi} L_i; x_i = x_{oi} L_i,$$

де  $L_i$  – довжина ділянки лінії, км;  $r_{oi}, x_{oi}$  – питомі активний та реактивний опори проводу на ділянці лінії, Ом/км.

Фактичні витрати напруги до будь-якого споживача визначають як суму втрат напруги на окремих, послідовно з'єднаних ділянках лінії від джерела живлення:

$$\sum \Delta U_i = \sum_{i=1}^n \Delta U_i. \quad (3.127)$$

У загальному випадку фактичні витрати напруги необхідно визначати за денним та вечірнім максимумами навантажень окремо. Але в деяких випадках шляхом інженерного аналізу можна оцінити, при якому навантаженні (денному чи вечірньому) буде мати місце більша втрата. Це також можна вирішити, підрахувавши суму моментів для денного та вечірнього часу. Далі потрібно вести розрахунки для випадку з більшою сумою моментів.

Допустиму втрату напруги знаходять за допустимим відхиленням напруги у споживача, виходячи із заданого відхилення напруги на шинах 10 кВ РТП у режимі максимальних та мінімальних навантажень.

Допустиме відхилення напруги у споживача в нормальному режимі роботи дорівнює +5 %. Розрахунок допустимої втрати напруги у лініях 10 та 0,38 кВ і вибір регульованих надбавок трансформаторів споживчих підстанцій 10/0,4 кВ виконують у табличній формі.

При складанні таблиці розглядаються дві споживчі ТП – ближня та віддалена. Ближня ТП – це ТП, приєднана в безпосередній близькості до шин 10 кВ РТП (наприклад, трансформатор власних потреб на РТП) і втрата напруги в лінії 10 кВ до цієї ТП дорівнює нулю. Віддалена – це ТП, до якої втрата напруги в лінії 10 кВ

найбільша. Розглядаються також два режими навантаження – максимальний (100 %) та мінімальний (25 %).

На кожній споживчій ТП (ближній та віддаленій) розглядають два споживача електроенергії – ближній, підключений безпосередньо до шин 0,4 кВ ТП (без лінії 0,38 кВ, втрата напруги дорівнює нулю), і віддалений, підключений через найдовшу лінію 0,38 кВ, де втрата напруги буде найбільша. Розрахунок допустимої втрати напруги здійснюється на прикладі табл. 3.15.

3.15. Таблиця відхилень напруги

Електрична мережа	Найбільш віддалена споживча підстанція		Найближча трансформаторна підстанція	
	Навантаження, %		Навантаження, %	
	100	25	100	25
Шини підстанції 110/35 кВ				
Мережа напругою 35 кВ				
Трансформатор 35/10 кВ				
надбавки				
втрати				
Регулятор				
Мережа напруги 10 кВ				
Трансформатор 10/0,4 кВ				
надбавки				
втрати				
Мережа напругою 0,38 кВ				
Споживач				

Якщо фактична втрата напруги в лініях 10 та 0,38 кВ для заданого населеного пункту перевищує допустиму, необхідно передбачити заходи щодо її зменшення. Це може бути – збільшення перерізів проводів ліній 10 та 0,38 кВ, зниження навантаження на лінії 0,38 кВ (збільшити кількість ліній), за можливістю зменшити їх довжину.

#### 3.9.4.6. Розрахунок повного електричного навантаження на шинах 10 кВ районної трансформаторної підстанції

Денне та вечірнє навантаження на шинах 10 кВ РТП знаходять сумуванням окремо денних та вечірніх максимумів навантажень ліній 10 кВ. У подальшому в розрахунках використовується більший максимум навантаження.

Повне навантаження на шинах РТП:

$$S_p = \frac{\sum P_B}{\cos \varphi} \cdot 1,12, \quad (3.128)$$

де  $\sum P_B$  – більший із максимумів навантаження (вечірній або денний) на шинах 10 кВ РТП, кВт; 1,12 – коефіцієнт, що враховує втрати електричної енергії;  $S_p$  – повна розрахункова потужність, кВА;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

### 3.9.4.7. Обґрунтування параметрів та первинної електричної схеми РТП

При навантаженні РТП, що дорівнює 10000 кВА і вище забороняється встановлювати один силовий трансформатор. Це пов'язане зі значними збитками споживачів у зоні електропостачання РТП. Вихід із ладу трансформатора призводить до відключення великої кількості споживачів, серед яких можуть бути споживачі першої та другої категорій за надійністю електропостачання.

При потужності менше 10000 кВА дозволяється встановлювати один силовий трансформатор за умови, що споживачі першої категорії в зоні електропостачання даної РТП можуть отримати резервне живлення від незалежного джерела живлення, наприклад сусідніх РТП.

Номінальну потужність силових трансформаторів вибирають за розрахунковою повною потужністю навантаження на шинах 10 кВ РТП. Рекомендується потужність навантаження розподіляти рівномірно між силовими трансформаторами (наприклад, при встановленні двох трансформаторів):

$$S_{pT} = \frac{S_p}{2}. \quad (3.129)$$

Номінальна потужність вибирається із стандартної шкали – 1000, 1600, 2500, 4000, 6300, 10000 кВА. При цьому, за необхідності, може враховуватись перевантажувальна здатність силових трансформаторів. На підстанції можуть бути встановлені трансформатори з різною номінальною потужністю. Це вимагає додаткових обґрунтувань умов паралельної чи роздільної роботи силових трансформаторів.

При обґрунтуванні первинної електричної схеми РТП необхідно враховувати її схему живлення (одностороннє, двостороннє), кількість силових трансформаторів, виконання розподільних пристроїв, вимоги до рівня надійності.

Розподільні пристрої напругою 110 (35) кВ, як правило, виконують відкритими, а напругою 10 кВ - закритими або за допомогою комплектного пристрою (КРП). РП – 10 кВ виконують за схемою 2-х секцій шин, які з'єднані між собою вимикачем. Крім того, РП – 10 кВ повинен містити по два трансформатори власних потреб і напруги, обмежувачі перенапруги, вимикачі введів 10 кВ та ліній 10 кВ. Рівень автоматики РТП повинен передбачати експлуатацію РТП без обслуговуючого персоналу.

### 3.9.4.8. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання розпочинають зі складання спрощеної схеми електричної мережі із зазначенням розрахункових точок

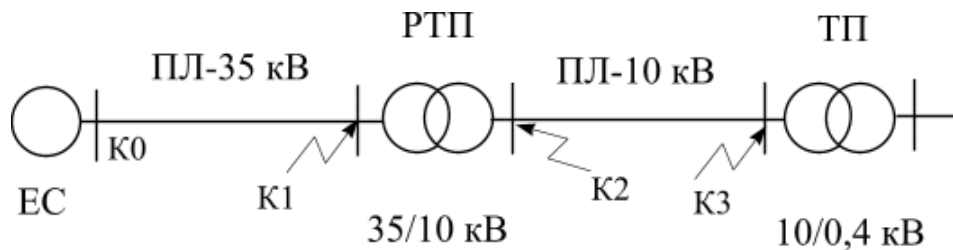


Рис.3.8. Електрична схема мережі

На основі електричної схеми будується схема заміщення мережі.

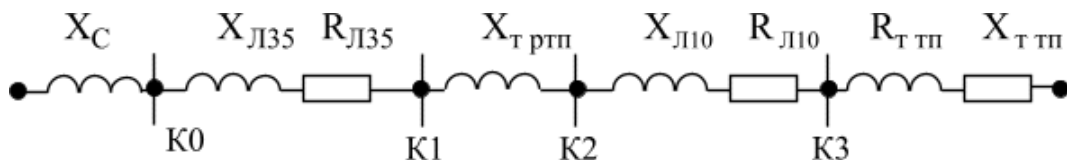


Рис.3.9. Електрична схема заміщення мережі

#### Вихідні дані:

$S_B = 100$  – базисна потужність, мВА;  $U_{35} = 35$  – напруга повітряної лінії живлення, кВ;  $S_{K3}$  – потужність короткого замикання (для точки К0), мВА;  $L_{35}$  – довжина лінії живлення, км;  $X_{035}$  – питомий індуктивний опір проводу лінії живлення, Ом/км;  $R_{035}$  – питомий активний опір проводу лінії живлення, Ом/км;  $U_{K3 35}$  – напруга короткого замикання силового трансформатора районної трансформаторної підстанції, %;  $N$  – кількість силових трансформаторів на РТП, шт;  $X_{010}$  – питомий індуктивний опір

проводу лінії 10 кВ, Ом/км;  $S_{\text{НРТП}}$  – номінальна потужність силового трансформатора РТП, кВА;  $R_{\text{О10}}$  – питомий активний опір проводу лінії 10 кВ, Ом/км.

Розрахунок опорів елементів схеми заміщення:

- опір системи –  $X_C = \frac{S_6}{S_{\text{КЗ}}}$ ;
- індуктивний опір лінії живлення –  $X_{\text{Л35}} = X_{\text{О35}} L_{\text{Л35}} \frac{S_6}{U_{\text{Л35}}^2}$ ;
- активний опір лінії живлення –  $R_{\text{Л35}} = R_{\text{О35}} L_{\text{Л35}} \frac{S_6}{U_{\text{Л35}}^2}$ ;
- індуктивний опір силових трансформаторів на РТП –  

$$Z_{\text{ТРТП}} = X_{\text{ТРТП}} = U_{\text{КЗ}} \frac{S_6}{100 S_{\text{НРТП}} N}$$
;
- індуктивний опір лінії живлення –  $X_{\text{Л10}} = X_{\text{О10}} L_{\text{Л10}} \frac{S_6}{U_{\text{Л10}}^2}$ ;
- активний опір лінії живлення –  $R_{\text{Л10}} = R_{\text{О10}} L_{\text{Л10}} \frac{S_6}{U_{\text{Л10}}^2}$ .

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється відповідно до точок К1, К2 та К3 (табл. 3.16).

### 3.9.4.9. Вибір електричної апаратури

#### 3.9.4.9.1. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 10 кВ

Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 10 кВ включає обґрунтування електричних шин, вимикачів, вимірювальних трансформаторів, обмежувачів перенапруги.

*Розрахунок та вибір електричних шин. Вихідні дані:* шини в розподільному пристрої розміщують, наприклад, на ребро в одній горизонтальній площині з відстанню між центрами –  $a = 0,25$  м, а між опорними ізоляторами однієї фази –  $l = 1,5$  м.

В електроустановках змінного струму напругою 10 кВ вибирають алюмінієві шини прямокутного перерізу.

При виборі електричних шин визначають робочий максимальний струм із врахуванням 40 %-ного перевантаження силового трансформатора за наступним виразом:

$$I_{\text{Р.МАКС}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{Н(Б)}}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (3.130)$$

де  $S_{\text{Н(Б)}}$  – номінальна потужність трансформатора більшої потужності.

3.16. Розрахункові вирази для обчислення струмів короткого замикання

Точка схеми	Опір до розрахункової точки	Базисний струм	Трифазний струм	Ударний струм	Двофазний струм	Діюче значення ударного струму
K1	$X_{K1} = X_C + X_{Л35} \dots$ $Z_{K1} = \sqrt{X_{K1}^2 + R_{Л35}^2}$	$I_{635} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{35}}$	$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{635}}{Z_{K1}}$			
K2	$X_{K2} = X_{K1} + X_{ТРП}$ $Z_{K2} = \sqrt{X_{K2}^2 + R_{Л35}^2}$		$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{610}}{Z_{K2}}$	$i_y = \sqrt{2} K_y I_{K3}^{(K3)}$ $K_y = 1,5$	$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)}$	$I_y = I_{K3}^{(3)} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}$
K3	$X_{K3} = X_{K2} + X_{Л10}$ $R_{K3} = R_{Л35} + R_{Л10}$ $Z_{K3} = \sqrt{X_{K3}^2 + R_{K3}^2}$	$I_{610} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{10}}$	$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{610}}{Z_{K3}}$			

Відповідно до ПУЕ необхідно вибрати переріз електричних шин, для яких буде виконуватись умова:

$$I_{P.МАКС} \leq I_{ДОП}, \quad (3.131)$$

$$I_{ДОП} = I'_{ДОП} \sqrt{\frac{\theta_{ДОП} - \theta_{МАКС}}{\theta_{ДОП} - \theta_0}}, \quad (3.132)$$

де  $I'_{ДОП}$  – допустимий струм (за умов нагрівання) для електричних шин при температурі  $\theta_0 = 25$  °С, вибирається згідно з [3].  $\theta_{МАКС}$  – максимальне значення середньорічної температури (для центральної зони України  $\theta_{МАКС} = + 30$  °С);  $\theta_{ДОП}$  – допустима температура нагрівання шин (для шин із алюмінієвого сплаву - 70 °С).

*Перевірка шин на термічну стійкість.* При короткому замиканні температура шин не повинна перевищувати +200 °С – це є умова термічної стійкості шин.

Для визначення мінімально допустимого перерізу шин за умов термічної стійкості розраховують тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K3}^{(3)2} \cdot t_k, \quad (3.133)$$

де  $I_{K3}^{(3)}$  – струм трифазного короткого замикання в точці встановлення шин, кА;  $t_{IP}$  – зведений час дії струму короткого замикання [13, 14].

Мінімальний допустимий переріз шин, мм<sup>2</sup>, визначають за формулою:

$$F_{MIN} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (3.134)$$

де  $C$  – коефіцієнт, що визначається матеріалом шин, для шин із алюмінієвого сплаву  $C = 88$ .

*Перевірка шин на динамічну стійкість.* Умовою перевірки шин є порівняння розрахункового і максимально допустимого механічного напружень:

$$\sigma_{РОЗ} \leq \sigma_{ДОП}, \quad (3.135)$$

де  $\sigma_{РОЗ}$  – розрахункове механічне напруження у шинах, МПа;  $\sigma_{ДОП}$  – максимальне допустиме (для матеріалу шин) механічне напруження, МПа (для шин із алюмінію АТ –  $\sigma_{ДОП} = 70$  МПа).

Для перевірки шин на динамічну стійкість розраховують електродинамічне зусилля (Н):

$$f = 1,76 \cdot K_{\Phi} \cdot \left(\frac{1}{a}\right) 10^{-1} \cdot i_y^2, \quad (3.136)$$

де  $i_y$  – ударний струм короткого замикання, кА;  $l$  – відстань між опорними ізоляторами кріплення шини в одній фазі, м;  $a$  – відстань



між центрами шин сусідніх фаз, м;  $K_{\Phi}$  – коефіцієнт форми, залежить від перерізу шин і розташування шин (при розташуванні шин у горизонтальній площині і прямокутному перерізі –  $K_{\Phi}=1$ ).

Момент опору (при розташуванні шин на ребро):

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}, \quad (3.137)$$

де  $b$  – ширина шини, м;  $h$  – товщина шини, м.

Розрахункове механічне напруження у шинах (Па):

$$\sigma_{\text{РОЗР}} = \frac{f \cdot I}{10 \cdot W}. \quad (3.138)$$

*Вибір вимикачів РП 10 кВ.* Для РП 10 кВ рекомендується застосовувати вакуумні або елегазові вимикачі виробництва компаній РЗВА (Рівненський завод високовольтної апаратури), АВВ, Siemens, Таврида Електрик та ін.

### 3.17. Умови вибору вимикачів

Параметри	Умови вибору	
	Паспортні дані	Розрахункові дані електричної мережі
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{НВ}} > U_{\text{Н}}$	
Номінальний струм, А	$I_{\text{НВ}} > I_{\text{Р.МАХ}}$	
Допустимий струм вимикання, кА	$I_{\text{Д.ВИМ}} > I_{\text{КЗ}}^{(3)}$	
Динамічна стійкість	$i_{\text{МАХ}} > i_{\text{УД}}$	
Термічна стійкість	$I_{\text{ТН}}^2 \cdot t_{\text{К}} > (I_{\text{КЗ}}^3)^2 \cdot t_{\text{ПР}}$	

*Примітка.*  $U_{\text{НВ}}$  – номінальна напруга вимикача, кВ;  $I_{\text{НВ}}$  – номінальний струм вимикача, А;  $I_{\text{Р.МАХ}}$  – робочий максимальний струм, А;  $I_{\text{Д.ВИМ}}$  – допустимий струм вимикання, А;  $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$  – усталений струм трифазного короткого замикання, кА;  $i_{\text{МАХ}}$  – струм динамічної стійкості, кА;  $i_{\text{УД}}$  – ударний струм трифазного короткого замикання, кА;  $I_{\text{ТН}}$  – струм термічної стійкості вимикача, кА;  $t_{\text{К}}$  – номінальний час термічної стійкості вимикача, с;  $t_{\text{ПР}}$  – зведений час термічної дії струму короткого замикання, с;  $t_{\text{ПР}} = t_{\text{ПР.П}} + t_{\text{ПР.А}}$ ;  $t_{\text{ВКЗ}} = t_{\text{В}} + t_{\text{РЗ}}$  – час вимикання короткого замикання, с;  $t_{\text{В}}$  – час спрацювання вимикача, с;  $t_{\text{РЗ}}$  – час спрацювання релейного захисту, с;  $t_{\text{ПР.А}}$  – зведений час аперіодичної складової струму короткого замикання (для сільських електричних мереж –  $t_{\text{ПР.А}}=0,05$  с).

Вибір обмежувачів перенапруги (ОПН) для РП 10 кВ. Найбільша допустима напруга ОПН  $U_{нд}$  повинна перевищувати найбільшу робочу напругу мережі  $U_{н.р.}$  :

$$U_{нд} > U_{н.р.} \quad (3.139)$$

У мережах з ізольованою нейтраллю або з компенсацією емнісних струмів за найбільше значення напруги приймається лінійна напруга мережі.

Для забезпечення найкращих показників захищеності в мережах різного виконання ПП “Таврида Електрик” випускає обмежувачі перенапруг з набором  $U_{нд}$  на кожен клас напруги, (табл. 3.18).

### 3.18. Найбільша допустима напруга ОПН

Клас напруги мережі	Найбільша допустима напруга ОПН
3	4,0
6	6,0; 6,6; 6,9; 7,6.
10	<b>10,5; 11,5; 12,0; 12,7.</b>
27	30,0; 33,0.
35	40,5; 42,0.
110	<b>56,0; 66,0; 73,0; 77,0; 84,0.</b>
220	146,0; 154,0; 168,0.

Рівень тимчасових перенапруг повинен бути менше максимального значення напруги промислової частоти, що витримує ОПН за час  $t$ :

$$T \cdot U_{н.д.} > U_{пер}, \quad (3.140)$$

де  $U_{пер}$  – рівень квазістаціонарних перенапруг (ферорезонансні перенапруги, резонансний зсув нейтралі);  $T$  – кратність перенапруги.

Для систем електропостачання сільського господарства приймаються такі вихідні дані для визначення  $U_{пер}$ : імовірність появи внутрішніх перенапруг 10 % (0,1, рис. 3.10); відношення  $I_A/I_P = 0,5$ .

Допустима кратність перевищення напруги  $T$  буде:

1.  $T=15,0/10,5=1,4$ ;
2.  $T=15,028/11,5=1,3$ ;
3.  $T=15,0/12=1,25$ ;
4.  $T=15,0/12,7=1,18$ .

Найбільша тривалість внутрішніх перенапруг у системах електропостачання сільського господарства становить  $t = 1 \dots 2$  с. Із рис. 3.9 видно, що для умови  $T \cdot U_{н.д.} > U_{пер}$  підходять всі розрядники, крім ОПН – КР.

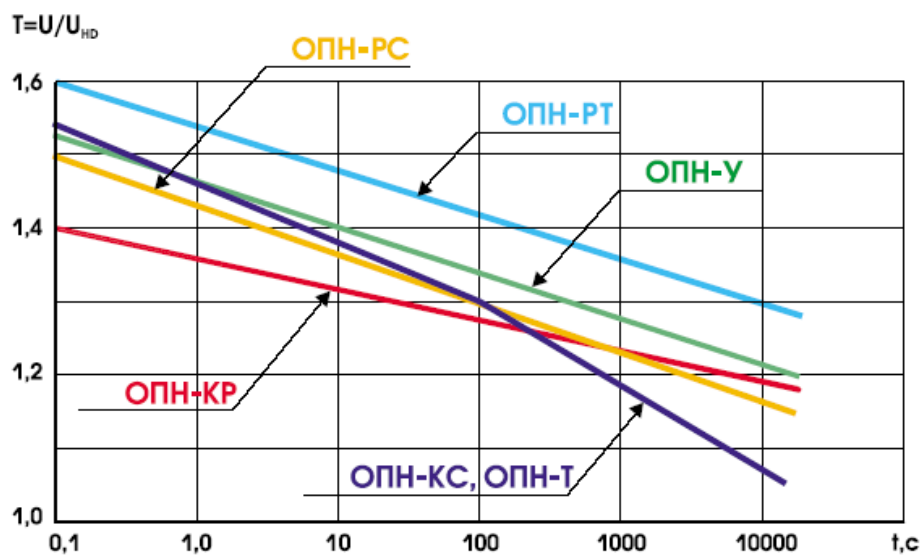


Рис. 3.9. Допустимий час прикладення напруги промислової частоти

Відповідно до рисунків 3.10 та 3.11 внутрішні перенапруги для мережі 10 кВ можуть становити  $U_{пер} = 2,6 \cdot U_{\phi} = 2,6 \cdot 5,78 = 15,0$  кВ.

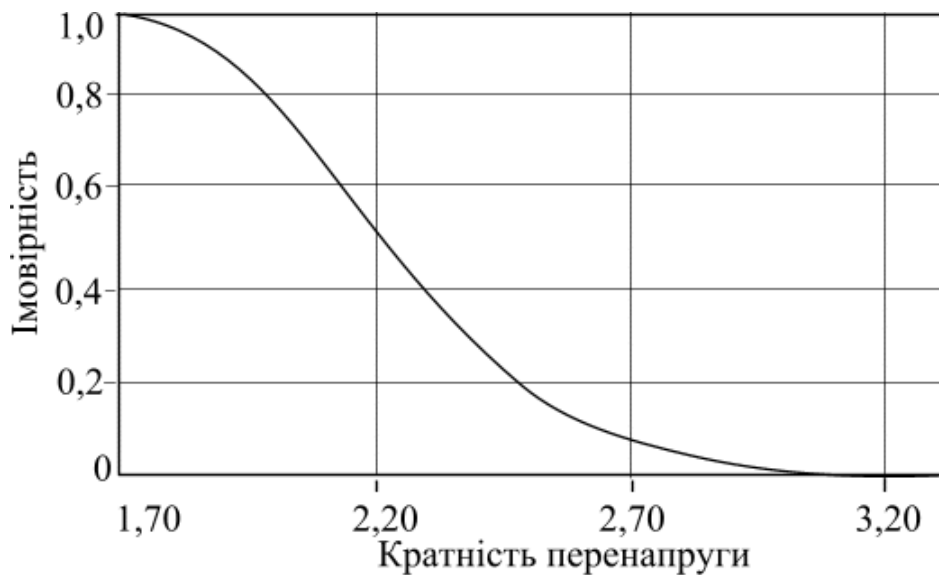


Рис. 3.10. Імовірність появи перенапруги певної кратності

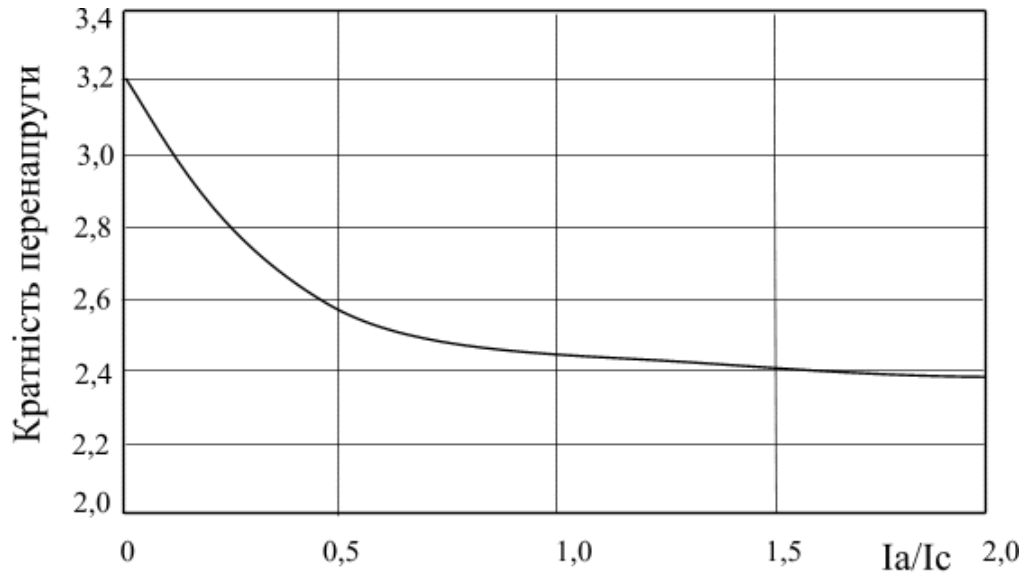


Рис. 3.11. Залежність дугових перенапруг від співвідношення активної та ємнісної складових струму замикання на землю

Обмежувач повинен забезпечувати необхідний захисний координаційний інтервал за грозовими впливами  $A_{гр}$ :

$$A_{гр} = (U_{исп} - U_{ост}) / U_{ост} > (0,2 - 0,25), \quad (3.141)$$

де  $U_{исп}$  – рівень грозового випробувального імпульсу;  
 $U_{ост}$  – напруга, що залишається на ОПН при номінальному розрядному струмі; (0,2 – 0,25) – координаційний інтервал.

Наявність відстані між ОПН і устаткуванням викликає підвищення напруги на устаткуванні в порівнянні з залишковою напругою на ОПН. У зв'язку з цим рівень обмеження повинен бути на 20...25 % нижчим випробувальної напруги повного або зрізаного грозового імпульсу (ДСТ 1516.2 – 98, табл. 3.19). Для оцінки напруги, що залишається на ОПН можна скористатися  $U_{ост}$  при номінальному розрядному струмі (табл. 3.20).

Координаційний інтервал визначають за формулою (3.141). Якщо умова не виконується, то необхідно вибрати ОПН із меншим значенням  $U_{нд}$ .

$$U_{исп} = 80 \text{ кВ (табл. 3.19).}$$

$$U_{ост} = 42,8 \text{ кВ – для ОПН – РС – (} U_{нд} = 12,7 \text{ кВ).}$$

$$U_{ост} = 33 \text{ кВ – для ОПН – КС – (} U_{нд} = 10,5 \text{ кВ).}$$

$A_{гр}$  (для ОПН – РС) =  $(80 - 42,8) / 42,8 = 0,87 > (0,2 \dots 0,25)$  – умова виконується.

$A_{гр}$  (для ОПН – КС) =  $(80 - 33) / 33 = 1,42 > (0,2 \dots 0,25)$  – умова виконується.

Обмежувач повинен забезпечити захисний координаційний інтервал за внутрішніми перенапругами  $A_{вн}$ :

$$A_{вн} = (U_{доп} - U_{ост}) / U_{ост} > (0,15 - 0,25), \quad (3.142)$$

де  $U_{доп}$  – допустимий рівень внутрішніх перенапруг;  $U_{ост}$  – напруга, що залишається на ОПН при комутаційному імпульсі.

Для захисту силового трансформатора  $U_{доп} = 57,9$  кВ (табл. 3.21),  $U_{ном} = 10$  кВ).

Для захисту трансформатора напруги  $U_{доп} = 39,7$  кВ (табл. 3.22),  $U_{ном} = 10$  кВ).

### 3.19. Нормовані випробувальні напруги грозових імпульсів електроустаткування з нормальною ізоляцією (максимальна напруга)

Клас напруги електрообладнання, кВ	Випробувальна напруга внутрішньої ізоляції, кВ								
	Повний імпульс					Зрізаний імпульс			
	Силові трансформатори	Шунтувальні реактори	Електромагнітні трансформатори напруги, струмообмежувальні і дугогасні реактори	Трансформатори струму та апарати	Конденсатори зв'язку	Силові трансформатори	Шунтувальні реактори	Електромагнітні трансформатори напруги, трансформатори струму, струмообмежувальні і дугогасні реактори, апарати	Конденсатори зв'язку
3	44	44	44	42	–	50	50	50	–
6	60	60	60	57	–	70	70	70	–
10	80	80	80	75	–	90	90	90	–
15	108	108	108	100	–	120	120	120	–
20	130	130	130	120	–	150	150	150	–
24	150	–	150	140	–	170	–	170	–
27	170	–	170	160	–	195	–	200	–
35	200	200	200	185	195	225	225	230	240

3.20. Залишкова напруга на ОПН при номінальному розрядному струмі

Тип ОПН	Клас напруги, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Залишкова напруга при номінальному розрядному струмі, кВ
ОПН – РС	6	7,6	25,7
	10	12,7	42,8
	6	6,0	19,3
		6,6	21,0
		6,9	22,0
		10,5	34,0
ОПН – КР	6	6,0	19,3
		6,6	21,0
		6,9	22,0
	10	10,5	34,0
		11,5	37,0
		12,0	18,5
ОПН – КС	6	6,0	21,5
		6,9	33,0
	10	10,5	35,8
		11,5	18,5
ОПН – Т	6	6,0	21,5
		6,9	23,6
		7,6	33,0
	10	10,5	35,8
		11,5	97,0
ОПН – У	27	30,0	107,0
		33,0	122,0
	35	38,5	128,0
		40,5	133,0
		42,0	

3.21. Допустимі кратності внутрішніх перенапруг для електроустаткування 6 – 35 кВ з нормальною ізоляцією

$U_{ном}$ , кВ	6	10	15	20	35
$U_{н.роб.}$ , кВ	7,2	12	17,5	23	40,5
$U_{исп}$ , кВ	25	35	45	55	85
$U_{доп}$ , кВ	41,5	57,9	74,5	91	140,6
$K_{доп}$	7,0	5,9	5,2	4,6	4,3

$U_{ост} = 42,8$  кВ – для ОПН–РС – ( $U_{нд} = 12,7$  кВ).

$U_{ост} = 33$  кВ – для ОПН–КС – ( $U_{нд} = 10,5$  кВ).

Тоді:

$A_{вн}$  (для ОПН – РС) =  $(57,9 - 42,8) / 42,8 = 0,35 > (0,15 \dots 0,25)$  – умова виконується.

$A_{вн}$  (для ОПН – КС) =  $(39,7 - 33) / 33 = 0,20 > (0,15 \dots 0,25)$  – умова виконується.

### 3.22. Допустимі кратності внутрішніх перенапруг для електроустановок 6 – 35 кВ з полегшеною ізоляцією

$U_{ном}$ , кВ	6	10	15	20
$U_{н.роб.}$ , кВ	7,2	12	17,5	23
$U_{исп}$ , кВ	16	24	37	50
$U_{доп}$ , кВ	26,5	39,7	61,2	82,7
$K_{доп}$	4,5	4,1	4,3	4,2

Умова вибухонебезпечності ОПН:

$$I_{к3}^{(3)} < I_{вз.без} = I_{ном}. \quad (3.143)$$

Для ОПН – РС –  $I_{ном} = 5$  кА, ОПН–КС –  $I_{ном} = 10$  кА.

*Вибір трансформаторів струму.*

Трансформатори струму вибирають за умовами:

Номинальна напруга, кВ  $U_{HT} > U_H$

Номинальний первинний струм, А  $I_{HI} > I_{P.MAX}$

Номинальний вторинний струм, кА  $I_{H2} = 5A$

Клас точності (\*)

Номинальна вторинна потужність  $S_{H2} > S_2$

Кратність струму:

термічної стійкості  $K_T = \frac{I_t}{I_{HI}} \quad (K_T \cdot I_{HI})^2 > (I_{к3}^{(3)})^2 \cdot t_k$

динамічної стійкості  $K_D = \frac{I_{макс}}{(\sqrt{2})} \cdot I_{HI} \quad \sqrt{2} \cdot I_{HI} \cdot K_D > i_{уд}$

(\*) – відповідно до приєднувальних приладів;  $I_t$  – струм термічної стійкості трансформаторів струму, А;  $I_{макс}$  – струм динамічної стійкості трансформаторів струму, А.

Для вибору трансформаторів струму визначають максимальний робочий струм для вводу і кожної лінії 10 кВ за формулою:

$$I_{P.MAKC} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (3.144)$$

де  $S_p$  – розрахункова потужність лінії 10 кВ, кВА.

$$S_p = \frac{P_{MAX}}{\cos \varphi}, \quad (3.145)$$

де  $P_{MAX}$  – максимальна активна потужність лінії 10 кВ (найбільша з розрахункових навантажень денного  $P_d$  чи вечірнього  $P_v$  максимумів).

Розрахункові потужності та струми ліній 10 кВ зводимо в табл. 3.23.

### 3.23. Розрахункові струми та потужності головних ділянок ліній та вводу напругою 10 кВ

Параметр	Ввід 10 кВ	Лінія1	Лінія2	Лінія 3
$P_{MAX}$ , кВт				
$S_p$ , кВА				
$I_{P.MAKC}$ , А				

Паспортні дані вибраних трансформаторів струму зводимо в табл. 3.24.

### 3.24. Паспортні дані вибраних трансформаторів струму

Параметр	Ввід 10 кВ	Лінія 1	Лінія 2	Лінія3
Номінальна напруга, кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
Номінальний первинний струм, А				
Клас точності	0,5/P	0,5/P	0,5/P	0,5/P
Кратність струму: термічної стійкості динамічної стійкості				
Марка трансформатора струму				

Перевірку трансформаторів струму на необхідний клас точності виконують для найбільш навантаженої фази у вторинній обмотці. За розрахункову фазу рекомендується приймати фазу “А” (табл. 3.25.).

Опір з’єднувальних проводів у фазі визначають за формулою:

$$R_{ПРОВ} = \frac{S_{H2} - (\sum S_H + I_{H2} \cdot R_K)}{I_{H2}^2}, \quad (3.146)$$

де  $R_K$  – опір контактів, Ом;  $R_K = 0,1$  Ом;  $I_{H2}$  – номінальний вторинний струм, А;  $I_{H2} = 5$  А;  $\sum S_H$  – сумарна потужність послідовно ввімкнених



приладів (лічильника та амперметра), ВА;  $S_{H2}$  – номінальне навантаження трансформаторів струму, ВА.

### 3.25. Дані приладів та навантаження вторинних обмоток трансформаторів струму

Назва приладу	Тип трансформатора струму	Кількість	Фаза "А"		Фаза "С"	
			Ом	ВА	Ом	ВА
Лічильник активної і реактивної енергій	FINTRONIC ФПН – 2306	1	0,031	0,245	0,031	0,245
Амперметр	Э 30	1	0,07	1,75	–	–
Всього		2	0,101	1,995	0,031	0,245

Необхідний переріз ( $\text{мм}^2$ ) приєднувальних проводів визначають за формулою:

$$F_{\text{ПРОВ}} = \frac{\rho \cdot L}{R_{\text{ПРОВ}}}, \quad (3.147)$$

де  $\rho$  – питомий опір металу приєднувальних проводів,  $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ;  $L$  – розрахункова довжина проводів, м.

Довжину приєднувальних проводів рекомендується приймати 3 м.

За результатами розрахунку необхідно прийняти близький стандартний переріз, але не менше  $2,5 \text{ мм}^2$  для мідних провідників і  $4,0 \text{ мм}^2$  для алюмінієвих.

*Вибір трансформаторів напруги.* Для живлення кола напруги вимірювальних приладів, а також для контролю ізоляції в РП-10 кВ встановлюють трансформатори напруги (табл. 3.26).

Трансформатори напруги вибирають за такими умовами:

- номінальною напругою  $U_{HT} \geq U_H$ ;
- номінальною вторинною потужністю  $S_{H2} > S_2$ ;
- класом точності (клас точності при розрахунковому навантаженні повинен відповідати найвищому класу точності приєднувальних приладів).

### 3.26. Параметри електричного навантаження

Назва і тип приладу	Кількість	P, Вт	Q, Вар
Лічильник активної / реактивної енергій – FINTRONIC ФПН – 2306	1	23	53,7
Вольтметр	2	12	–
Всього	3	35	53,7

Вторинне навантаження  $S_2$  (ВА) знаходять за формулою:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3.148)$$

де  $P$ ,  $Q$  – відповідно активна і реактивна потужності приладів, приєднаних до вторинної обмотки трансформатора напруги, Вт; Вар.

*Вибір трансформаторів власних потреб.* На районній трансформаторній підстанції трансформатори власних потреб (ТВП) використовуються для живлення: засобів освітлення; приладів обігрівання (приміщення чергових, розподільні пристрої закритого типу, прилади); приводів вимикачів; блоків живлення кіл релейного захисту та автоматики; систем обдування радіаторів силових трансформаторів; компресорів (за наявності повітряних вимикачів) та ін.

Кількість трансформаторів власних потреб, що встановлюють на РТП сільського призначення, відповідає кількості силових трансформаторів (або кількості секцій шин РП-10 кВ). Розрахункове навантаження ТВП знаходять за виразом:

$$S_{ТВП} = 0,1 \cdot S_{\Sigma H}, \quad (3.149)$$

де  $S_{\Sigma H}$  – сумарна номінальна потужність силових трансформаторів на РТП.

Загальна потужність споживачів власних потреб першої черги забезпечення електроживленням (за умов надійності) становить:

$$S_{ТВП} = 0,6 \cdot S_{ТВП}. \quad (3.150)$$

За величиною  $S_{ТВП}$  здійснюють вибір потужності кожного із силових трансформаторів власних потреб. При цьому, повинна виконуватись умова:

$$S_{ТВП} \leq S_{НОМ.ТВП}, \quad (3.151)$$

де  $S_{НОМ.ТВП}$  – номінальна потужність одного силового трансформатора власних потреб РТП.

### **3.9.4.9.2. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 35 (110) кВ**

Вибір включає обґрунтування електричних шин, вимикачів, та роз'єднувачів.

*Розрахунок та вибір електричних шин РП-35(110) кВ.* Шини в розподільних пристроях 35 чи 110 кВ вибирають круглого перерізу за умовами, аналогічними вибору шин РП-10 кВ.

При виборі електричних шин потрібно визначити робочий максимальний струм за виразом:

$$I_{P.МАКС} = \frac{1,4 \cdot (S_{H1} + S_{H2})}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (3.152)$$

де  $S_{H1}, S_{H2}$  – номінальні потужності силових трансформаторів, кВА.

*Вибір вимикачів РП- 35(110) кВ.* Вибір вимикачів виконується за умовами табл. 3.17. У РП-35(110) кВ можуть встановлюватись вакуумні або елегазові вимикачі [13, 23].

*Вибір роз'єднувачів РП-35(110) кВ.* Роз'єднувачі вибирають за такими умовами:

1. Номінальна напруга:

$$U_{H.P} > U_{УСТАН},$$

де  $U_{H.P}$  – номінальна напруга роз'єднувача, кВ;  $U_{УСТАН}$  – номінальна напруга установки, кВ.

2. Номінальний струм:

$$I_{H.P} > I_{P.МАКС},$$

де  $I_{H.P}$  – номінальний робочий струм.

3. Струм динамічної стійкості:

$$i_{МАХ} > i_{УД}.$$

4. Струм термічної стійкості:

$$I_{ТН}^2 t > (I_{K3}^3)^2 \cdot t_k.$$

Результати вибору роз'єднувачів необхідно записати у табл. 3.27.

3.27. Дані вибору та перевірки роз'єднувачів

Роз'єднувач	Розрахункові дані				Каталожні дані			
	$U_{P.МАКС}$ , кВ	$I_{P.МАКС}$ , А	$i_{уд}$ , кА	$(I_{K3}^3)^2 \cdot t_k$ , кА	$U_H$ , кВ	$I_H$ , А	$i_{уд}$ , кА	$I_{ТН}^2 t$ , кА

Вибір обмежувачів перенапруги для РП-35(110) кВ виконується за аналогічними умовами, що і для РП-10 кВ.

### 3.9.4.10. Розрахунок релейного захисту повітряної лінії 10 кВ

Для захисту повітряної лінії 10 кВ використовують максимальний струмовий захист (МСЗ).

У мережах напругою 10 кВ максимальний струмовий захист виконується у двофазному варіанті (трансформатори струму

встановлюються в двох фазах), тому можуть бути використані схеми з'єднання трансформаторів струму у неповну зірку або на різницю струмів двох фаз.

Розрахунок струму спрацювання МСЗ здійснюється за наступним виразом:

$$I_{C3} = \frac{K_H \cdot K_{C3.D.}}{K_B} \cdot I_{P.MAKC}, \quad (3.153)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт надійності (враховує нестабільність характеристик або "розкидання" точок характеристик);  $K_{C3.D.}$  – коефіцієнт, що враховує самозапуск електричних двигунів (для сільських мереж – 2,0);  $K_B$  – коефіцієнт повернення (вибирається для обраного релейного захисту);  $I_{P.MAKC}$  – робочий максимальний струм, А.

Робочий максимальний струм визначається на основі порівняння навантаження денного та вечірнього максимумів:

$$I_{P.MAKC} = \frac{P_D(P_{BEC})}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (3.154)$$

де  $U_{НОМ}$  – номінальна напруга мережі, 10 кВ.

Струм спрацювання реле визначається за формулою:

$$I_{C.P.} = \frac{I_{C3.}}{n_{T.T.}} \cdot K_{C.X.} \quad (3.155)$$

де  $K_{C.X.}$  – коефіцієнт схеми (при з'єднанні трансформаторів струму в неповну зірку  $K_{C.X.}=1,0$ , а у випадку з'єднання на різницю струмів двох фаз  $K_{C.X.}=3,0$ );  $n_{T.T.}$  – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Для захисту розгалуженої лінії 10 кВ, враховуючи дискретність уставок струму спрацювання обраного релейного захисту, необхідно вибрати найближче більше значення струму уставки  $I_{УСТ}$ .

Після вибору струму уставки реле необхідно визначити уточнене значення струму спрацювання захисту:

$$I'_{C3.} = \frac{I_{УСТ} \cdot n_{T.T.}}{K_{C.X.}} \quad (3.156)$$

Узгодження МСЗ лінії 10 кВ з роботою запобіжників споживчих ТП. Захист споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ на стороні напруги 10 кВ здійснюється запобіжниками ПКТ–10. Номінальний струм плавкої вставки запобіжників вибирається в залежності від потужності силового трансформатора ТП 10/0,4 кВ.

Для визначення часу спрацювання МСЗ лінії 10 кВ та погодження її з часом спрацювання запобіжників ТП 10/0,4 кВ необхідно побудувати карту узгодження захисту мережі, на якій по

осі абсцис відкладають струм короткого замикання, а по осі ординат – час спрацювання захисту (рис.3.12).

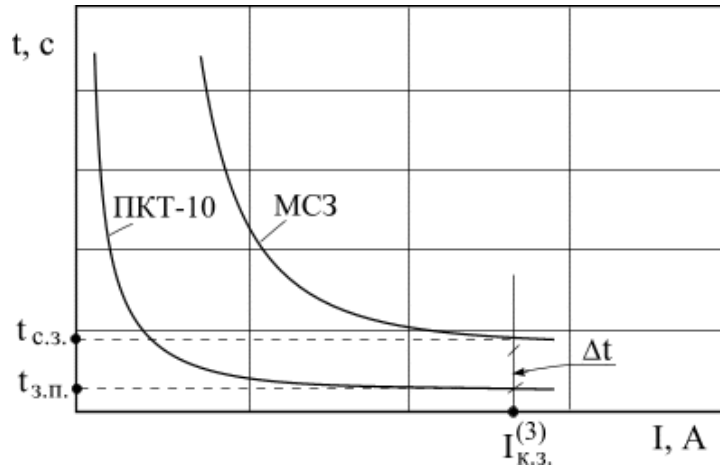


Рис. 3.12. Карта узгодження часу спрацювання МСЗ та запобіжників споживчої ТП-10/0,4 кВ

Після побудови захисної характеристики запобіжника через точку, яка відповідає струму короткого замикання на шинах 10 кВ ТП 10/0,4 кВ, проводять паралельну осі ординат (вертикальну) пряму. Перетин цієї прямої із захисною характеристикою запобіжника визначає час його спрацювання  $t_{з.п.}$ .

Побудова часо-струмової характеристики обраного МСЗ здійснюється за методиками, що наведені в електронному додатку. Точка часу  $t_{с.з.}$  спрацювання максимального струмового захисту лінії 10 кВ повинна бути розташована на вищезазначеній вертикальній прямій не нижче рівня  $t = t_{з.п.} + \Delta t$  ( $\Delta t$  – ступінь селективності).

Для прискорення дії захисту ліній максимальний струмовий захист може доповнюватися *струмовою відсічкою*, яку використовують для негайного вимикання пошкодженої ділянки при короткому замиканні в певній зоні. Щоб забезпечити вибірність захисту (відстроювання за струмом  $\Delta I$  від захисту наступної ділянки), беруть відповідний коефіцієнт надійності  $k_H$ .

Селективність струмової відсічки забезпечується відповідним вибором струму його спрацювання:

$$I_{св} \geq k_H I_{кз\max}^{(3)}, \quad (3.157)$$

де  $k_H$ —коефіцієнт надійності (вибирається із паспортних даних реле);  $I_{кз\max}^{(3)}$ —максимальний струм трифазного короткого замикання в місці встановлення більш віддаленого від джерела живлення комплексу захисту.

Для відстроювання струмової відсічки від кидка намагнічуючих струмів споживчих трансформаторів необхідно задовольнити умову:

$$I_{CB} \geq 0.25 \Sigma S_{уст}, \quad (3.158)$$

де  $\Sigma S_{уст}$  – сумарна встановлена потужність трансформаторів 10/0,4 кВ, приєднаних до лінії, що захищається. Струм спрацювання реле струмової відсічки:

$$I_{C.PB} \geq \frac{k_{CX}}{k_{TP}} I_{CB}, \quad (3.159)$$

де  $I_{CB}$  – більша із величин за умовами (3.157) і (3.158).

За значенням  $I_{C.PB}$  вибирають згідно з паспортними даними реле струмової відсічки,  $I_{уст}$ .

Уточнений первинний струм відсічки (струм спрацювання захисту):

$$I_{C.ЗВ} = \frac{k_{TP}}{k_{CX}} I_{уст}. \quad (3.160)$$

Коефіцієнт чутливості відсічки з умовою доцільності її застосування:

$$k_{чВ} = \frac{I_{КЗmin}}{I_{C.ЗВ}} \geq 2, \quad (3.161)$$

де  $I_{КЗmin}$  – мінімальний струм короткого замикання на початку лінії (в місці встановлення захисту).

Застосування струмової відсічки доцільне, якщо зона її дії охоплює не менше 10...15 % довжини лінії, що захищається. Струмова відсічка, як правило, не захищає всю довжину лінії і тому не може бути її основним захистом.

## РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

### 4.1. Вимоги до спеціального завдання дипломного проєкту

У четвертому розділі «Спеціальне завдання» виконується детальна розробка одного із завдань, які вирішувались у дипломному проєкті, та наводиться її техніко-економічне обґрунтування. Для поглибленого опрацювання в цьому розділі можуть бути розглянуті такі запитання:

- забезпечення надійності електропостачання та оцінювання збитків від перерв у постачанні електроенергії;
- дослідження якості електроенергії в системі електропостачання підприємства й розробка заходів, що забезпечують нормовану якість електроенергії;
- облік і нормування електроспоживання. Економія енергоресурсів на промисловому підприємстві;
- зниження втрат електроенергії та розробка методів і засобів щодо її раціонального використання;
- компенсація реактивної потужності;
- неповнофазні режими в електромережі та їх вплив на роботу електродвигунів;
- дослідження енергетичних показників нових типів електроустаткування та розробка способів і засобів їх підвищення;
  - розробка автоматизованої системи обліку й моніторингу якості електричної енергії;
  - розробка комплексу приладового забезпечення робіт із технічного обслуговування і поточного ремонту електроприводів;
  - розробка вузла енергоживлення тваринницької ферми з використанням нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії;
  - розробка засобів технічного діагностування електрообладнання;
  - розробка приладового комплексу для енергетичного аудиту та моніторингу якості електричної енергії.

До переліку можуть бути включені також інші питання, пов'язані із науково-дослідною роботою кафедри або визначені керівником дипломного проєктування.

## 4.2. Розрахунок ефективності енергоощадних заходів

Якщо спеціальним завданням дипломного проекту є розробка енергоощадних заходів на об'єкті проектування, слід виконати розрахунок їх економічної ефективності, яка відображає результати впровадження енергоощадних заходів і визначається різницею між доходами й витратами, пов'язаними із реалізацією заходів, а також відображає зміну величини попиту на паливно-енергетичні ресурси в результаті заміни більш дорогих їх видів менш дорогими.

Оцінка ефективності використання засобів, спрямованих на реалізацію енергоощадних заходів, проводиться на основі такої системи показників:

- простий строк окупності ( $T_n$ ) – не більше 5 років;
- динамічний строк окупності ( $T_d$ ) – не більше 8 років;
- чистий дисконтований дохід ( $ДД$ ) – більше 0;
- внутрішня норма доходності ( $E_{вн}$ ) – більше  $E$  – нормативної ставки дисконтування;
- індекс прибутковості ( $Пі$ ) – більше 1,0.

*Простий строк окупності капітальних вкладень* застосовується для попереднього оцінювання енергоощадного заходу на стадії складання техніко-економічного обґрунтування (пропозиції) реалізації енергоощадного заходу:

$$T_n = E \text{ річн} / I, \quad (4.1)$$

де  $E \text{ річн}$  – річна економія паливно-енергетичних ресурсів, отримана від реалізації енергоощадного заходу (у грошовому виразі);  $I$  – капітальні вкладення (інвестиції) в реалізацію енергоощадного заходу (з усіх можливих джерел фінансування).

Капітальні вкладення в реалізацію енергоощадних заходів включають обсяги витрат на розроблення бізнес-плану або техніко-економічного обґрунтування заходу, вартість проектно-вишукувальних робіт, основного й допоміжного обладнання, будівельно-монтажних і пусконаладжувальних робіт. Розрахунок капітальних вкладень і річної економії виконується відповідно до методичних рекомендацій щодо складання техніко-економічних обґрунтувань для енергоощадних заходів, розроблених Держкоменергозбереження України (нині Держенергоефективності України).

На основі розрахунку чистого дисконтованого доходу ( $ДД$ ), внутрішньої норми доходності ( $E_{вн}$ ) та індексу прибутковості ( $Пі$ ) проводиться оцінювання і порівняння різних енергоощадних заходів



та прийняття рішення про фінансування певного енергоощадного заходу. Чистий дисконтований дохід (ДД), внутрішня норма дохідності (Ен) та індекс прибутковості (Пі) відносяться до показників, що включають вартість грошей з урахуванням доходів майбутнього періоду.

Чистий дисконтований дохід (перевищення доходу над затратами наростаючим підсумком за розрахунковий період (Трозр.) з урахуванням дисконтування) розраховується за формулою

$$ДД = \sum_{t=0}^{T-t} (D_t - Z_t - I_t)(1+E), \quad (4.2)$$

де  $D_t$  – грошові надходження(виручка, дивіденди та ін.) від реалізації енергоощадного заходу в  $t$ -му році;  $Z_t$  – експлуатаційні витрати на реалізацію енергоощадного заходу та інші платежі (податки, мито тощо) в  $t$ -му році;  $I_t$  – інвестиції (капітальні вкладення) в  $t$ -му році;  $T$  – період, протягом якого здійснюються інвестиції та експлуатація обладнання, а також отримується дохід від реалізації енергоощадного заходу, років;  $E$  – ставка дисконтування, що враховує ставку рефінансування Національного банку України або фактичну ставку відсотка за довгостроковими кредитами банку, індекс цін (у необхідних випадках може враховуватися надбавка за ризик, яка додається до ставки дисконтування для безризикових вкладень) і приймається для розрахунків рівною 10 % або  $E_n = 0,1$ .

Додатне значення чистого дисконтованого доходу свідчить про економічну доцільність реалізації енергоощадного заходу.

**Примітка.** За рік здійснення первинних капітальних вкладень ( $t=0$ ) чистий дисконтований дохід дорівнює  $-I_0$ .

Внутрішня норма дохідності (Евн) (значення ставки дисконтування, за якої чистий дисконтований дохід дорівнює нулю) знаходиться шляхом розв'язання рівняння:

$$\sum_{t=0}^{T-t} (D_t - Z_t)(1 + E_{вн}) = \sum_{t=0}^{T-t} I_t(1 + E_{вн}). \quad (4.3)$$

Коли розрахована внутрішня норма дохідності виявляється вищою нормативної ставки дисконтування 0,1 енергоощадний захід є економічно ефективним. За необхідності вибору енергоощадного заходу із кількох більш ефективним є захід із більш високою внутрішньою нормою дохідності (Евн).

Індекс прибутковості ( $\Pi_i$ ) визначається як відношення різниці доходу й затрат за реалізації енергоощадного заходу до величини капітальних вкладень (наростаючим підсумком за розрахунковий період):

$$\Pi_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-t} (D_t - Z_t)(1+E)}{I_0 + \sum_{t=1}^{T-t} I_t(1+E)} \quad (4.4)$$

Індекс прибутковості тісно пов'язаний із чистим дисконтованим доходом. Коли дохід додатній,  $\Pi_i > 1$ , і навпаки. Енергоощадний захід вважається економічно ефективним, якщо  $\Pi_i > 1$ .

За необхідності вибору енергоощадного заходу із кількох більш ефективним є захід із більш високим індексом прибутковості.

Оцінювання ефективності реалізованого енергоощадного заходу здійснюється за наведеними вище формулами на основі фактичних даних капітальних вкладень, експлуатаційних витрат і грошових надходжень (бухгалтерський облік, статистична звітність) станом на останній день року, що передує року проведення оцінювання енергоощадного заходу.

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Одним із дійових заходів, що сприяють поліпшенню технічного стану та надійності енергетичного обладнання є підвищення рівня його експлуатації. Цього можна досягти шляхом впровадження системи планово-запобіжного ремонту і технічного обслуговування, що поєднує в собі комплекс організаційно-технічних заходів з планування, підготовки, організації, проведення, контролю та обліку технологічних операцій, які забезпечують ефективну, безвідмовну та безпечну роботу обладнання. Однією з умов при цьому є зведення до мінімуму експлуатаційних витрат.

Система планово-запобіжного ремонту і технічного обслуговування електрообладнання сільськогосподарських підприємств (Система ПЗР і ТО) передбачає *виконання технічного обслуговування з періодичним контролем*, при якому контроль технічного стану електрообладнання встановлюється з періодичністю і в обсягах, встановлених Системою, а обсяг інших операцій визначається технічним станом виробу на початку обслуговування.

За складом технічне обслуговування включає:

- контроль з метою прогнозування технічного стану електрообладнання;
- перевірку працездатності обладнання;
- регулювання і настроювання окремих вузлів та елементів;
- заміну зношених деталей.

Система передбачає *плановий ремонт*, при якому контроль технічного стану виконується з періодичністю і в обсязі, нею встановленими, а обсяг і момент початку ремонту визначаються технічним станом виробу.

Система ПЗР і ТО [23]. електрообладнання сільськогосподарських підприємств має сприяти вирішенню таких основних завдань:

- підвищенню експлуатаційної надійності обладнання;
- забезпеченню безперебійного електропостачання сільськогосподарських споживачів при дотриманні вимог щодо якості електричної енергії;
- створенню належних умов функціонування обладнання;
- економії енергоресурсів і енергоносіїв;
- раціональному використанню матеріалів і запасних частин;

- обґрунтуванню і розподілу функцій підрозділів і персоналу;
- підвищенню продуктивності праці персоналу енергетичних служб;
- скороченню простоїв технологічного обладнання за рахунок вдосконалення ТО і ремонту;
- запобіганню передчасному зношуванню основних фондів;
- забезпеченню виконання вимог Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів [19] і Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та відомчих нормативних матеріалів;
- оцінці та аналізу технічного стану обладнання;
- поліпшенню ремонтно-обслуговуючої бази енергетичних (електротехнічних) служб та забезпеченню їх матеріалами і запасними частинами;
- впровадженню прогресивних форм проведення ТО і ремонтів;
- підвищенню рівня кваліфікації персоналу енергетичних (електротехнічних) служб;
- виробленню прогресивних форм оплати праці;
- впровадженню уніфікованих і змістовних форм технічної документації (зокрема із застосуванням ПЕОМ).

### **5.1. Розрахунок обсягу робіт з обслуговування енергетичного обладнання в умовних одиницях**

На сільськогосподарських підприємствах склалася широка номенклатура енергетичного обладнання різного за призначенням, будовою, вимогами до монтажу та експлуатації [11, 24].

Це суттєво ускладнює вирішення питань з планування і контролю кількості персоналу енергетичних (електротехнічних) служб і, зокрема інженерно-технічних працівників.

З метою спрощення розрахунків конкретне фізичне обладнання переводиться в умовні одиниці із застосуванням перевідних коефіцієнтів, які містяться в *укрупнених нормативах трудомісткості технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання*.

В основу розробки укрупнених нормативів покладені затверджені документи “Технічне обслуговування і поточний ремонт теплотехнічного обладнання агропромислового комплексу (нормативи трудомісткості)” (1987р.) та “Система планово-запобіжного ремонту і технічного обслуговування електрообладнання сільськогосподарських підприємств” (1987 р.), які містять номенклатуру електро- і теплотехнічного обладнання, що використовується в

сільськогосподарському секторі АПК та річні обсяги затрат праці на його ремонт і технічне обслуговування.

Числове значення 1 ум. од. становить 18,6 люд.-год.

Кількість виробничого ремонтно-обслуговуючого персоналу (електриків і теплотехніків) визначається за сумарною для даного господарства кількістю умовних одиниць електро- або теплотехнічного обладнання, що знаходиться в експлуатації, виходячи з навантаження 100 ум. од. на 1 особу.

За відсутності в даних нормативах деяких найменувань енергетичного обладнання, що експлуатується на місцях, кількість умовних одиниць, що припадає на нього, може бути прийнята за нормативами обладнання, що збігається з ним за призначенням та основними технічними показниками.

У випадку впровадження нової техніки за регламентацію затрат праці на обслуговування ремонт відповідальність несуть організація-розробник та головне підприємство-виробник.

Розрахунок обсягу робіт з обслуговування енергетичного обладнання з використанням системи умовних одиниць проводиться на основі результатів його інвентаризації (журналів і карт обліку, карти експлуатації).

Для оформлення розрахунків є найбільш доцільною таблична форма (табл. 5.1, 5.2) із структуруванням таблиць за окремими виробничими приміщеннями, що відповідає структурі журналів обліку або картотеки керівника енергетичної (електротехнічної) служби.

### 5.1. Теплотехнічне обладнання

Виробничий підрозділ, виробниче приміщення, обладнання	Кількість обладнання	Перевідний коеф.	Кількість ум. од.
Котельне обладнання або котельно-допоміжне, або інше і теплові мережі			

### 5.2. Електротехнічне обладнання

Виробн. підрозділ, приміщення, обладнання	К-сть обл.	Перевідний коеф.	Поправочні коефіцієнти стосовно тривалості роботи обладнання		К-сть ум. од.	
			менше 4 місяців протягом року	ел. двигуни		
				до 6 год/добу		понад 10 год/добу

Значення поправочних коефіцієнтів приймається: 0,7 – для електрообладнання, яке працює менше 4 місяців протягом року; 0,85 – для електродвигунів, які працюють менше 6 год на добу; 1,2 – для електродвигунів, які працюють понад 10 год на добу.

У дипломному проекті бакалавра належить виконати розрахунок обсягу робіт в умовних одиницях з обслуговування енергетичного обладнання, наявного на виробничому об'єкті, який в ній розглядається. Коефіцієнти переведення теплотехнічного обладнання в умовні одиниці наведені в довідковій літературі.

При визначенні кількості ІТП для обліку розосередженого по території підприємства електрообладнання сумарні трудозатрати в умовних одиницях необхідно помножити на коефіцієнт 1,15.

## 5.2. Розрахунок річних затрат праці на проведення технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання

Річні затрати праці на проведення технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) енергетичного обладнання відповідно до рекомендацій, які викладені в [11], визначаються згідно з нормативними значеннями періодичності і трудомісткості технічного обслуговування та поточного ремонту по кожному виду обладнання. У зв'язку з цим кількість планових ТО і ПР на один рік визначається, виходячи із встановленої Системою ПЗР і ТО періодичності, потім коригується з урахуванням сезонного використання обладнання, а для електродвигунів – і тривалості роботи протягом зміни. Трудомісткість сезонних (на початку і в кінці сезону) технічних обслуговувань приймається на 15% вищою, ніж при звичайних обслуговуваннях.

Нормативні значення періодичності та трудомісткості ТО і ПР для основних видів електрообладнання наведені в довідковій літературі.

Для розрахунку річних затрат праці  $Q_{ТО}$  і  $Q_{ПР}$ , [люд.-год./рік], можна записати у такому вигляді:

$$Q_{ТО} = n_1 \cdot q_1 \cdot m_1 + n_2 \cdot q_2 \cdot m_2 + \dots + n_n \cdot q_n \cdot m_n \quad (5.1)$$

$$Q_{ПР} = n'_1 \cdot q'_1 \cdot m'_1 + n'_2 \cdot q'_2 \cdot m'_2 + \dots + n'_n \cdot q'_n \cdot m'_n \quad (5.2)$$

де  $q_1 \dots q_n$  і  $q'_1 \dots q'_n$  – нормативні значення трудомісткості ТО і ПР для і-го виду обладнання;  $n_1 \dots n_n$  – кількість і-го виду обладнання;  $m_1 \dots m_n$  і  $m'_1 \dots m'_n$  – планова кількість ТО і ПР і-го виду обладнання протягом одного року експлуатації.

$$Q_{ЗАГ} = Q_{ТО} + Q_{ПР} \quad (5.3)$$

Отримане розрахункове значення річних затрат праці для виконання ТО та ПР енергетичного обладнання  $Q_{ЗАГ}$  [люд.-год./рік], використовується для визначення нормативної кількості персоналу енергетичної служби і, зокрема кількості електромонтерів.

На основі Системи ПЗР і ТО доцільно виконати розрахунок річних затрат праці в табличному вигляді (табл. 5.3). У зв'язку з цим необхідно зберегти прийнятий порядок розгляду окремих груп обладнання у виробничих приміщеннях (табл. 5.2.).

Оскільки періодичність проведення профілактичних заходів встановлюється Системою ПЗР та ТО залежно від характеристики приміщення або місця встановлення обладнання стосовно умов навколишнього середовища, то доцільно віднести кожне приміщення до відповідної категорії і ввести її в табл. 5.3. Після цього визначити конкретні значення річної кількості планових ТО та ПР (за встановленою періодичністю) та їх трудомісткість.

Річні затрати праці розраховуються за наведеними вище формулами (5.1 і 5.2) для значень  $Q_{ТО}$  і  $Q_{ПР}$ .

Значення річних затрат праці, які отримані розрахунком, є наближеними, оскільки вони не враховують відхилень від нормативних значень трудомісткості ТО і ПР кожної конкретної одиниці обладнання, що обумовлені конструктивними особливостями, якістю монтажу, наявністю захисту від впливу навколишнього середовища. Поряд з цим розрахунок виконується за умови, що кожен електромонтер (слюсар) працює протягом зміни з нормованою продуктивністю, що досить часто не відповідає дійсності.

Ці обставини пропонують враховувати під час розрахунку гарантованої кількості електромонтерів, які забезпечують виконання робіт у максимальному обсязі в найважчих умовах, шляхом застосування коефіцієнтів варіації обсягу робіт та продуктивності праці виконавців [24].

У дипломному проєкті бакалавра належить виконати розрахунок річних затрат праці на проведення технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання, наявного на виробничому об'єкті, який в ній розглядається.

### **5.3 Розрахунок кількості електромонтерів для обслуговування електротехнічного обладнання**

Загальна кількість електромонтерів  $N_{ЕЛ.МОНТ.ЗАГ}$  визначається за формулою:

$$N_{ЕЛ.МОНТ.ЗАГ} = A_{ЗАГ} / 100, \quad (5.4)$$

5.3. Розрахунок річних затрат праці на виконання технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПО) енергетичного обладнання

Приміщення, обладнання	Інвентарний номер	Характеристики обладнання			Кількість, шт.(для електропроводки, довжина, м)	Категорія приміщення за умовами навколишнього середовища	Трудомісткість виконання, люд.-год,		Кількість профілактичних заходів протягом року		Річні заходи на виконання, люд.-год/рік	
		Тип	$P_{ном}$ , кВт; або $I_{ном}$ , А	$p_{ном}$ , об/хв; або V, л; Q, люд.-год			ТО	ПР	ТО	ПР	ТО	ПР
Корівник №1 Електропривод гноєзбирального транспортера ТСН-3,0Б	11	4А	2,2	3000	2	ОВХ ОВХ	0,4	4,1	3	1	2,4	8,2
		4А	5	1500	2		0,5	4,8	3	1	3,0	9,6
<b>ВСЬОГО</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>х</b>	<b>5,4</b>	<b>17,8</b>



де  $A_{ЗАГ}$  – обсяг робіт з обслуговування електрообладнання в умовних одиницях (табл. 5.1); 100 – середньорічне виробниче навантаження на одного електромонтера, ум.од.

Стосовно окремих сільськогосподарських підприємств можуть застосовуватися нормативи середньорічного виробничого навантаження на одного електромонтера, наведені у табл. 5.4.

#### 5.4. Нормативи середньорічного виробничого навантаження на одного електромонтера

С/г підприємства	Норма навантаження, ум. од.
Птахофабрики	150
Великі тваринницькі комплекси ВРХ	120
Господарства зернового та овочевого напрямку, які мають ферми до 200 голів ВРХ	80

В умовах сільськогосподарського підприємства вводиться спеціалізація електромонтерів – створюються групи експлуатації електрообладнання (чергові електромонтери  $N_{ЕЛ.М.ЧЕРГ.}$ ) та група з виконання ТО і ПР електрообладнання (електромонтери-ремонтники  $N_{ЕЛ.М.РЕМ.}$ ). Таким чином:

$$N_{ел.монт.заг.} = N_{ел.черг.} + N_{ел.рем} \quad (5.5)$$

Кількість електромонтерів групи з виконання ТО і ПР електрообладнання визначається за формулою:

$$N_{ел.м.рем} = \frac{Q_{заг.}}{M_{річн.}}, \quad (5.6)$$

де  $Q_{ЗАГ.}$  – загальні річні затрати праці на виконання ТО і ПР електрообладнання, люд.-год./рік;  $M_{РГЧ}$  – річний фонд робочого часу електромонтера, год.

Річний фонд робочого часу розраховується за формулою:

$$M_{річн.} = (d_{календ.} - d_{вих.} - d_{св.} - d_{відп.}) \cdot t \cdot \eta_p - n \cdot d_{пс} \quad (5.7)$$

де  $d_{КАЛЕНД.}$ ,  $d_{ВИХ.}$ ,  $d_{СВ.}$ ,  $d_{ВІДП.}$ ,  $d_{ПС.}$  – відповідно кількість календарних вихідних, святкових, відпускних та передсвяткових днів у році;  $t$  – середня тривалість робочої зміни: при шестиденному робочому тижні – 6,83 год; при п'ятиденному – 8,2 год;  $\eta_p$  – коефіцієнт, що враховує втрати робочого часу з поважних причин (хвороба, виконання державних обов'язків тощо),  $\eta_p = 0,95 - 0,96$ ;  $n$  – кількість годин, на які скорочується передсвятковий день, год.

Виконання ТО і ПР електрообладнання здійснюється групою електромонтерів-ремонтників відповідно до розроблених річного графіку проведення ПР та квартального графіку проведення ТО

електрообладнання. Технічне обслуговування проводиться на місці встановлення електрообладнання, а поточний ремонт, як правило, на пункті ТО і ремонту, за винятком великогабаритного обладнання (чи іншого), яке потребує значних витрат на демонтаж і транспортування до місця проведення ремонту.

Визначивши кількість електромонтерів групи з виконання ТО і ПР електрообладнання, можна знайти кількість електромонтерів групи експлуатації (чергових):

$$N_{ел.м.черг.} = N_{ел.м.заг.} - N_{ел.м.рем.}, \quad (5.8)$$

У дипломному проєкті бакалавра належить виконати розрахунок кількості електромонтерів  $N_{ЕЛ.М.ЗАГ}$ ,  $N_{ЕЛ.М.РЕМ}$  та  $N_{ЕЛ.М.ЧЕРГ}$  для обслуговування електрообладнання, наявного на виробничому об'єкті, який в ній розглядається (округлюючи розрахункові значення до цілого числа). Окремо слід зазначити, що цей персонал входить до складу енергетичної (електротехнічної) служби с.-г. підприємства, виробничий об'єкт якого (чи технологічні процеси на ньому) є темою дипломного проєкту бакалавра.

#### **5.4 Планування технічного обслуговування і ремонту електротехнічного обладнання**

Планування ТО і ПР енергетичного обладнання здійснюється на основі нормативних значень періодичності і трудомісткості цих заходів з урахуванням умов експлуатації, що склалися на сільськогосподарському підприємстві [11, 24]. При цьому також має бути виконаний розрахунок потреби у матеріалах і запасних частинах на технічне обслуговування і ремонт, норми витрат яких для конкретних видів обладнання наведені в [23]. Основною метою планування технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання є складання річного графіку їх проведення, а найчастіше – річного графіку проведення ПР та кварталних графіків проведення ТО.

Система ПЗР і ТО [23] рекомендує складати графіки ТО і ПР в цілому по підприємству або відділенню чи ділянці, починаючи цю роботу з об'єктів (обладнання) сезонного використання. За інтервал часу під час складання річного графіка проведенень ПР можна приймати місяць, а для кварталного графіка ТО – декаду (10 днів) або тиждень із зазначенням конкретних дат проведення технічного обслуговування.

Можна вважати доцільним складання графіків ТО і ПР електрообладнання з розбиттям по окремих виробничих об'єктах або

агрегатах, які знаходяться на території відділку (дільниці) підприємства. Потрібно планувати виконання робіт, що входять до складу ТО і ПР, на ланку електромонтерів, що складається з 2 – 3 осіб (з урахуванням складу служби), як правило, при однозмінній їх роботі за прийнятої тривалості робочої зміни. Завантаження електромонтерів при цьому повинне бути за можливості рівномірним. На кожен тиждень (декаду) потрібно передбачати резервний фонд робочого часу до 20% від сумарного за цей інтервал часу на виконання оперативних та дрібних монтажних робіт.

Для обладнання, що використовується сезонно, планується ТО на початку і в кінці сезону (трудомісткістю на 15% вищою, ніж звичайно). Це пов'язано з розконсервуванням та підготовкою обладнання до зберігання. Перед початком сезону можна передбачити проведення поточного ремонту, особливо для обладнання, яке має працювати далі тривалий час. Проведення ТО і ПР не повинно порушувати технологічний процес на виробничому об'єкті, тобто слід максимально використовувати технологічні перерви, неробочі зміни і, як виняток, вихідні дні. При цьому ремонт електрообладнання доцільно суміщати з ремонтом машин і механізмів, на яких воно встановлене.

Капітальний (поточний) ремонт внутрішніх електропроводок, розподільчих та освітлювальних щитків у тваринницьких приміщеннях потрібно планувати в період утримання тварин у літніх таборах або на пасовищах.

У дипломному проєкті бакалавра належить розробити графіки технічного обслуговування і поточного ремонту електрообладнання, наявного на виробничому об'єкті, який в ній розглядається (чи в одному із приміщень об'єкту).

**5.5. Графік технічного обслуговування електрообладнання**  
на квартал 20 року

(Назва підприємства, дільниці)

Місце встановлення та назва електрообладнання	Інвентарний номер	Кількість обладнання	Норматив на кількість технічних обслуговувань на квартал	Трудомісткість технічного обслуговування, люд.-год	Виконання технічного обслуговування по місяцях і днях								
					січень			лютий			березень		
				на одиницю обладнання	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-30
Корівник №1				всього	05.01						05.03		
Гноєприбиральний конвеєр ТСН 3,0Б				го	05.01						05.03		
Молочний насос													
Інше													
<b>Всього, люд.год/квартал</b>													



## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1. Розробка комплексу заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих виробничих чинників

У дипломному проекті передбачені такі організаційні й технічні заходи щодо усунення небезпечних і шкідливих виробничих чинників:

- забезпечення робочих місць місцевим освітленням;
- захист від проникнення до обертових частин машин і механізмів шляхом установаження огорожень і захисного блокування;
- запобігання вибуху в разі виникнення небезпечної концентрації пари на дільницях просочування, сушіння та фарбування шляхом установаження вибухобезпечних світильників і монтажу електропроводки в сталевих трубах;
- видалення із приміщень шкідливих газів та забезпечення припливу свіжого повітря шляхом монтажу системи вентиляції, яка складається з витяжних і припливних вентиляторів;
- захист від ураження електричним струмом шляхом монтажу заземлювального пристрою на ввіді до виробничого об'єкта, занулення металевих частин обладнання, а також використання електрозахисних засобів;
- захист споруди від прямих ударів блискавки шляхом спорудження системи блискавкозахисту;
- установаження пожежних кранів, щитів з інвентарем для гасіння пожежі та оснащення окремих приміщень і робочих місць вогнегасниками.

Безпечна робота експлуатаційного персоналу енергетичної служби господарства досягається не тільки організаційними та технічними заходами, але й наявністю високоефективних індивідуальних засобів захисту. Необхідну кількість захисних засобів, спецодягу, взуття та інших індивідуальних засобів захисту визначаємо, виходячи з чисельності обслуговуючого персоналу, кількості виробничих дільниць і характеру виконуваних робіт [4].

$$Z_{cp} = k_1 \cdot A_{заг} + (k_2 + k_3 \cdot N_{ед}) / d, \quad (6.1)$$

де  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – постійні коефіцієнти, які залежать від форми обслуговування електрообладнання та виду захисних засобів;  $A_{заг}$  – обсяг робіт з обслуговування електрообладнання в умовних одиницях;  $N_{ед}$  – кількість установажених електродвигунів;  $d$  – коефіцієнт

надійності апарату захисного вимикання (за відсутності даних  $d = 0.9$ ).

Приклади результатів проведених розрахунків наведені в табл. 6.1.

### 6.1. Розрахунок необхідної кількості захисних засобів

Назва захисних засобів	Марка, тип	Кількість
Показчик напруги комбінований	УНК-0,4	4
Показчик напруги понад 1000 В у комплекті з універсальною штангою	УВНБУ-6-35	1
Сигналізатор напруги індивідуальний касковий	СНИК 6-10	2
Ізолювальні кліщі	КИ-1000	3
Струмовимірювальні кліщі	Ц-4501	3
Килимки діелектричні	-	4
Переносне захисне заземлення	ПЗЗ-1,5	2
Переносне захисне заземлення для ПЛ напругою до 1 кВ, виконаних самоутримними ізольованими проводами (СП)	ЗПЛ-1 СИП	2
Монтерські лази	КЛМ-1	2
Запобіжний монтерський пояс із сумкою електрика	ПМ-НЛЖ	2
Рукавички діелектричні безшовні		4 пари
Діелектричні калоші	-	4 пари
Комплект інструменту з ізольованими рукоятками до 1000 В	КСИ-2	4
Попереджувальні плакати та знаки безпеки для електроустановок	-	По 4 кожного знаку

### 6.2. Розрахунок заземлювального пристрою повторного заземлення захисного проводу на ввіді до виробничого об'єкта

Відповідно до вимог ПУЕ на ввіді до електроустановки будівлі від повітряної лінії рекомендується влаштовувати повторне заземлення захисного  $PE(PEN)$ -провідника, якщо в будівлі за відсутності комунікацій водопостачання, газопостачання, металевих і залізобетонних конструкцій не може бути здійснено основну систему зрівнювання потенціалів. У цьому разі опір  $R_3$  заземлювача повторного заземлення захисного  $PE(PEN)$ -провідника на ввіді в будівлю повинен бути не більше за 30 Ом, тобто  $R_3 \leq 30$  Ом.

Заземлювач повторного заземлення захисного  $PE(PEN)$ -провідника передбачається виконати типу «гребінка», що містить вертикальні електроди, розташовані вздовж відрізка прямої та

об'єднані одним горизонтальним електродом. У якості вертикальних електродів рекомендується використовувати круглі металеві стержні довжиною  $l$  ( $l = 2 \dots 5$  м, вибирається самостійно) і діаметром  $d$  ( $d = 10 \dots 20$  мм, вибирається самостійно), а горизонтального електроду – металеву штабу з поперечним перерізом  $b \times c$  (наприклад,  $40 \times 4$  мм).

Розрахунок опору заземлювача здійснюється *методом коефіцієнта використання*. Суть цього методу полягає в розрахунку опорів елементів складного заземлювача із урахуванням їх взаємного впливу на результуючий опір  $R_3$  або на провідність  $G_3$  одним безрозмірним параметром  $\eta$ , який називається коефіцієнтом використання. Чисельно коефіцієнт використання дорівнює відношенню провідності розтікання струму замикання в землю складного заземлювача  $G_3$  до суми провідностей  $g_i$  його окремих елементів:

$$\eta = \frac{G_3}{\sum_{i=1}^n g_i} < 1. \quad (6.2)$$

Виконавши елементарні перетворення, отримаємо формулу для розрахунку опору  $R_3$  складного заземлювача

$$R_3 = \frac{1}{\eta(n g_B + g_G)}, \quad (6.3)$$

де  $n$  – кількість вертикальних електродів;  $g_B$  – провідність вертикального електроду;  $g_G$  – провідність горизонтальних електродів.

Опір вертикальних і горизонтальних елементів складного заземлювача, розміщеного в землі з неоднорідною електричною структурою, розраховують із використанням еквівалентного питомого опору ґрунту.

Еквівалентний питомий опір  $\rho_{ЕКВ}$  двошарового ґрунту для вертикальних електродів приймають таким, що дорівнює  $\rho_1$  або  $\rho_2$ , якщо електрод розміщений повністю відповідно у верхньому або нижньому шарі ґрунту. Коли вертикальний електрод перетинає межу розділу між шарами ґрунту, то  $\rho_{ЕКВ}$  розраховують за такою формулою:

$$\rho_{ЕКВ} = \frac{\rho_1 \rho_2 l}{\rho_1 (t + l - h_1) + \rho_2 (h_1 - t)}, \quad (6.4)$$

де  $\rho_1$  – питомий опір верхнього шару ґрунту, Ом·м;  $\rho_2$  – питомий опір нижнього шару ґрунту, Ом·м;  $h_1$  – глибина верхнього шару ґрунту, м;  $t$  – глибина закладання електрода, м;  $l$  – довжина вертикального електрода, м (питомі опори верхнього й нижнього шару ґрунту та глибина верхнього шару ґрунту для різних областей України надається в довідковій літературі).



Якщо еквівалентний питомий опір ґрунту більше 100 Ом·м, то допустимий опір  $R_{ДЗ}$  повторного заземлювача захисного PE(PEN)-провідника допускається збільшувати в  $0,01\rho_{ЕКВ}$  рази, але не більше ніж у 10 раз (ПУЕ), тобто  $R_{ДЗ} \leq 30 \times 0,01\rho_{ЕКВ}$ , Ом.

Опір вертикального заземлювача  $R_B$  розраховують за формулою

$$R_B = \frac{k_C \rho_{ЕКВ}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (6.5)$$

де  $k_C$  – коефіцієнт сезонності, що враховує зміну питомого опору ґрунту залежно від пори року та кліматичної зони (значення коефіцієнту сезонності для різних кліматичних зон України надається в довідковій літературі);  $d$  – діаметр стержня з круглим поперечним перерізом, м;  $h$  – відстань від поверхні землі до середини стержня, м ( $h = t + 0,5 \cdot l$ ).

Якщо вертикальний заземлювач виконано з кутникової сталі, то  $d = 0,95b$ , де  $b$  – ширина полиці кутика. Провідність  $g_e$  вертикального стержня визначається так:  $g_e = 1/R_B$ , 1/Ом.

Потім визначається попередня кількість вертикальних стержнів  $n$  без урахування їх взаємного впливу на допустимий опір  $R_{ДЗ}$  повторного заземлювача за формулою

$$n = R_B / R_{ДЗ} \quad (6.6)$$

Отримане значення  $n$  округлюють до цілого числа.

Вертикальні стержні розміщують уздовж відрізка прямої і з'єднують між собою горизонтальним заземлювачем, довжина якого  $l_\Gamma$  визначається за формулою

$$l_\Gamma = 1.05 \times a \times n, \quad (6.7)$$

де  $a$  – відстань між вертикальними електродами (зазвичай  $a \geq 1$ ).

Опір горизонтального заземлювача  $R_\Gamma$  розраховують за формулою

$$R_\Gamma = \frac{k_C \rho_{ЕГ}}{2\pi l_\Gamma} \ln \frac{l_\Gamma^2}{d \cdot t}. \quad (6.8)$$

Якщо горизонтальний заземлювач виконано зі штаби, то  $d = b/2$ , де  $b$  – ширина штаби.

Значення еквівалентного питомого опору  $\rho_{e2}$  для горизонтального заземлювача визначають за даними таблиці (додаток І) методом лінійної інтерполяції (додаток І').

Провідність  $g_\Gamma$ , 1/Ом горизонтального стержня визначається за формулою  $g_\Gamma = 1/R_\Gamma$ .

Розрахунок коефіцієнта використання заземлювача типу «гребінка» виконують за формулою

$$\eta = B_2 n_{\text{вертик}}^{-\beta_2}, \quad (6.9)$$

де  $B_2 = 0.88 \cdot (p_1 / p_2)^{0.0645}$ ;  $\beta_2 = 0.242 \cdot (p_1 / p_2)^{-0.083}$ .

Формули для визначення параметрів  $B_2$  і  $\beta_2$  справедливі за таких обмежень:

- 1)  $2 \leq n \leq 14$ ;
- 2)  $0,5 \leq a \leq 2$ ;
- 3)  $0,55 \leq (t/l) \leq 0,9$ ;
- 4)  $0,1 \leq (h_1/l) \leq 1$ ;
- 5)  $0,5 \leq (\rho_1 / \rho_2) \leq 10$ .

Якщо  $(\rho_1/\rho_2) > 10$ , то значення параметрів  $B_2$  і  $\beta_2$  будуть такими ж, як і за  $(\rho_1 / \rho_2) = 10$ .

Для полегшення розрахунків значення параметрів  $B_2$  і  $\beta_2$  наведені в табл. 6.2.

Після за формулою 6.3 визначається опір  $R_3$  заземлювача повторного заземлення захисного PE(PEN)-провідника. Він має відповідати вимогам ПУЕ, тобто бути не більшим за допустимий опір  $R_{ДЗ}$ , визначений вище:

$$R_3 \leq R_{ДЗ}, \quad (6.10)$$

Якщо умова (6.10) не виконується, то необхідно збільшити кількість вертикальних стержнів у формулі (6.3) до такого значення, щоб умова (6.10) виконувалася.

## 6.2. Значення параметрів $B_2$ і $\beta_2$

$\rho_1 / \rho_2$	$B_2$	$\beta_2$	$\rho_1 / \rho_2$	$B_2$	$\beta_2$
0,5	0,841	0,256	3	0,995	0,221
0,6	0,851	0,252	4	0,962	0,216
0,7	0,860	0,249	5	0,976	0,212
0,8	0,867	0,296	6	0,988	0,209
0,9	0,874	0,244	7	0,998	0,206
1	0,880	0,242	8	1,006	0,204
2	0,920	0,228	9	10,14	0,202
			10	1,021	0,200

Завершити розрахунок слід таким виразом:

Повторний заземлювач захисного PE(PEN) провідника складається із \_\_\_\_\_ вертикальних стержнів довжиною \_\_\_\_\_ м і діаметром \_\_\_\_\_ мм, розміщених на відстані \_\_\_\_\_ м один від одного та зв'язаних між собою і спуском по опорі від захисного PE(PEN)-провідника металевою штабою перерізом \_\_\_\_\_ мм методом зварювання.

### 6.3. Блискавкозахист виробничого об'єкту

Захист від прямих ударів блискавки виконується блискавкоприймальною сіткою, розміщеною на даху будівлі. Такий тип блискавкозахисту застосовується для будівель із плоским дахом, довжина яких не перевищує 25 м. Конструкційне виконання блискавкозахисту (рис. 6.1) передбачає площу чарунок сітки не більше 150 м<sup>2</sup>. Блискавкоприймальна сітка виконана із сталюго дроту діаметром 6 мм. Сітка сполучується струмовідводами із заземлювачами, виконаними з круглої сталі діаметром 10 мм та з'єднаними сталюю штабою розмірами 4х40 мм.

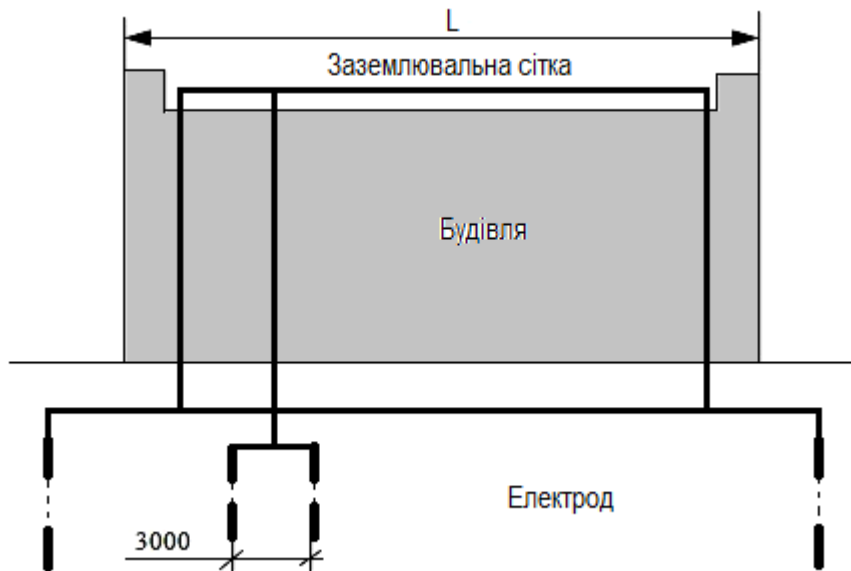


Рис.6.1. Заземлення сітки блискавкозахисту

### 6.4. Пожежна безпека

Необхідна витрата води від водопровідної мережі для потреб внутрішнього пожежогасіння становить 5 л/с. Пожежна сигналізація виконується на базі приймально-контрольного охоронно-пожежного приладу «Кварц» із повідомлювачами СПД-3.4

Орієнтовний перелік пожежного інвентарю наведено в табл. 6.3.

### 6.3. Кількість пожежного інвентарю

Найменування пристроїв та засобів захисту	Тип	Місце зберігання (встановлення)	Кількість
Вогнегасник	ОХП-10 ОУ-5	Дільниці фарбування, просочування та сушіння	1 1
Ящик із піском		Дільниця заготівлі конструкцій	1
Пожежний щит: - відро - лопата - сокира - багор - вогнегасник	ОХП-10	Біля центрального входу	2 1 1 1 1

## РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ

Під час розробки дипломного проекту, слід виконати розрахунок його ефективності за методикою, наведеною нижче.

*Розрахунок витрат на придбання матеріалів.* Витрати на придбання матеріалів ( $C_{МАТЕР.}$ ) обчислюються на основі норм їх витрачання і цін з урахуванням транспортно-заготівельних витрат. Розрахунки заносять в окрему таблицю.

*Розрахунок затрат на вироби й напівфабрикати.* У цю статтю включається вартість готових виробів ( $C_{ПОКУП.}$ ), придбаних для укомплектування пристрою. Покупні вироби визначаються за електричною принциповою схемою. Розрахунки заносять в окрему таблицю.

*Розрахунок основної заробітної плати.* Витрати за цією статтею розраховуються по кожній виконаній операції залежно від норми часу й погодинної тарифної ставки робітників:

$$C_{ЗАРПЛ.ОСН.} = \sum C_{ТАРi} * t_i \quad (7.1)$$

де  $C_{ТАРi}$  – погодинна тарифна ставка на виконання  $i$ -ї операції;  $t_i$  – час на виконання  $i$ -ї операції.

Норми часу на виконання окремих операцій беруться з технологічних карт. Перелік робіт відповідає технологічному процесу виробництва виробу. Норми часу для монтажних і складальних робіт визначаються типовими нормами часу на складально-монтажні роботи.

*Додаткова заробітна плата робітників.* Витрати за цією статтею визначаються у відсотках від основної заробітної плати. Орієнтовно норматив додаткової заробітної плати для підприємств може бути прийнятий у розмірі 30...40 %:

$$C_{ЗАРПЛ.ДОД.} = (0,3...0,4) C_{ЗАРПЛ.ОСН.} \quad (4.2)$$

*Відрахування на соціальне страхування.* За діючими нормативами відрахування на соціальне страхування становить 37,8 % від суми основної і додаткової заробітної плати:

$$C_{СОЦ.СТР.} = 0,378(C_{ЗАРПЛ.ОСН.} + C_{ЗАРПЛ.ДОД.}) \quad (4.3)$$

*Загальновиробничі витрати.* Враховуючи, що собівартість проекту визначається на ранніх стадіях його проектування в умовах обмеженої інформації щодо технології виробництва та витрат на його підготовку, до загальновиробничих витрат включаються, окрім власне

цих витрат, витрати на освоєння основного виробництва, відшкодування зносу спеціальних інструментів і пристроїв цільового призначення, утримання та експлуатацію устаткування. При цьому загальновиробничі витрати визначаються у відсотках до основної заробітної плати. За такого комплексного складу загальновиробничих витрат їх норматив ( $n_{заг.вир.}$ ) сягає 200...300 %:

$$C_{ЗАГ.ВИР.} = (2 \dots 3) C_{ЗАРПЛ.ОСН.} \quad (4.4)$$

*Виробнича собівартість проекту* обчислюється як сума витрат і заробітної плати:

$$P_{ВИР.} = C_{МАТЕР.} + C_{ПОКУП.} + C_{ЗАРПЛ.ОСН.} + C_{ЗАРПЛ.ДОД.} + C_{СОЦ.СТР.} + C_{ЗАГ.ВИР.} + C_{АДМ.} \quad (4.5)$$

*Адміністративні витрати.* Ці витрати відносяться на собівартість проекту пропорційно основній заробітній платі й становлять 100...200 %:

$$C_{АДМ.} = (1 \dots 2) C_{ЗАРПЛ.ОСН.} \quad (4.6)$$

*Витрати на збут.* Витрати за цією статтею визначаються у відсотках до виробничої собівартості в межах 2,5...5,0 %.

*Повна собівартість проекту* становить

$$P_{ПОВН.} = P_{ВИР.} + C_{АДМ.} + C_{ЗБУТ.} \quad (4.7)$$

Визначення ціни електрифікації виробничих процесів проекту. *Серед різних методів ціноутворення на ранніх стадіях проектування досить поширений метод лімітних цін. При цьому визначається верхня і нижня межа ціни.*

Нижня межа ціни ( $C_{НМ}$ ) захищає інтереси виробника продукції і передбачає, що ціна повинна покрити його витрати, пов'язані з виробництвом та реалізацією продукції, і забезпечити рівень рентабельності не нижчий за той, що має підприємство за виробництва вже освоєної продукції:

$$C_{НМ} = C_{ОПТ} (1 + 0,01 a_{ПДВ}), \quad (4.8)$$

де  $C_{ОПТ}$  – оптова ціна підприємства, грн;  $a_{ПДВ}$  – податок на додану вартість, 20 %.

$$C_{ОПТ} = P_{ПОВН.} (1 + 0,01 P_{Н}), \quad (4.9)$$

де  $P_{ПОВН.}$  – повна собівартість виробу, грн;  $P_{Н}$  – нормативний рівень рентабельності, 15 %.

Верхня межа ціни  $C_{ВМ}$  захищає інтереси споживача й визначається тією ціною, яку споживач готовий сплатити за продукцію з кращою споживчою якістю:

$$C_{ВМ} = C_{БАЗ} * k_{ТР}, \quad (4.10)$$

де  $C_{БАЗ}$  – ціна базового виробу;  $k_{ТР} = 1,1$ .

*Договірна ціна.* Договірна ціна  $C_{ДОГ}$  може бути встановлена за домовленістю між виробником і споживачем в інтервалі між нижньою та верхньою лімітними цінами:

$$C_{НМ} < C_{ДОГ} < C_{ВМ}.$$

*Визначення мінімального обсягу виробництва продукції.*

Собівартість річного випуску продукції визначається за формулою

$$P_{РІЧН.} = a * P_{ПОВН} * Q + b * P_{ПОВН} * X, \quad (4.10)$$

де  $a$  – умовно-змінні витрати,  $a = 0,65$ ;  $Q$  – річний обсяг випуску продукції, шт.;  $b$  – умовно-постійні витрати,  $b = 0,35$ ;  $X$  – виробнича потужність підприємства.

Вартість річного випуску продукції

$$W_{РІЧН.} = C_{ДОГ} * Q. \quad (4.11)$$

Обсяг випуску продукції, за якого прибуток відсутній

$$Q_1 = \frac{b \cdot C_{ПОВ} \cdot X}{C_{ДОГ} - a \cdot C_{ПОВ}}. \quad (4.12)$$

Обсяг продукції, за якому буде досягнутий запланований рівень рентабельності,

$$Q_2 = \frac{b \cdot C_{ПОВ} \cdot X \left(1 + \frac{P_H}{100}\right)}{C_{ДОГ} - a \cdot C_{ПОВ} \left(1 + \frac{P_H}{100}\right)}. \quad (4.13)$$

Річний прибуток за досягнення запланованого рівня рентабельності становить

$$П = (C_{ДОГ} - C_{ПОВ}) \cdot Q_2 \quad (4.14)$$

## ДОДАТКИ

Додаток А

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра електроенергетики, електротехніки і електромеханіки

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Електроенергетики, \_\_\_\_\_ електротехніки та  
електромеханіки  
(назва кафедри)

Д.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_  
(підпис)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: "Проект електропостачання офісного приміщення"

Спеціальність 141 – "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Виконав: студент 4 курсу спеціальності  
**141 "Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка"**

\_\_\_\_\_ **Шевченко Т.Г.**

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

\_\_\_\_\_

(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_

(Підпис)

\_\_\_\_\_

(ПІБ)

Біла Церква – 2022



Додаток Б

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

Електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки

(назва кафедри)

д.т.н., доцент \_\_\_\_\_  
(підпис)

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **ЗАВДАННЯ**

до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра  
студенту Шевченку Тарасу Григоровичу

**Спеціальність** 141 – "Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка "

**Тема проекту:** "Проект електропостачання офісного приміщення"

Затверджена наказом ректора БНАУ від "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2021 р. № \_\_\_\_.  
Термін подання завершеного проекту на кафедру: "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

1. Вимоги до електропостачання житлових і офісних приміщень.
2. Розрахунок силової мережі.
3. Розрахунок штучного та аварійного освітлення.
4. Охорона праці.
5. Економічна частина;

**Перелік графічної частини:**

1. Монтажна схема силового електропостачання.
2. Монтажна схема електроосвітлення.
3. Принципова схема електропостачання.
4. Конструкція пристрою заземлення.

Керівник кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ /Шевченко Т.Г./

Дата отримання завдання "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2021 р.

Приклад оформлення анотації  
УДК 631.171:621.311

### АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті на тему «Електрифікація технологічних процесів в ремонтній майстерні» виконані розрахунки та вибір технологічного й електротехнічного обладнання, силових електропроводок, апаратів керування і захисту, освітлення виробничих приміщень та освітлювальних проводок. Розраховані електричні навантаження, вибрана споживча трансформаторна підстанція, розраховані зовнішні мережі напругою 10 і 0,38 кВ. Детально розглянуті питання розробки технології ремонту контактних вузлів комутаційних апаратів мобільного електротранспорту. У проекті висвітлені питання економного використання електроенергії та охорони праці. Виконаний розрахунок техніко-економічних показників.

### ABSTRACT

The degree project on a theme «Electrification of productions in repair shop» The accounts of illumination of industrial premises, account of a network 10 кV and 0,38 кV, power networks, and also choice, electrical equipment are carried out(spent). The question of development of technology of repair of contact units of switching devices of mobile electrotransport is in details considered. In the project the questions on economical use of the electric power and protection of work are considered. The account of a technical and economic indexys is made.

**Примітка.**

УДК потрібно уточнити з керівником дипломного проекту.  
Обсяг тексту анотації – до 500 знаків.



Додаток Д

*Приклад оформлення заяви*

Декану  
агробіотехнологічного факультету  
доценту Хахулі В.С.  
студента 4 курсу ОС «Бакалавр»  
кафедри Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

---

**ЗАЯВА**

Прошу Вашого дозволу на написання випускної кваліфікаційної роботи за першим бакалаврським рівнем спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка на тему: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

Прошу дозволити керівництво кваліфікаційною роботою

---

---

\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

(підпис)

**Погоджено:**

Завідувач кафедри  
доктор технічних наук, професор

М.І.Трегуб

Додаток Е

Основний напис для текстових конструкторських документів  
(перший або заголовний лист пояснювальної записки)

		□	□		141.КРБ-247.13.04.2021.010.ПЗ□			
		□	□					
□	□	□	□					
□	□	□	□		Пояснювальна записка□ □	Літ.□	Маса□	Масштаб□
Зм.	Лист	№ докум.□	Підпис□			□	□	□
Розробив		□	□					
Перевірив		□	□					
Т. контр.□		□	□			Лист-□	Листів-□	□
Рецензент		□	□		□	□ БНАУ□		
Н. контр.□		□	□					
Зав. каф.□		□	□					

Додаток Є

Основний напис для текстових конструкторських документів  
(наступний після першого листа пояснювальної записки)

		□	□		141.КРБ-247.13.04.2021.010.ПЗ□		Лист□
		□	□				□
Зм.	Лист□	№ докум.□	Підпис□				

ВІДГУК КЕРІВНИКА

на кваліфікаційну роботу здобувача \_\_\_ курсу спеціальності

\_\_\_\_\_

прізвище, ім'я, по батькові

на тему

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Оцінка окремих складових кваліфікаційної роботи:

1. Оформлення роботи (не більше 10 балів)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Своєчасність подання окремих елементів роботи керівнику (кожний своєчасно поданий елемент дає по 5 балів)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3. Теоретичні та аналітичні аспекти роботи (не більше 25 балів)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Практичні аспекти роботи (не більше 20 балів)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Оцінка попереднього захисту (не більше 25 балів)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Додаткові думки та загальний висновок керівника

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Загальна оцінка (не більше 100 балів) \_\_\_\_\_

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

підпис

вчене звання,  
прізвище, ініціали

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.



## Висновок

---

відповідає/ не відповідає вимогам, заслуговує оцінки відмінно, добре, задовільно

---

## Рецензент

---

підпис, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові

---

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Додаток И

## Декларація доброчесності

Я, \_\_\_\_\_, підтверджую, що сам написав цю роботу і не використовував жодних інших, окрім цитованих, джерел інформації. Дослівні вирази або фрази, які цитуються, позначаються як такі; інші недослівні запозичення чи ремінісценції, наведені в тексті цієї роботи, містять актуальну інформацію щодо первинних джерел наведеного контенту.

Робота у цій безпосередньо або змістовно аналогічній формі не була раніше опублікована чи оприлюднена. Усе зазначене вище посвідчую власноручним підписом.

---

Підпис

---

Дата



Значення природних факторів та коефіцієнтів сезонності  
для різних кліматичних зон

Показник	Північ і центр України	Південь України
Середня багаторічна температура, °С		
– січня	-10–0	+2–+4
– липня	+22–+24	+24–+25
Середньорічна кількість опадів, см	<b>50</b>	<b>30–50</b>
Тривалість стояння льоду, днів	<b>100</b>	<b>0</b>
Мінімальна товщина активного шару ґрунту, м	<b>1,8</b>	<b>1,6</b>
Коефіцієнт сезонності $k_c$ :		
а) під час вимірювання питомого опору ґрунту:		
– за максимальної вологості $k_{c1}$	<b>3,0 (2,0)</b>	<b>2,5 (2,3)</b>
– за середньої вологості $k_{c2}$	<b>2,0 (1,3)</b>	<b>1,4 (1,3)</b>
– за мінімальної вологості $k_{c3}$	<b>1,5 (1,0)</b>	<b>1,1 (1,0)</b>
б) під час використання довідкових значень питомого опору ґрунту:		
– для вертикальних електродів довжиною $l = 2-3$ м і глибиною розміщення вершини $t = 0,5-0,8$ м,	<b>1,4–1,6 (1,2–1,3)</b>	<b>1,2–1,4 (1,2–1,3)</b>
– те ж, але $l = 5$ м і $t = 0,7-0,8$ м	<b>1,15 (1,1)</b>	<b>1,1 (1,1)</b>
– для горизонтальних штаб за глибини закладення $t = 0,8$ м $k_c$	<b>2,0–2,5 (1,4–1,6)</b>	<b>1,5–2,0 (1,4–1,9)</b>

**Примітка.** У дужках вказані значення коефіцієнтів сезонності для заземлювальних пристроїв блискавкозахисту

ДОДАТОК І

Відносні значення еквівалентного питомого опору  $\rho_{ер} / \rho_2$  двошарової землі для розрахунку опору простого горизонтального заземлювача

$\rho_1 / \rho_2$	$h_1$ , м	$t$ , м	Значення $\rho_{ер} / \rho_2$ за довжини горизонтальних елементів $l$ , м																
			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150	200			
0,5	1	0,5	0,61	0,67	0,69	0,70	0,71	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	
		0,8	0,63	0,68	0,71	0,72	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,80	0,80
	3	0,5-0,8	0,54	0,58	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71
1	1	0,5	0,53	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67
		0,8	1,69	1,62	1,52	1,50	1,48	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41	1,41	1,41	1,39	1,38	1,38
	3	0,5-0,8	1,65	1,53	1,47	1,43	1,41	1,39	1,38	1,37	1,37	1,37	1,36	1,35	1,35	1,33	1,33	1,33	1,33
5	1	0,5	1,89	1,87	1,79	1,76	1,72	1,70	1,67	1,64	1,64	1,64	1,63	1,61	1,60	1,58	1,56	1,56	1,56
		0,8	1,93	1,92	1,86	1,81	1,80	1,77	1,76	1,75	1,73	1,73	1,72	1,71	1,70	1,65	1,63	1,63	1,63
	3	0,5-0,8	3,68	3,38	3,05	2,92	2,84	2,78	2,76	2,67	2,64	2,64	2,60	2,59	2,55	2,49	2,45	2,45	2,45
0	1	0,8	3,03	2,96	2,72	2,60	2,56	2,46	2,41	2,39	2,36	2,36	2,34	2,31	2,28	2,25	2,20	2,20	2,20
		3	4,52	4,31	4,00	3,83	3,74	3,66	3,53	3,48	3,43	3,43	3,41	3,36	3,31	3,23	3,18	3,18	3,18
	3	0,5-0,8	4,72	4,66	4,27	4,23	4,02	3,95	3,87	3,83	3,82	3,82	3,75	3,72	3,56	3,48	3,43	3,43	3,43
0	1	0,5	6,93	6,19	5,63	5,24	5,06	4,87	4,79	4,72	4,65	4,62	4,62	4,58	4,41	4,33	4,20	4,20	4,20
		0,8	6,02	5,29	4,76	4,51	4,30	4,19	4,10	4,06	4,00	4,00	3,89	3,84	3,78	3,71	3,64	3,64	3,64
	3	0,5-0,8	9,45	8,51	7,66	7,33	7,10	6,94	6,65	6,57	6,46	6,38	6,34	6,34	6,11	6,04	5,85	5,85	5,85
0	1	0,5	9,66	9,26	8,42	8,14	7,73	7,56	7,43	7,32	7,21	7,13	6,91	6,80	6,69	6,50	6,50	6,50	6,50
		0,8	13,6	11,9	10,7	10,0	9,52	9,17	8,98	8,80	8,66	8,53	8,32	8,32	8,16	7,92	7,70	7,70	7,70
	3	0,5-0,8	18,1	16,8	15,1	14,3	13,6	13,3	13,0	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,4	11,1	11,1	11,1	11,1
0	1	0,5	19,8	18,1	16,8	16,0	15,9	14,7	14,6	14,3	13,9	13,7	13,4	13,4	12,9	12,4	12,4	12,4	12,4
		0,8	18,1	16,8	15,1	14,3	13,6	13,3	13,0	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,4	11,1	11,1	11,1	11,1
	3	0,5-0,8	19,8	18,1	16,8	16,0	15,9	14,7	14,6	14,3	13,9	13,7	13,4	13,4	12,9	12,4	12,4	12,4	12,4

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Басов А.М. и др.. Електротехнология. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
2. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 368 с.
3. Будзко И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
4. Гажаман В.І. Електробезпека на виробництві / В.І. Гажаман. – К.: 2002. – 272 с.
5. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок: Навч. Посібник. – К.: Вища шк.. Головне вид-во, 1989. – 343 с.
6. ДНАОП 0.00-1-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 117 с.
7. ДНАОП 0.00.1.21.-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. /Держнаглядохоронпраці України.: – К.: Основа, 1998. – 380с.
8. ДБН В.2.5 – 24 – 2003 Електрична кабельна система опалення.
9. Довідник сільського електрика /В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гочар та ін.; За ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
10. Дипломне проектування енергетичних систем в агропромисловому комплексі: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / Іноземцев Г.Б., Козирський В.В., Лут М.Т., Радько І.П. Синявський О.Ю. – 2-е вид., перероб. і доп. – К.: 2014. – 526 с.
11. Ерошенко Г.П., Пястолов А.А. Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации электрооборудования. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.
12. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Мозирський В.В. Акустичні технології в аграрному виробництві. – К.: ЦТІ “Енергетика та електрифікація”. 2006. – 176 с.
13. Каталог продукції фірми „Таврида-Електрик”, 2007 р.
14. Каталог продукції фірми „Енергомашвін”, 2007 р.
15. Лут М.Т., Тракай В.Г., Котун П.М. Методичні вказівки щодо виконання та захисту дипломного проекту для студентів факультету електрифікації та автоматизації сільського господарства. К.: Вид-во НАУ, 2004. – 300 с.

16. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / О.С. Марченко, О.В. Дацішин, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.С.Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416 с.
17. Мартиненко І.І., Тищенко Л.П. Курсове і дипломне проектування по комплексній електрифікації та автоматизації. – М.: Колос, 1978. – 223 с.
18. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
19. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.
20. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво "Форт", 2017. – 760 с
21. Притака І.П., Козирський В.В. Електропостачання сільського господарства. – К.: Урожай, 1996. – 226 с.
22. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
23. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий / Госагропром СССР. – М.: Агропромиздат, 1987. – 191 с.
24. Сырых Н.Н. Эксплуатация сельских электроустановок. – М.: Агропромиздат, 1986. – 255 с.
25. Червінський Л.С., Сторожук Л.О. Електричне освітлення та опромінення: Посібник. – К.: ТОВ "Аграр Медіа Груп, 2011. – 214 с.

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
З ПІДГОТОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 – ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

**Голодний Іван Михайлович, Червінський Леонід Степанович,  
Трегуб Микола Іларіонович, Безкровний Микола Федорович.,  
Рубець Андрій Миколайович**

**Відповідальна за випуск: Рубець А.М.**

Комп'ютерне верстання: Сенчук М.М.

Формат 60x84 1/16 Ум. др. Арк. 10 Тираж 30  
РВвідділ, Сектор оперативної поліграфії БНАУ  
09117, м. Біла Церква, Соборна пл. 8; тел. 33-11-01