

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання кваліфікаційної роботи  
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
денної та заочної форм навчання

УДК 631.3:378.22-21.66(07)

Матвійчук В.А., Штуць А.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. Вінниця: ВНАУ, 2022. 98 с.

**Рецензенти:**

Кутін В.М., д.т.н., професор зав. каф. «Електротехнічні комплекси систем електропостачання та енергетичного менеджменту» Вінницький національний технічний університет;

Веселовська Н.Р. д.т.н. професор зав. каф. кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету;

Методичні вказівки призначені для засвоєння студентами навичок самостійно виконувати кваліфікаційні роботи, пов'язані з використанням електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів в агропромисловому комплексі.

Методичні вказівки призначені студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання освітнього ступеня «Бакалавр».

**Затверджено і рекомендовано до друку:**

науково-методичною радою ВНАУ  
(протокол № 5 від 13.12.2022р.)

методичною комісією інженерно-технологічного факультету  
(протокол № 5 від 12.12.2022р.)

кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки  
(протокол № 6 від 05.12.2022р.)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЗАСАДИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА .....	6
1.1. Загальні положення .....	6
1.2. Структура, зміст та тематика кваліфікаційної роботи бакалавра ..	8
1.3. Оформлення пояснювальної записки .....	11
1.4. Правила виконання електричних схем .....	13
1.5. Керівництво виконанням кваліфікаційної роботи і її захист .....	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ (Технологічна частина кваліфікаційної роботи) .....	18
2.1. Загальні вимоги щодо вибору технологічного обладнання .....	18
2.2. Розрахунок водопостачання .....	20
2.3. Вибір обладнання для забезпечення мікроклімату, теплопостачання та підігріву води в сільськогосподарському виробництві .	22
2.3.1. Розрахунок та вибір обладнання вентиляційних систем.....	23
2.3.2. Розрахунок та вибір обладнання для опалення і нагріву води ...	25
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ (Електротехнічна частина кваліфікаційної роботи) .....	27
3.1. Вибір електродвигуна .....	27
3.1.1. Загальна методика вибору електродвигуна .....	27
3.1.2. Попередній вибір електродвигуна за потужністю і частотою обертання .....	29
3.1.3. Перевірка вибраного електродвигуна .....	32
3.2. Розрахунок і вибір опромінювальних установок .....	37
3.2.1. Розрахунок установок у тваринництві .....	37
3.2.2. Розрахунок опромінювальних установок у рослинництві .....	38
3.3. Вибір електронагрівальних установок .....	39
3.3.1. Вибір електричних водонагрівачів .....	39
3.3.2. Вибір установок для місцевого обігрівання тваринницьких і птахівницьких приміщень .....	55
3.3.3. Розрахунок та вибір електрообладнання для обігріву ґрунту в парниках і теплицях .....	42
3.3.4. Кабельні системи опалення сільськогосподарських виробничих та житлово-побутових приміщень .....	42
3.4. Розрахунок та вибір електротехнологічного обладнання .....	44
3.5. Розрахунок електричного навантаження на вводі об'єкта споживання. Вибір джерела живлення .....	47
3.6. Розрахунок і вибір зовнішніх та внутрішніх електропроводок ...	54
3.7. Вибір пускозахисної апаратури .....	55
3.7.1. Вибір автоматичних вимикачів .....	56
3.7.2. Вибір запобіжників .....	57
3.7.3. Вибір електротеплових реле .....	58
3.7.4. Вибір електромагнітних пускачів .....	58

3.7.5. Вибір реле, кнопок керування, перемикачів та сигнальних пристроїв .....	60
3.7.6. Вибір низьковольтних комплектних пристроїв (НКП) .....	61
3.7.7. Перевірка захисної апаратури на спрацювання у разі короткого замикання .....	62
3.7.8. Перевірка умов пуску асинхронного двигуна .....	66
3.8. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання сільськогосподарських споживачів .....	67
3.8.1. Вихідні дані .....	67
3.8.2. Визначення електричних навантажень на вводах споживачів електричної енергії .....	67
3.8.3. Розрахунок сумарної потужності населеного пункту .....	68
3.8.4. Розрахунок системи електропостачання сільського населеного пункту .....	69
3.8.4.1. Розрахунок кількості та вибір місць розташування споживчих трансформаторних підстанцій ТП-10/0,4 кВ .....	69
3.8.4.2. Розрахунок навантажень ліній електропередачі напругою 0,38 кВ .....	70
3.8.4.3. Вибір перерізу проводів ліній електропередачі 0,38 кВ .....	70
3.8.4.4. Обґрунтування номінальної потужності споживчих трансформаторних підстанцій .....	71
3.8.4.5. Розрахунок розгалуженої лінії електропередачі 10 кВ .....	72
3.8.4.6. Розрахунок повного електричного навантаження на шинах 10 кВ районної трансформаторної підстанції .....	75
3.8.4.7. Обґрунтування параметрів та первинної електричної схеми РТП .....	75
3.8.4.8. Розрахунок струмів короткого замикання .....	76
3.8.4.9. Вибір електричної апаратури .....	77
3.8.4.9.1. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 10 кВ .....	77
3.8.4.9.2. Вибір електричної апаратури розподільного пристрою 35 (110) кВ .....	88
3.8.4.10. Розрахунок релейного захисту повітряної лінії 10 кВ .....	89
РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ .....	92
4.1. Вимоги до спеціального завдання кваліфікаційної бакалаврської роботи .....	92
4.2. Розрахунок ефективності енергоощадних заходів .....	92
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	95
ДОДАТКИ .....	98

## ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра – це індивідуальна атестаційна робота студента науково-дослідницького, творчого або електротехнологічного характеру.

Робота виконується на завершальному етапі фахової підготовки і відображає рівень теоретичних і практичних знань, вміння їх застосовувати при розв'язуванні конкретних наукових, технічних та виробничих завдань.

До виконання кваліфікаційної роботи допускаються випускники, які виконали всі вимоги навчального плану.

Тематика кваліфікаційних робіт визначається випускаючою кафедрою. Керівниками призначаються найбільш кваліфіковані і досвідчені викладачі.

Якщо кваліфікаційна робота має прикладний характер, то до керівництва його виконання можуть залучатися висококваліфіковані фахівці електроенергетичного сектору економіки.

Студентам надається право запропоновувати свою тему роботи з обґрунтуванням доцільності її розробки. Як правило, ця тема є продовженням розробки виконаного студентом курсової роботи, або безпосередньо пов'язана з місцем майбутньої професійної діяльності.

*Основні завдання кваліфікаційної роботи бакалавра:*

- закріплення та поглиблення теоретичних знань та набуття умінь самостійного вирішення конкретних виробничих завдань;
- набуття умінь самостійного техніко-економічного аналізу та обґрунтування запропонованих рішень;
- розвиток умінь студента самостійно систематизувати і аналізувати літературу.

*Вимоги до кваліфікаційної роботи бакалавра:*

- спрямованість на вирішення завдань, що поставлені перед електроенергетичним сектором економіки;
- відповідність реальним умовам виробництва;
- чіткість структури та логічність викладення матеріалу;
- лаконічність формулювань;
- переконливість аргументації;
- обґрунтованість пропонуваніх практичних рекомендацій виробництву.

Оформлення кваліфікаційної роботи проводиться на основі сучасних комп'ютерних технологій.

У кваліфікаційній роботі не повинно бути переписаних з підручників положень і формулювань, допускається посилання на них.

За прийняті рішення та достовірність даних відповідає студент-автор кваліфікаційної роботи та його керівник. До кваліфікаційної роботи додається відгук керівника та рецензія фахівця.

Успішний захист кваліфікаційної роботи бакалавра є підставою для присвоєння випускнику кваліфікації бакалавр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки з видачею йому диплому державного зразка.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ ЗАСАДИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

### 1.1. Загальні положення

Положення про кваліфікаційну роботу здобувачів вищої освіти першого бакалаврського рівня спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Вінницького 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 Вінницькому національному аграрному університеті".

Метою кваліфікаційної роботи є систематизація та застосування отриманих теоретичних і практичних знань з основних дисциплін спеціальності, які необхідні для використання при розробці питань комплексної електрифікації і автоматизації систем електропостачання сільськогосподарських споживачів, розрахунках та виборі відповідних систем електрообладнання, його експлуатації та обслуговування.

*Згідно з вимогами освітньої програми кваліфікаційна бакалаврська робота спрямована на формування фахових компетентностей:*

ФК01. Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР).

ФК02. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

ФК03. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.

ФК04. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики.

ФК05. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.

ФК06. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

ФК07. Здатність розробляти проекти електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування із дотриманням вимог законодавства, стандартів і технічного завдання.

ФК08. Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки, охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища.

ФК09. Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.

ФК10. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання

про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК11. Здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.

*Згідно з вимогами освітньої програми кваліфікаційна бакалаврська робота спрямована на формування програмних результатів навчання:*

ПР1. Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР2. Знати і розуміти теоретичні основи метрології та електричних вимірювань, принципи роботи пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики, мати навички здійснення відповідних вимірювань і використання зазначених пристроїв для вирішення професійних завдань.

ПР3. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР4. Знати принципи роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок.

ПР5. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР6. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР7. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.

ПР8. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.

ПР9. Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ПР10. Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.

ПР11. Вільно спілкуватися з професійних проблем державною та іноземною мовами усно і письмово, обговорювати результати професійної діяльності з фахівцями та нефхівцями, аргументувати свою позицію з дискусійних питань.

ПР12. Розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки об'єктів електротехніки та електромеханіки, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР13. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни.

ПР14. Розуміти принципи європейської демократії та поваги до прав громадян, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР15. Розуміти та демонструвати добру професійну, соціальну та емоційну поведінку, дотримуватись здорового способу життя.

ПР16. Знати вимоги нормативних актів, що стосуються інженерної діяльності, захисту інтелектуальної власності, охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.

ПР18. Вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірною технікою та прикладним програмним забезпеченням.

ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

## **1.2. Структура, зміст та тематика кваліфікаційної роботи бакалавра**

Кваліфікаційна бакалаврська робота складається із розрахунково-пояснювальної записки із необхідними схемами, рисунками, таблицями. Обсяг пояснювальної записки не повинен перевищувати 45...50 сторінок.

Розрахунково-пояснювальна записка, незалежно від теми, має містити:

- титульну сторінку (додаток А);
- завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра (додаток Б);
- анотацію (додаток В);
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень;
- вступ;
- основну частину;
- 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, в першу чергу з позицій енергозбереження, розрахункам і вибору електротехнологічного обладнання, умов його роботи із 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.).



Орієнтовний обсяг розрахунково-пояснювальної записки за відповідними складовими частинами наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Орієнтовний обсяг окремих частин записки

Назва складових частин	Обсяг сторінок
Титульний аркуш	1
Завдання на дипломний проєкт	2
Зміст	1
Вступ	1
Технологічна частина	8-9
Електротехнічна частина	20-21
Спеціальна частина	10-11
Висновки	1-2
Список використаних джерел	1-2
Додатки	Не обмежено
Всього без додатків	45-50

В якості тематики бакалаврських робіт можуть бути розробки таких напрямів: 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, ділянки 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, діагностування електричного обладнання, пристроїв захисту компенсації реактивної потужності тощо

Орієнтовні назви тем кваліфікаційних робіт бакалавра:

1. Електрифікація технологічних процесів в корівнику.
2. Електрифікація технологічних процесів в свинарнику-відгодівельнику.
3. Удосконалення електрифікованих технологічних процесів у пташнику напільного (кліткового) утримання.
4. Електрифікація технологічних процесів у кормоцеху для свиноферми.
5. Електрифікація технологічних процесів зерноскладу.
6. Електрифікація технологічних процесів у гідропонній теплиці.
7. Розробка енергозберігаючих технологічних процесів у цеху гідротермічної обробки зерна.
8. Електрифікація технологічних процесів у ремонтній майстерні.
9. Розробка системи електропостачання офісного приміщення.
10. Модернізація розподільчого пристрою 10 кВ трансформаторної підстанції 110/10 кВ.
11. Реконструкція районної трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ.

12. Реконструкція повітряної лінії 10 кВ з встановленням пункту автоматичного вмикання резерву.
  13. Удосконалення цифрових електронних вузлів систем керування.
  14. Проектування та розрахунок установок з використанням нетрадиційних джерел електричної енергії.
  15. Розробка системи електроживлення житлового будинку від вітроелектростанції.
  16. Розробка системи використання сонячної енергії для електроживлення тепличного господарства.
  17. Проектування електропостачання лабораторії з дисципліни «Основи технічної експлуатації електрообладнання та засобів керування».
  18. Удосконалення лабораторних робіт із дисципліни «Пристрої автоматики систем керування».
  19. Модернізація обладнання для підвищення показників якості електричної енергії.
  20. Розробка системи технічних засобів по забезпеченню якості електричної енергії.
  21. Розробка системи захисту розподільних ліній електропередач в АПК.
  22. Проектування силових трансформаторів на підстанціях сільськогосподарських підприємств.
  23. Удосконалення заземлюючих пристроїв на підстанціях сільськогосподарських підприємств в АПК.
  24. Проектування сучасних засобів обліку електроенергії в розподільчих мережах і підприємствах АПК.
  25. Удосконалення методів діагностики ізоляції обладнання.
  26. Проектування системи електроприводу стрічкового конвеєра.
  27. Проектування системи керування електроприводом круглопильного верстата.
  28. Проектування системи енергетичного самозабезпечення тваринницьких приміщень сільськогосподарського підприємства з розробкою принципової схеми використання нетрадиційних джерел енергії.
  29. Проектування системи мікроклімату в овоче- і фруктосховищі сільськогосподарського підприємства з удосконаленням системи вентиляції.
  30. Удосконалення методів діагностування трансформаторів на підстанціях сільськогосподарських підприємств.
- Розрахунково-пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра обов'язково проходить автоматизовану перевірку на наявність академічного плагіату.

### **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. 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 напівжирним 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 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. В кінці кожного розділу приводяться висновки.

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.

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:

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 кваліфікаційних робіт 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 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.

#### **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 та має самостійне призначення. Наприклад, мікросхема, ємність (*C*), резистор-опір (*R*) тощо.

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

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

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 кваліфікаційних 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 лише стандартні графічні умовні та літерні 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, *Р* – 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.

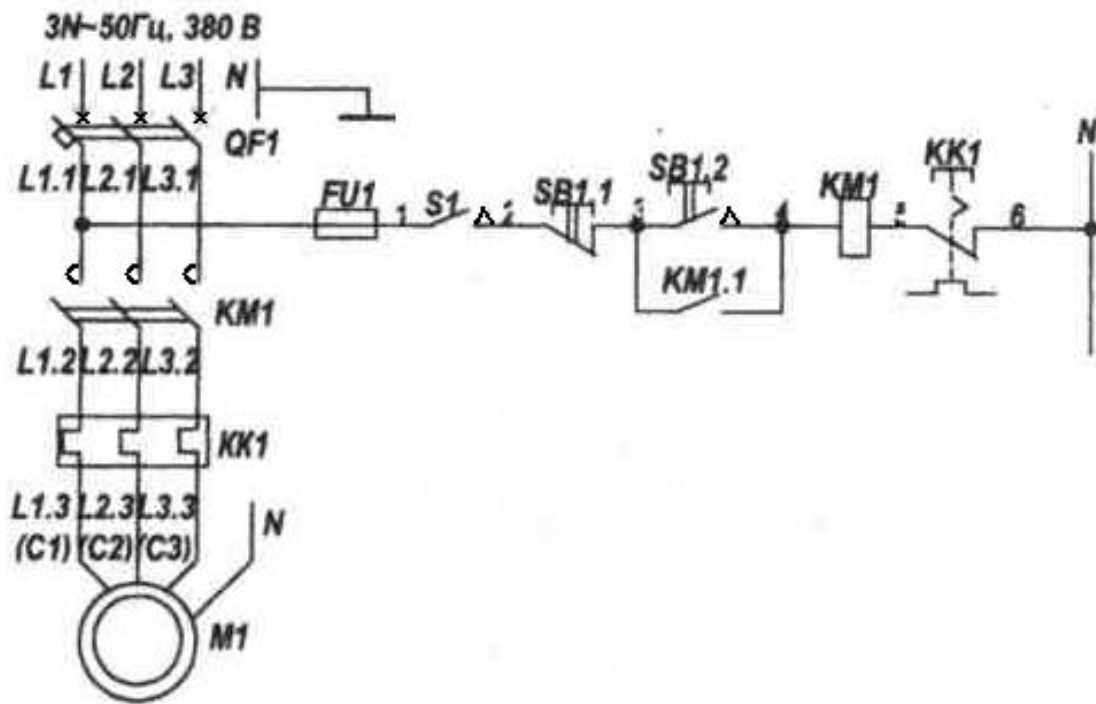


Рис. 1.1. Позначення кіл з урахуванням їх функціонального призначення

## 1.5. Керівництво виконанням кваліфікаційної роботи і її захист

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра закріплюється, згідно заяви студента, наказом ректора університету. Він видає завдання на роботу із зазначенням терміну її закінчення. При цьому студент має право запропонувати свою тему роботи із відповідним обґрунтуванням доцільності її розробки та можливості виконання.

Тема кваліфікаційної роботи затверджується на засіданні випускової кафедри.

Керівник кваліфікаційної роботи надає студенту допомогу у розробці графіка роботи на весь період і порядок виконання окремих її розділів. Рекомендує необхідні джерела інформації, проводить систематичні консультації і перевіряє якість виконання кваліфікаційної роботи.

Випускова кафедра забезпечує студента до початку виконання кваліфікаційної роботи методичними вказівками, в яких вміщено обов'язковий обсяг вимог.

*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.

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 надає 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.* Закінчена кваліфікаційна робота, підписана студентом, подається керівникові, який після перегляду і схвалення, підписує її і складає відгук. Завідувач випускової кафедри, на підставі цих матеріалів, вирішує питання про допуск студента до захисту, роблячи при цьому відповідний запис на титульному аркуші розрахунково-пояснювальної записки.

Кваліфікаційна робота, допущена до захисту, направляється на рецензію фахівцю та перевірку на наявність академічного плагіату не пізніше, ніж за 10 днів до початку роботи ДЕК. Доповідна записка готується заздалегідь і хронометрується на час не більше 10 хвилин. У разі перевищення цієї норми головуючий на засіданні ЕК може зупинити доповідь. Краще мати про запас 1–2 хвилини.

Захист кваліфікаційної роботи - це форма перевірки рівня знань випускника та фактичної підготовки його до роботи за фахом відповідно до вимог державного освітнього стандарту.

Захист кваліфікаційної роботи проводиться на відкритому засіданні ДЕК. На засідання подаються: розрахунково-пояснювальна записка, презентаційний матеріал, відгук керівника, рецензія, довідка про успішність студента, подання на ім'я голови Державної екзаменаційної комісії про допуск дипломного проекту до захисту.

На доповідь з теми кваліфікаційної роботи виділяється до 10 хвилин. Під час доповіді студент використовує підготовлену електронну презентацію.

Після доповіді студенту задають питання члени ДЕК і присутні на захисті.

Результати захисту дипломного проекту визначаються оцінками: «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно», а також відповідними балами за шкалою ECTS.

Студенту, який захистив кваліфікаційну роботу, рішенням ДЕК присвоюється освітній ступінь бакалавра зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» і видається диплом державного зразка.

Студент, який за результатами захисту отримав оцінку «незадовільно», відраховується з університету і йому видається академічна довідка.

У випадках, коли захист кваліфікаційної роботи оцінюється незадовільно, ДЕК встановлює, чи може студент подати на повторний захист ту саму роботу з



доопрацюванням, чи він зобов'язаний опрацювати нову тему, визначену випусковою кафедрою.

Студент, який не захистив кваліфікаційну роботу, допускається до повторного захисту роботи протягом трьох років після закінчення терміну навчання.

Студентам, які не захищали кваліфікаційну роботу з поважної причини (документально підтвердженої) може бути перенесений строк захисту на наступний термін роботи ДЕК із захисту кваліфікаційних робіт.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ (Технологічна частина кваліфікаційної роботи)

#### 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 [4].

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 сукупності. Під час розрахунків та вибору електрообладнання необхідно враховувати те, що значна кількість робочих машин різного призначення поставляється комплектно [9, 29]. 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 гноєприбирання (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–3М, охолодники ОМ–1А, ТОМ–2А, АВ–30, пастеризатори типу ОП, ПТУ тощо) та багатьох інших процесах.

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

Наприклад, продуктивність норії  $Q_H$  визначають за 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 ковшів (для зерна – 0,75 – 0,9),  $V$  – швидкість руху ковшів (м/с),  $G$  – вантажна місткість ковша (кг),  $l$  – відстань між ковшами (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 ( $Q_L$ ):

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

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

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,  $\beta$  – 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 у виконанні певного вибору електродвигуна і, насамперед, перевірки на відповідність електропривода приводним характеристикам робочої машини (див. розділ вибору електропривода), режимам її роботи (постійне, короткочасне або повторно короткочасне тощо).

## 2.2. Розрахунок водопостачання

Розрахунок водопостачання проводять у такій послідовності: спочатку вибирають систему водопостачання (із застосуванням баштової або без баштової насосної установки), після вибирають спосіб подачі 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  $V_{B.P}$  і  $H_{B.P}$ , тобто щоб виконувалися такі умови:

$$V_B \geq V_{B.P} \text{ і } H_B \geq H_{B.P}.$$

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

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

де  $V_{РЕГ}$  – регульований об'єм води в баку водонапірної башти, м<sup>3</sup>;  $V_{АВ}$  – 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 ( $V_{РЕГ}$ , м<sup>3</sup>) орієнтовно можна визначити за формулою:

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

де  $Q_{СЕР.Д}$  – середньодобові витрати води в господарстві, м<sup>3</sup>;  $\alpha_d$  і  $\alpha_r$  – 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 ( $V_{АВ}$ , м<sup>3</sup>):

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

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

Протипожежний запас води ( $V_{ПОЖ}$ , м<sup>3</sup>):

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

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:

$$H_{б.р} = H_в + h + (Z_д - Z_б), \quad (2.12)$$

де  $H_в$  – 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;  $(Z_д - Z_б)$  – 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 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):

$$H_P = H_{ВС} + H_{НАГ} + h_{В.Н} = (Z_д - Z_б) + H_б + H_{БК} + h_{В.Н}, \quad (2.17)$$

де  $H_{BC}$  – 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:

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

де  $S$  – площа дна бака, м<sup>2</sup>.

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

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

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

Потужність електродвигуна у кВт визначають за формулою:

$$P_{НОМ.ДВ} = \frac{k_{ЗАП} \cdot P_{НАС}}{\eta_{ПЕР}}, \quad (2.19)$$

де  $k_{ЗАП}$  – 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);  $\eta_{ПЕР}$  – коефіцієнт корисної дії передачі;  $P_{НАС}$  – потужність насоса в розрахунковій точці, кВт, яку визначають за формулою

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

де  $Q_{НАС}$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с (якщо подача насоса задана в м<sup>3</sup>/Год, то її необхідно перевести в м<sup>3</sup>/с, тобто поділити на 3600);  $H_{НАС}$  – висота підйому води (напір), м;  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup> (для води  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup> (9,81 м/с<sup>2</sup>);  $\eta_{НАС}$  – 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 [9, 26].

### 2.3.1 Розрахунки та вибір обладнання вентиляційних систем

При виборі та розрахунках вентиляційних систем потрібно 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 [26];  $\alpha_1$  – 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;  $W_1, W_2$  – відповідно допустимий вміст водяної пари в приміщенні та в повітрі,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

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

$$W_1 = W_{H.П} + \frac{\varphi_{П}}{100}; \quad (2.23)$$

$$W_2 = W_{H.З.П} + \frac{\varphi_{З.П}}{100}, \quad (2.24)$$

де  $W_{H.П}$ ,  $W_{H.З.П}$  – відповідно вміст водяної пари при повному її насиченні і при оптимальній температурі в приміщенні та при розрахунковій температурі зовнішнього повітря,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $\varphi_{П}$ ,  $\varphi_{З.П}$  – відповідно відносна вологість повітря в приміщенні та зовнішньому повітрі [16].

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,  $\text{кДж}/\text{год}$ ;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт розширення повітря,  $1/^\circ\text{C}$ ; ( $\alpha = \frac{1}{273^\circ\text{C}^{-1}}$ );  $c_n$  – питома об'ємна теплоємність повітря,  $\text{кДж}/\text{м}^3$  (при  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $p = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ ,  $c_n = 1,283$ );  $t_n$ ,  $t_3$  – 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 [29] прийнято  $2,5 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{год.})$ .

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

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

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

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:

$$P_{oe} \geq \frac{\kappa_3 \cdot P_e}{\eta_{пер}}, \text{ кВт}, \quad (2.30)$$

де  $\kappa_3$  – коефіцієнт запасу, який залежить від типу і потужності вентилятора;  $\eta_{ПЕР}$  – коефіцієнт корисної дії приводу передачі.



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

Найбільшим споживачем гарячої води та пари в сільськогосподарському виробництві є тваринницькі господарства, особливо ферми великої рогатої худоби та свиноферми. 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:

$$P = \frac{\kappa_3 \cdot G \cdot c(t_2 - t_1)}{3600 \cdot \eta}, \quad (2.31)$$

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.

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

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 за формулою:

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

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 за формулою:

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

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 [9] 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

$$Q_{me} = 2,5 \cdot G_s, \quad (2.37)$$

де  $Q'_{me}$  – норма тепловиділення твариною, кДж/год·гол., (для птиці приймається із врахуванням живої ваги),  $n$  – кількість тварин (птиці),  $k_t$  – 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:

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

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, сталевого 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 [9]. 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> [9].

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 кваліфікаційної роботи)

#### 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 тощо); в) режим роботи і навантажувальну діаграму машини; г) характеристику оточуючого середовища, в якому буде працювати електропривод, та інші дані.

2. Визначають потужність електродвигуна, необхідного 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, необхідний 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, призначений для тривалого режиму 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 транспортери для прибирання гною, поршневі насоси тощо); двигуни з підвищеним ковзанням – для привода машин з різко змінним (ударним) навантаженням (кормопреси, компресори тощо), 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 необхідної 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 слід 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 і 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 в процесі роботи не змінюються (рис. 3.1) або змінюються в часі періодично з певною закономірністю, можна з достатньою для практики точністю розрахувати аналітично.

Так потужність насоса розраховують за формулою

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

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

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

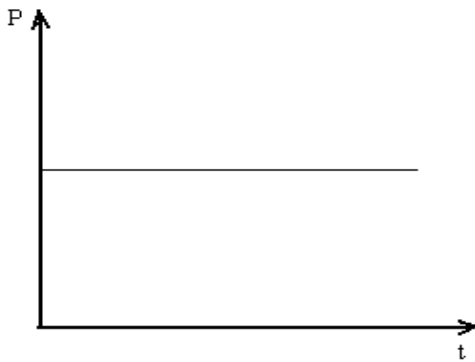


Рис. 3.1. Навантажувальна діаграма насосів і вентиляторів

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, м<sup>3</sup>/с;  
 $p$  – напір вентилятора, Па;  
 $\eta_B$  – ККД вентилятора.

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 і будують ступінчастий графік.

Для трапецеїдальної ділянки еквівалентна потужність визначиться так:

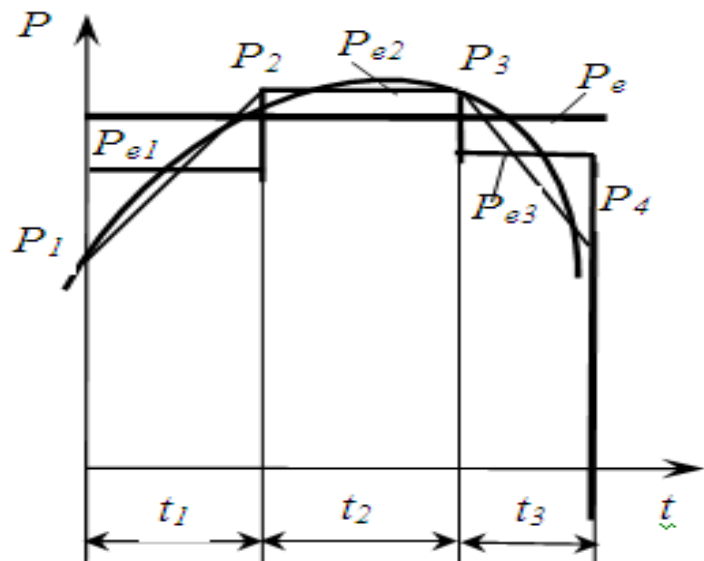


Рис. 3.2. Навантажувальна діаграма та її обробка

(3.6)

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

для трикутної ділянки:

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

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 і 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:

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

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

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

де  $K_{\text{зан}}$  – коефіцієнт запасу;  $\eta_{\text{пер}}$  – 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:

$$P_{\text{дв.ном}} \geq P_e; \quad (3.9)$$

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

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

де  $P_K$  – потужність, визначена за навантажувальною діаграмою;  $t_{p.\text{кат}}$  – каталогове значення тривалості роботи;  $t_{p.\text{ф}}$  – 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:

$$p_m = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{к.ф.}}{T_H}}}} \quad (3.15)$$

де  $t_{к.ф.}$  – 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:

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

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

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

де  $t_0$  – тривалість паузи;  $t_\psi$  – тривалість циклу.

Для повторно-короткочасного режиму роботи можна вибирати 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 та 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

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

де  $\tau_{дон}$  – допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, °С;  $\tau_{факт}$  – 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  $\tau_{дон}$  приймають 80 °С.

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

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



де  $M_{дин}$  – динамічний момент, Н·м;  $M_0$  – 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. 3.3).

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:

$$M'_к = 0,9 M_к; M'_{мін} = 0,8 M_{мін}; M'_н = 0,85 M_н,$$

наносять їх на графік і через одержані точки та точки –  $M'_н = M_н$  і  $M'=0$  проводять плавну криву –  $\Omega = f(M'_д)$ .

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

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

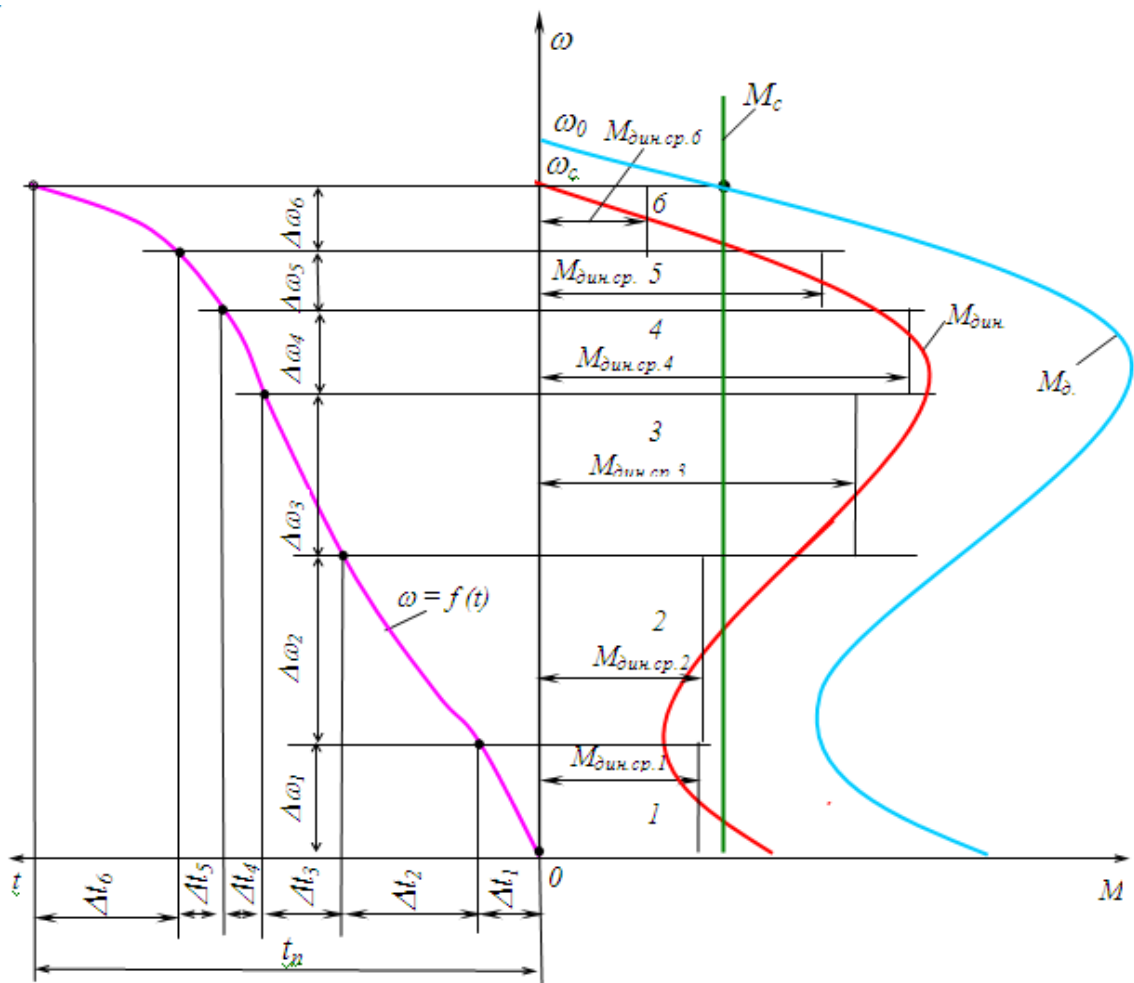


Рис. 3.3. Визначення часу пуску електропривода графоаналітичним способом

При цьому номінальний, критичний, мінімальний і пусковий моменти мають такі значення:  $M'_н = 0,9M'_{д.н.}$ ;  $M'_к = 0,9M'_{д.к.}$ ;  $M'_{д.мін} = 0,9M'_{д.мін}$ ;  $M'_{д.н} = 0,9M'_{д.н.}$ .

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

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  $n_{м.н.}$  – номінальне число обертів робочого органа машини, об/хв;  $n_n$  – номінальне число обертів 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 і робочої машини, 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

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

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

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

$$\Delta t_i = \frac{J_{зв} \Delta \omega_i}{M_{дин.ср.і}} \quad (3.37)$$

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

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

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

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

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

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

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

де  $P_{2.макс.}$  – 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  $\beta_i = P_2 / P_{ном.}$ . Розраховують коефіцієнт завантаження двигуна

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

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  $I_{макс.}$ .

Розраховують значення  $M_{макс.н.д.}$  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 і знову виконати його перевірку.

## 3.2. Розрахунок і вибір опромінювальних установок

### 3.2.1. Розрахунок установок у тваринництві

В сільському господарстві широкого розповсюдження набуло ультрафіолетове (УФ), видиме і інфрачервоне (ІЧ) опромінювання об'єктів. Ультрафіолетове опромінювання (УФО) є важливим фактором зовнішнього середовища. При утримуванні в приміщеннях у тварин і птиці виникає так зване «ультрафіолетове голодування», яке послаблює імунобіологічні властивості організму. УФО сільськогосподарських тварин і птиці оздоровлює їх, запобігає виникненню рахіту, сприяє росту молоді (поросят, телят тощо) підвищує продуктивність тварин і яйценосність птиці. Опромінювання особливо необхідне в зимовий період, коли інтенсивність природного УФО Сонця незначна, і тварини, що знаходяться в приміщенні не можуть її використовувати, тому відчувають потребу в вітамінах, особливо у вітаміні D. УФО сприяє кращому утворенню провітаміну активно діючого вітаміну D. Денна доза УФО визначається в антирахітних, ерітемних або енергетичних одиницях.

Для УФО застосовуються стаціонарні установки (ОЕ1, 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 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:

$$n = \frac{\pi^2 \cdot V \cdot H_E \cdot h_P}{2 \cdot \Phi_E \cdot K \cdot \sin \alpha}, \quad (3.44)$$

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:

$$h_p = \frac{2 \cdot \Phi \cdot K \cdot \sin \alpha \cdot n}{\pi^2 \cdot V \cdot H_E}, \quad (3.45)$$

де  $n$  – ціле число проходів.

Таблиця 3.1 - Рекомендовані дози ультрафіолетового опромінювання тварин і птиці [9, 14]

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

### 3.2.2. Розрахунок опромінювальних установок у рослинництві

Важливим фактором навколишнього середовища для росту рослин є світло, під дією якого відбувається процес фотосинтезу. Зимою 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:

$$P = P_{\text{пит}} \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (3.46)$$

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. 3.2). Північні, західні, центральні й східні області України відносяться до IV світлової зони, південні – до V, АР Крим – до VI зони.

Необхідна кількість опромінювачів:

$$n = P / P_{\text{опр}}, \quad (3.47)$$

де  $P_{OPP}$  – установлена потужність опромінювача, кВт.

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

Установка	ОТ-400М			УОРТ-15-400			УОРТ-6-1000		
Опромінювач	ОТ-400МИ, ОТ-400МЕ			ГСП26-400 (ЖСП18-400)			ГСП26-1000		
Лампа	ДРЛФ-400			ДРИ-400 (ДНаТ-400)			ДРИ-1000		
Характеристик а опромінювача	Світлова зона			Світлова зона			Світлова зона		
	IV	V	VI	IV	V	VI	IV	V	VI
Питома потужність, Вт/м <sup>2</sup>	10	00	0	4	0	2	4	0	2
Кількість опромінювачів на 1000 м <sup>2</sup> , шт.	76	50	00						
Тривалість опромінення за вегетацію, год	80	80	80	49	49	49	49	49	49
Витрата електроенергії, кВт·год./м <sup>2</sup>	3	8	8	5	5	1	4	0	2

### 3.3. Вибір електронагрівальних установок

#### 3.3.1. Вибір електричних водонагрівачів

Нагрівати воду для потреб тваринницьких і птахівницьких ферм, парниково-тепличних господарств, майстерень та інших сільськогосподарських споживачів можна за допомогою елементних та електродних електроводонагрівників.

Промисловість випускає ємкісні та проточні водонагрівники.

Необхідну 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 нижчою температурою, її змішують із холодною.

Розрахунок встановленої потужності і вибір електронагрівників залежить від їх призначення:

- для електронагрівників ємкісного типу

$$P = \frac{\kappa_3 c V (\theta_k - \theta_n)}{3600 t \eta}; \quad (3.48)$$

- для електронагрівників проточного типу

$$P = \frac{\kappa_3 c G (\theta_k - \theta_n)}{3600 \eta}, \quad (3.49)$$

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 теплоізольованих  $\eta=0,9-0,95$ , для неізольованих  $\eta = 0,7-0,8$ ).

Тип водонагрівника вибирають залежно від температури, кількості та якості потрібної господарству теплої води і умов її розподілу між споживачами. Під час вибору треба враховувати також простоту конструкції, надійність роботи і 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.

### **3.3.2. Вибір установок для місцевого обігрівання тваринницьких і птахівницьких приміщень**

Місцеве обігрівання використовується для створення локальних зон підвищених температур у місцях безпосереднього розміщення тварин або птиці.

У системах водяного електроопалення гарячу воду одержують від електричних водонагрівників типів ЕКВ, ЕПЗ, 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 виконують 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:

$$Q_n = Q_v + Q_{ог} - Q_{то} - Q_{тв}, \quad (3.50)$$

де  $Q_n$ ,  $Q_v$ ,  $Q_{ог}$ ,  $Q_{то}$ ,  $Q_{тв}$  – відповідно потік тепла від теплової установки, втрати тепла з вентиляцією, втрати тепла через огорожі приміщення, тепло від



технологічного обладнання та випаровування вологи від тварин або інших об'єктів тепловиділення, кДж/год.

Втрати тепла з вентиляцією ( $Q_B$ ) або кількість тепла для нагрівання припливного повітря визначають за формулою:

$$Q_B = L_p \cdot c(t_6 - t_3), \quad (3.51)$$

де  $L_p$  – розрахунковий повітрообмін, м<sup>3</sup>/год,  $c$  – теплоємність повітря  $c = 1,3$  кДж/(м<sup>3</sup>·°C),  $t_6, t_3$  – температура внутрішнього та зовнішнього повітря, °C.

Втрати тепла через огорожі приміщення визначають за формулою:

$$Q_{oz} = \kappa_t \cdot F_n(t_6 - t_3), \quad (3.52)$$

де  $\kappa_t$  – коефіцієнт теплопередачі (вікна, двері, стіни, стеля тощо), кДж/(м<sup>2</sup>·год·°C),  $F_n$  – поверхня огорожень, м<sup>2</sup>.

Теплота від технологічного обладнання згідно з [9] становить 0,15...0,2  $Q_{oz}$ .

Теплота від випаровування вологи:

$$Q_{m\epsilon} = Q'_{m\epsilon} \cdot n \cdot \kappa_t, \quad (3.53)$$

або

$$Q_{m\epsilon} = 2,5 \cdot G_\epsilon, \quad (3.54)$$

де  $Q'_{m\epsilon}$  – 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,  $G_\epsilon$  – кількість вологи, яка випаровується з різних огорожуючи та технологічних конструкцій, г/год.

Потужність установки для опалення:

$$P = \frac{Q_n}{3600 \cdot \eta}, \quad (3.55)$$

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:

$$P_n = P_o \cdot F, \quad (3.56)$$

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 [9]. 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:

$$F = \frac{N}{\Delta N}, \quad (3.57)$$

де  $N, \Delta N$  – відповідно загальна кількість тварин чи птиці та щільність посадки, гол/м<sup>2</sup> [9].

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

У парниках (типовий 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 тощо, а для обігріву ґрунту – нагрівальні проводи.

Потужність між нагрівальними елементами ґрунту і повітря розподіляють [9, 14] в співвідношенні: для парників 1/2 або 2/1, для теплиць – 1/2.

Розрахунок потужності електрообігріву здійснюється по формулі:

$$P = \kappa \cdot F_n (t_g - t_z) \cdot 10^{-3}, \quad (3.58)$$

де  $\kappa$  – зведений коефіцієнт теплопередачі через огорожуючу 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.

### 3.3.4. 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 теплоаккумуляцією. Вони можуть забезпечувати повне опалення приміщення або в якості часткового, наприклад підігрів підлоги, стін, стелі у приміщенні.

Основні пристроями, які підлягають вибору такої системи опалення:

- 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 [12].

*Вихідні дані.*

Нагрівальна секція укладається в підлогу приміщення площею  $16,0 \text{ м}^2$ , розташованого на першому поверсі будинку. Ескіз плану підлоги з укладеною нагрівальною секцією наведено на рис. 3.4, а розріз підлоги – на рис. 3.5.

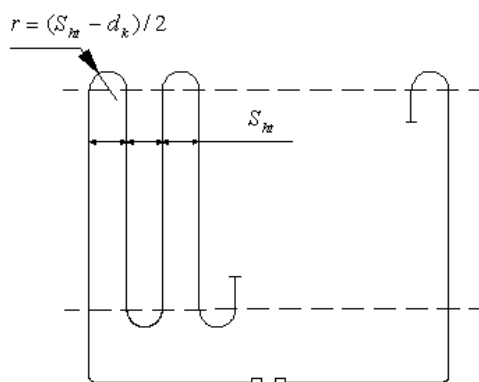


Рис 3.4. Схема укладання нагрівального кабелю:

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

Шари, розташовані вище нагрівального кабелю:

- цементно-піщана стяжка: товщина  $m_{si1} = 0,03$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si1} = 0,93$  Вт/(м $\cdot$ °С);
- клеюча мастика: товщина  $m_{si2} = 0,001$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si2} = 0,17$  Вт/(м $\cdot$ °С);
- підоснова: товщина  $m_{si3} = 0,003$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si3} = 0,047$  Вт/(м $\cdot$ °С);
- лицьове покриття: товщина  $m_{si4} = 0,003$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{si4} = 0,33$  Вт/(м $\cdot$ °С).

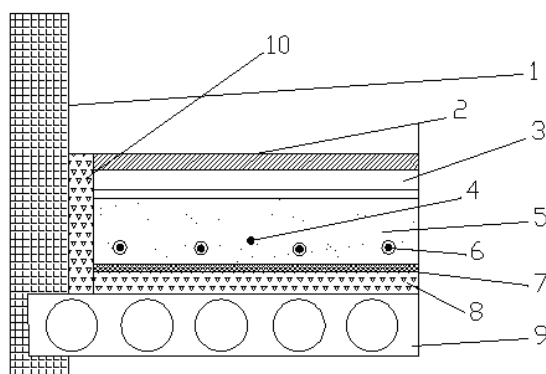


Рис. 3.5. Приклад розрізу підлоги з укладеною нагрівальною секцією:

- 1 – стіна; 2 – лицьове покриття; 3 – підоснова; 4 – датчик температури; 5 – стяжка; 6 – нагрівальний кабель; 7 – монтажна стрічка; 8 – теплоізоляція; 9 – плита міжповерхового перекриття; 10 – торцева теплоізоляція

Шари, розташовані нижче нагрівального кабелю:

- цементно-піщана стяжка: товщина  $m_{se1} = 0,01$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se1} = 0,93$  Вт/(м $\cdot$ °С);
- теплоізоляція: товщина  $m_{se2} = 0,05$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se2} = 0,041$  Вт/(м $\cdot$ °С);
- плита міжповерхового перекриття: товщина  $m_{se3} = 0,25$  м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{se3} = 1,74$  Вт/(м $\cdot$ °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:

$$R_{si} = \frac{m_{si1}}{\lambda_{si1}} + \frac{m_{si2}}{\lambda_{si2}} + \frac{m_{si3}}{\lambda_{si3}} + \frac{m_{si4}}{\lambda_{si4}} + \frac{1}{\alpha_{si}} = \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,003}{0,047} + \frac{0,003}{0,33} + \frac{1}{9,9} = 0,212(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$$

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

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

Визначимо теплову потужність нагрівальної секції:

$$Q_{ht}^{req} = Q_{ht}^v \cdot \frac{R_{si} + R_{se}}{R_{se}} = 1170 \cdot \frac{0,012 + 1,418}{1,418} = 1345 \text{ Вт}.$$

Визначимо електричну потужність нагрівальної секції:

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

Визначаємо довжину нагрівального кабелю:

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

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  $K_r = 8,9 \geq K_{rd} = 6$ .

### 3.4. Розрахунок та вибір електротехнологічного обладнання

На сьогодні 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 [12, 26].

Питання застосування електротехнологічного обладнання настільки актуальне, що розробка та вибір такого обладнання сьогодні може бути однією з

найважливіших частин бакалаврської кваліфікаційної 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 тощо). В багатьох технологічних процесах електрична 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 тощо), сепарації (очищення зернових, рису, олійних рослин), аероіонізації (очищення і оздоровлення 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.

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 тощо), який необхідно нанести в одиницю часу:

$$N_p = \frac{Q_m}{D_k}, \quad (3.59)$$

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:

$$Q_m = Q_n \cdot S \cdot \frac{V}{n}, \quad (3.60)$$

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

Витрати матеріалу на одне нанесення:

$$Q_n = \frac{\rho \cdot h}{k \cdot C_{cx}}, \quad (3.61)$$

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 покрить).

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 за наступною формулою:

$$G = 3,6 \frac{g \cdot l}{T \cdot a}, \text{ т/год.} \quad (3.62)$$

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 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:

$$P = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ Вт}, \quad (3.63)$$

де  $\omega$ ,  $C$ ,  $U$ ,  $\operatorname{tg} \delta$  – відповідно кутова частота ( $\omega = 2\pi f$ ), ємкість, 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*, *Kronseder*, “Інфракон“, “Ігрис“ тощо.

Значна увага в бакалаврських кваліфікаційних 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 тощо [29].

Заслугує інтерес для використання в спеціальній частині дипломної роботи бакалавра і застосування акустичних коливань [17] при виробництві та переробці продукції сільського господарства, процесах очищення, диспергування, передпосівної обробки насіння, приготуванні кормів, обробки соків, олій, 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.

### **3.5. 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 обсягу випуску продукції за певний період.

Визначення розрахункової потужності за питомими показниками доповнює перші три методи і 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 та 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  $k_u \geq 0.6, k_{вкл} = 1$  і коефіцієнт заповнення добового графіка за найбільш навантажену зміну  $k_{зап} \geq 0.9$ . За відсутності таких даних електроприймачі відносять до електроприймачів зі змінним графіком навантаження.

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

$$P_M = K_M P_{CM}; \quad Q_M = K'_M Q_{CM}; \quad S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (3.64)$$

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  $n_{ef} \leq 10$  і  $K'_M = 1$  за  $n_{ef} > 10$ ;  $P_{CM}, Q_{CM}$  – середня активна і реактивна потужності всієї групи електроприймачів за найбільш навантажену зміну:

$$P_{CM} = \sum_{i=1}^n P_{CMi} = \sum_{i=1}^n k_{Ui} P_{НОМi}; \quad Q_{CM} = \sum_{i=1}^n P_{CMi} tg \varphi_i, \quad (3.65)$$

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

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



$$k_U = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ}}, \quad (3.66)$$

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 і група фактично різних за номінальною потужністю режимів роботи електроприймачів. Ефективне число електроприймачів  $n_{ef} = f(n, m, K_U, P_{НОМ})$  може бути визначене за формулою:

$$n_{ef} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст_i}^2}. \quad (3.67)$$

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

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

*Приклад.* В табл. 3.3 наведено перелік технологічного обладнання та електроприймачів в майстерні, їх кількість, а також значення  $P_{вст}$ ,  $P_{ср}$ ,  $Q_{ср}$ ,  $K_B$  та  $\cos\phi$  підраховані для кожного електроприймача.

Таблиця 3.3 - Примірний перелік електрообладнання ремонтної майстерні

№ з/п	Назва електроприймачів	Кількість	$P_{уст}$ , кВт	$Q_{ср}$ , кВАр	$K_B$	$P_{ср}$ , кВт	$\cos\phi$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Очищувач пароводоструменевий	1	2,2	0,37	0,3	0,66	0,87
2.	Стаціонарний пост змашування	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	0,165	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

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
12.	Заточувальний 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.	Електроножиці	1	0,38	0,55	0,3	0,11	0,7
19.	Вертикально-свердлильний 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.	Обдирно-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	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. 3.3  $n_{ef} = \frac{300^2}{5083,45} = 17,7 \approx 18$ .

При  $n_{ef} = 18$  знаходимо коефіцієнти використання і максимуму навантажень, згідно довідникових даних [10]. При  $\kappa_e = 0,46$ ;  $\kappa_{max} = 1,23$ .

Розраховуємо повне максимальне навантаження:

$$P_{роз.маx} = \kappa_e \cdot \kappa_{max} \cdot \sum P_{вст.}, \quad (3.68)$$

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

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

Визначаємо повний максимум навантаження:

$$S_n = \sqrt{P_{роз.маж}^2 + Q_{роз.маж}^2} \quad (3.69)$$

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

Струм навантаження на вводі:

$$I_{роз.маж} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (3.70)$$

$$I_{роз.маж} = \frac{178,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 271,1 \text{ А.}$$

Марка і переріз провoda на вводі буде А (3×95+1×50) [29].

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:

$$P_{СПОЖ} = \frac{K_3 P_{НОМ}}{\eta}, \text{ кВт;} \quad (3.71)$$

$$Q_{СПОЖ} = P_{СПОЖ} tg\varphi, \text{ кВАр,} \quad (3.72)$$

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:

$$P_E = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (3.73)$$

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:

$$S = \sqrt{P_e^2 + Q_e^2} \quad (3.74)$$

де  $P_e, Q_e$  – відповідно максимальна активна та реактивна споживані потужності, які беруть з графіка навантажень.

**Приклад.** Визначити розрахункове навантаження на вводі в цех із переробки молока продуктивністю 15 т на добу. Технічні характеристики та графік його роботи наведено в табл. 3.4 та на рис. 3.6.

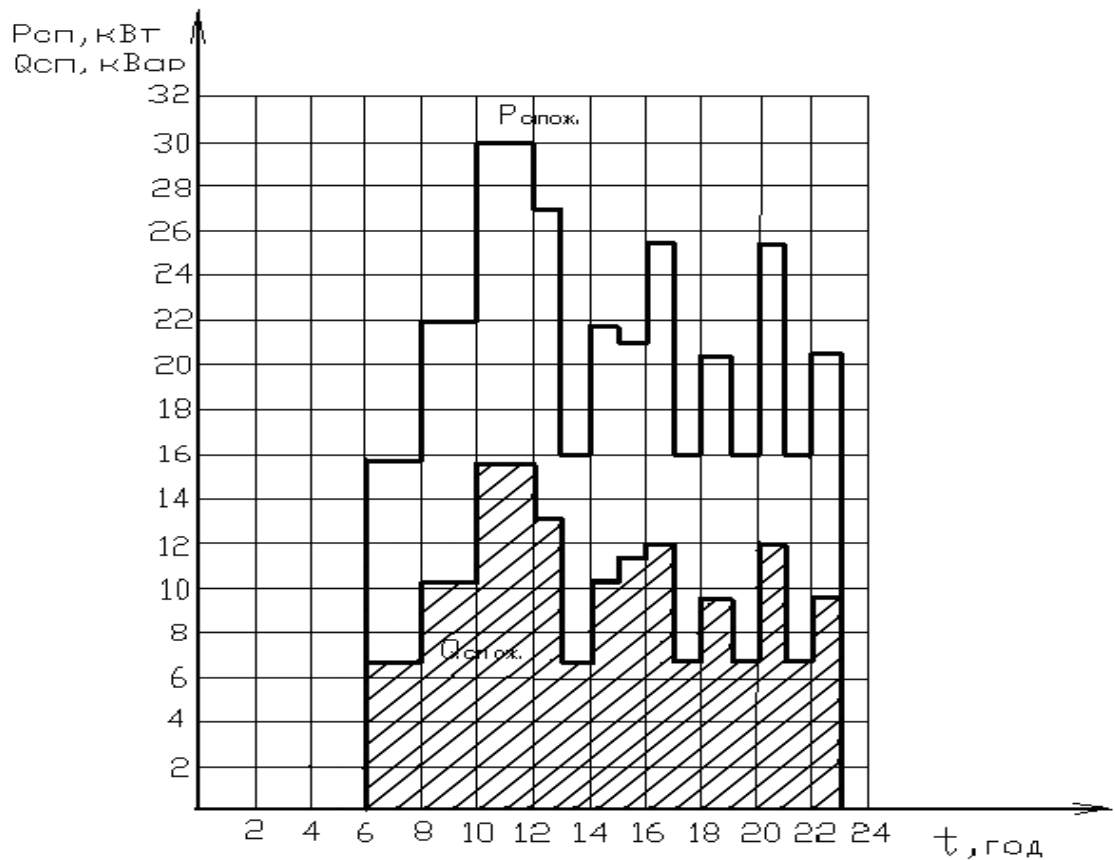


Рис. 3.6. Графік навантажень цеху з переробки молока

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

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

Розрахунковий струм на вводі розраховуємо за формулою:

$$I_{розр} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А,} \tag{3.75}$$

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

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

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



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

Електричні проводки поділяються на зовнішні, внутрішні та вводи від повітряних ліній. Проводи та кабелі вибирають за тривало допустимим струмом і розрахунок зводять до вибору їх площі поперечного перерізу із врахуванням матеріалу проводів (кабелів) та способу прокладання [9].

Розрахунок і вибір проводимо згідно з умови:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{розр.}, \quad (3.76)$$

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

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

– для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.77)$$

– для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.78)$$

- для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.79)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

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

$$I_{розр.} = k_0 \sum I_{ном(розр.)}, \quad (3.80)$$

де  $k_0$  – 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 (провід, кабель) та способу прокладання.

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

Розрахунок втрат напруги можна здійснювати за формулами:

$$\Delta U, \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot l (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n} \cdot 100 \quad (3.81)$$

або

$$\Delta U, \% = \frac{\sum (P_{розр.} \cdot l)}{c \cdot S}, \quad (3.82)$$

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;  $P_{POЗP}$  – розрахункова потужність виробничого об'єкта;  $S$  – поперечний переріз проводу-вводу;  $c$  – коефіцієнт, який залежить від напруги, матеріалу проводу і числа фаз (для трифазної лінії  $c = \frac{\gamma \cdot U_{л}^2}{10^3}$ , де  $\gamma$  – питома провідність матеріалу проводу).

Розрахунок втрат здійснимо за формулою (3.81) на наступному прикладі.

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

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

Струм навантаження:

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

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%.

### 3.7. Вибір пускозахисної апаратури

Електричні апарати, що застосовуються для комутації (замикання і перемикавання, розмикання і перемикавання) 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 коли 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.

### 3.7.1. Вибір автоматичних вимикачів

Структура умовного позначення автоматичних вимикачів серій А37, АЕ20, ВА51, ВА16, ВА14. АП50Б наведена в [9].

Автоматичні вимикачі вибирають:

- за серією;
- за напругою:  $U_{A.H} \geq U_{MEP}$ ;
- за номінальним струмом: автоматичного вимикача:  $I_{A.H} \geq I_{ДВ.Н}$  та максимальних розчіплювачів струму:  $I_{P.H} \geq I_{ДВ.Н}$ ;
- за струмом уставки електромагнітних розчіплювачів і типом захисної характеристики (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. 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 (багатополюсні асинхронні електродвигуни, освітлювальні установки з газорозрядними лампами)
D	$(10 - 20) I_{ном}$	Електроустановки зі значними пусковими струмами (трансформатори, двополюсні асинхронні електродвигуни тощо)

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

а) під час захисту одного двигуна:

$$I_{У.ЕМ.Р} = K_{ВЦС} \cdot I_{P.H} \geq K_3 \cdot K_{P.P} \cdot K_{P.П.С} \cdot K_I \cdot I_{ДВ.Н} = (1,45 - 1,6) \cdot K_I \cdot I_{ДВ.Н}, \quad (3.83)$$

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);  $K_{P.П.С}$  – коефіцієнт



розкиду пускових струмів двигуна ( $K_{P.П.С} = 1,1$ );  $K_I$  – кратність пускового струму двигуна;  $I_{ДВ.Н}$  – 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:

$$I_{у.емр.} = K_{відс} \cdot I_{р.ном} \geq K_z \cdot K_{р.р.} \left( \sum_1^{n-1} I_{дв.ном.} + K_{р.п.с.} \cdot K_{i.нб.} \cdot I_{дв.ном.нб.} \right). \quad (3.84)$$

**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.

### 3.7.2. 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 [9].

**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.

### 3.7.3. 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 характеристики 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:  
 $I_{Р.МАКС.} \geq I_{Н.ДВ} \geq I_{Р.МИН.}$

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

*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–О4,  $I_{т.р.н.} = 25 \text{ А}$ ;  $I_p = 7–10 \text{ А}$ .

### 3.7.4. Вибір електромагнітних пускачів

Електромагнітні пускачі вибирають:

– за серією: ПМЛ, тощо;

– за призначенням (реверсивний, неревверсивний, 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 неревверсивні 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 АС3 і АС4) – так, щоб струм комутації пускачем  $b \cdot I_{НОМ.Р}$  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, указаних 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 [29] 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.

### 3.7.5. 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 і 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 і 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 комутованим 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 і перемикачі вибираються так, щоб номінальний струм вимикача був не менше найбільшого робочого струму навантаження (пускового струму асинхронного двигуна):

$$I_{в.ном} \geq I_{роб}, \quad I_{в.ном} \geq I_{пуск}.$$

Окрім того, пакетні вимикачі і 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 вони вибираються. 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 і 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.

### **3.7.6. Вибір низьковольтних комплектних пристроїв (НКП)**

В сучасному електроприводі сільськогосподарських машин і агрегатів широко використовуються низьковольтні комплекти пристроїв – 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 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 багато швидкісними 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 [23].

**Приклад.** Вибрати ящик керування електроприводом гноєприбирального транспортера ТСН–160. Номінальний струм двигуна похилого транспортера АИР100L6БСУ2 становить 5,6 А, горизонтального АИР112МВ6БСУ2 – 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.

### 3.7.7. 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 спрацьовувати під час пускового струму нормальної тривалості [9].

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,  $\kappa_p = 1,25$ );  $I_{H.AB}$ ,  $I_{ВДС}$  – відповідно номінальний струм автоматичного вимикача та струм відсічки.

Струм однофазного короткого замикання визначають за формулою:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{ткз}}{3} + Z_n}, \quad (3.85)$$

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

Для практичних розрахунків можна використовувати наступну формулу:

$$\frac{Z_{ткз}}{3} = \frac{26}{S_H}, \quad (3.86)$$

де  $S_H$  – номінальна потужність трансформатора.

Опір  $Z_n$  – визначають за формулою:

$$Z_n = \sqrt{(\sum R_n)^2 + (\sum X_n)^2}, \quad (3.87)$$

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.

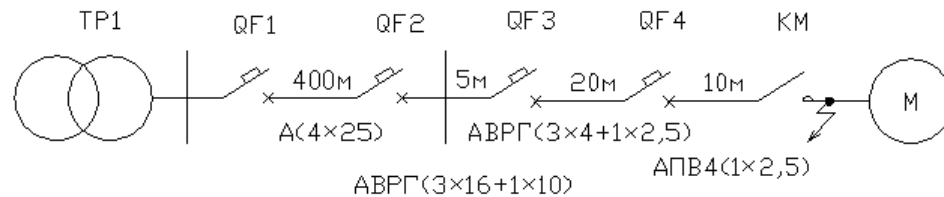


Рис. 3.7. Принципова електрична схема для розрахунку одно та трьох фазного короткого замикання

$$S_H = 250 \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{кз} = 3700 \text{ Вт};$$

$$\Delta U_k = 4,5\% .$$

$$\text{АИР100L4У3};$$

$$P_H = 4,0 \text{ кВт};$$

$$I_H = 8,5 \text{ А};$$

$$K_t = 7.$$

Визначаємо загальний активний опір:

$$\sum R_n = R_{1фн} + R_{2фн} + R_{3фн} + R_{4фн} + R_{конт}, \quad (3.88)$$

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

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

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

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

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  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ ):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Визначаємо загальний індуктивний опір:

$$\sum X_n = 2 \cdot X_{\phi n}^1 + X_m^{11} \quad (3.89)$$

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

Наведені опори визначають за формулами:

$$X_{\phi n}^1 = 0,145 \cdot \lg l_{\phi n} = 0,377 \text{ Ом/км,} \quad (3.90)$$

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

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:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{мкз}}{3} + Z_n} = \frac{220}{0,104 + 1,78} = 116,8 \text{ А.}$$

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:

$$I_{гр.вим} \geq I_{кз}^{(3)} \quad (3.91)$$

Струм трифазного короткого замикання визначають за формулою:

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_k)^2 + (\sum X_k)^2}}, \quad (3.92)$$

де  $\sum R_k$ ,  $\sum X_k$  – відповідно загальні суми активної та реактивної складових опору трифазної мережі короткого замикання.

Визначаємо:



$$\sum R_k : \sum R_k = R_m + R_\phi + R_{\text{конт}}, \quad (3.93)$$

де  $R_m, R_\phi$  – відповідно активний опір трансформатора та фази до точки короткого замикання.

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

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

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

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

Визначаємо:

$$\sum X_k : \sum X_k = X_m + X_\phi, \quad (3.94)$$

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

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}, \quad (3.95)$$

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

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

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

Визначаємо повний опір при трифазному короткому замиканні:

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

Струм короткого замикання визначаємо по формулі (3.92):

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

Визначаємо ударний струм трифазного короткого замикання:

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

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

Для вибору автомата на шинах трансформатора:

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

$$i_{\text{уд}} = 7,7 \cdot 1,41 = 10,87 \text{ кА}.$$

Тут приймаємо автомат (QF1) ВА51-3134.

### 3.7.8. Перевірка умов пуску асинхронних двигунів

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

Прямий пуск двигунів із короткозамкненим 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 [23]:

$$\Delta U_{\text{факт.л.}} \% = \Delta U_1 \% + \frac{Z_{\text{л}} + Z_{\text{мп}}}{Z_{\text{л}} + Z_{\text{мп}} + Z_{\text{ел.дв.}}} \cdot 100\% , \quad (3.96)$$

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

Наведені у виразі (3.96) параметри визначають за відповідними формулами:

$$\Delta U_1 \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{наг}} \cdot l \cdot (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_{\text{н}}} \cdot 100\% , \quad (3.97)$$

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

При відсутності інформації про струм навантаження втрати напруги в лінії визначають по формулі ( $\Delta U_{\text{л}}$ , %):

$$\Delta U_{\text{л}} \% = \frac{(r_0 \cdot P + x_0 \cdot Q) \cdot l}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 100\% , \quad (3.98)$$

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

$$Z_{\text{л}} = \sqrt{R_{\text{л}}^2 + X_{\text{л}}^2} , \quad (3.99)$$

де  $R_{\text{л}}$ ,  $X_{\text{л}}$  – активний та реактивний опір лінії.

$$Z_{\text{мп}} = \frac{U_{\text{к}} \% \cdot U_{\text{н}}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{н}}} = \frac{\Delta U_{\text{к}} \% \cdot U_{\text{н}}^2}{100 \cdot S_{\text{н}}} , \quad (3.100)$$

де  $U_{\text{к}}\%$  – напруга короткого замикання трансформатора;  $U_{\text{Н}}$ ,  $I_{\text{Н}}$ ,  $S_{\text{Н}}$  – відповідно номінальні напруга, струм та потужність трансформатора.

$$Z_{\text{дв}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot k_{\text{л}} \cdot I_{\text{н}}} , \quad (3.101)$$

де  $k_{\text{л}}$  – кратність пускового струму електродвигуна;  $U_{\text{Н}}$ ,  $I_{\text{Н}}$  – 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  $Z_{\text{ТР}}$  та  $Z_{\text{ДВ}}$ . ( $Z_{\text{л}}$  відоме і дорівнює 0,583 Ом):

$$Z_{\text{мп}} = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 250000} = 0,03 \text{ Ом.}$$

$$Z_{\text{дв}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 8,5} = 3,69 \text{ Ом.}$$

Тоді

$$\Delta U_{\text{факт.л.}} \% = 7 + \frac{0,583 + 0,03}{0,583 + 0,03 + 3,69} \cdot 100\% = 7 + 14,2 = 21,2\%$$

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.

### **3.8. Розрахунок і вибір елементів системи електропостачання сільськогосподарських споживачів**

#### **3.8.1. Вихідні дані**

Вихідними даними для проектування систем електропостачання (СЕР) 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 споживачих 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 СЕР, крім вищезазначеного, до вихідної включається інформація про електричне обладнання трансформаторних підстанцій, релейний захист, автоматику, телекомунікаційні засоби тощо.

#### **3.8.2. 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 за наведеною установленою потужністю струмоприймачів, розрахунковим навантаженням на вводі в денний ( $P_D$ ) і вечірній ( $P_B$ ) максимуми, та потужністю 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 сільський житловий будинок визначають за номограмою [32], виходячи із існуючого споживання електроенергії із 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:

$$P_D = K_D P; \quad P_B = K_B P. \quad (3.102)$$

Знайдені навантаження на вводах споживачів електричної енергії записують у табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Розрахункові навантаження на вводах споживачів електричної енергії

№ з/п	Назва споживача	Кількість, шт.	Розрахункове навантаження, кВт	
			Денне, $P_D$	Вечірнє, $P_B$

### 3.8.3. Розрахунок сумарної потужності населеного пункту

При розрахунку сумарної потужності споживачі 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:

$$P_D = K_O \sum_{i=1}^n P_{Di}; \quad P_B = K_O \sum_{i=1}^n P_{Bi}, \quad (3.103)$$

а потужність груп – за допомогою добавок [32]:

$$P = P_B + \Delta P(P_M), \quad (3.104)$$

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:

$$P_{B.O.} = P_{B.H.} L_B 10^{-3}, \quad (3.105)$$

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:

$$P_{3.O.} = (250 N_{\Pi\Pi} + 3 L_{\Pi}) 10^{-3}, \quad (3.106)$$

де  $N_{\Pi\Pi}$  – кількість приміщень, шт.;  $L_{\Pi}$  – 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.

### 3.8.4. Розрахунок системи електропостачання сільського населеного пункту

#### 3.8.4.1. Розрахунок кількості та вибір місць розташування споживчих трансформаторних підстанцій ТП-10/0,4 кВ

Кількість трансформаторних підстанцій у населеному пункті можна обчислити за формулою:

$$n_{ТП} = \sqrt{\frac{S_P F B}{\Delta U_{доп}}}, \quad (3.107)$$

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  $B = 0,06...0,07 \%/км$ );  $\Delta U_{доп}$  – 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.

#### 3.8.4.2. 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  $P_B$  максимумах:

$$P_D = K_O \sum_{i=1}^n P_{Di}; \quad P_B = K_O \sum_{i=1}^n P_{Bi}, \quad (3.108)$$

де  $P_{Дi}$ ,  $P_{Вi}$  – розрахункові навантаження на вводі житлового будинку, відповідно у денний і вечірній час, кВт;  $K_0$  – 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:

$$P_{Д} = P_{ДБ} + \Delta P(P_{ДМ}); \quad P_{В} = P_{ВБ} + \Delta P(P_{ВМ}), \quad (3.109)$$

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. 3.7).

Таблиця 3.7. Розрахунок навантажень ліній 0,38 кВ

Ділянка лінії	Денне навантаження, кВт				Вечірнє навантаження, кВт			
	$P_{ДБ}$	$P_{ДМ}$	$\Delta P(P_{ДМ})$	$P_{Д}$	$P_{ВБ}$	$P_{ВМ}$	$\Delta P(P_{ВМ})$	$P_{В}$

### 3.8.4.3. 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  $S_{Д}$  або вечірнього  $S_{В}$  навантажень ділянки лінії). Границі економічних інтервалів для вибору перерізів проводів лінії 0,38 кВ наведено в [32].

Повна потужність (денна  $S_{Д}$  та вечірня  $S_{В}$ ) 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. 3.8.

Переріз проводів ліній 0,38 кВ потрібно перевірити на допустиму втрату напруги аналогічно тому, як це виконується при розрахунках лінії 10 кВ.

Таблиця 3.8. Розрахунки щодо вибору перерізів проводів лінії 0,38 кВ

Ді-лянка	Денне навантаження			Вечірнє навантаження			$S_M$ , кВА	П р о в і	Втрата напруги, %	
	$P_{Д}$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_{Д}$ , кВт	$P_{В}$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_{В}$ , кВт			На ділянці	Від ТП

								Д		
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--

### 3.8.4.4. 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 і-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. 3.9).

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.

Таблиця 3.9. Паспортні дані силового трансформатора ТП 10/0,4 кВ

Тип	Номінальна потужність, кВА	Напруги обмоток, кВ		Схема і група з'єднань обмоток	Втрати, Вт			Напруга короткого замикання $U_k$ , %	Струм холостого ходу $I_{xx}$ , А
		ВН	НН		холостого ходу		Короткого замикання		
					рівень А	рівень Б			

### 3.8.4.5. 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. 3.10).

Таблиця 3.10. Коефіцієнт зростання навантаження

Вид споживачів	Розрахунковий рік		
	5	7	10
Виробничі	1,3	1,4	2,1
Змішані	1,3	1,4	2,0
Комунально-побутові	1,2	1,3	1,8

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. 3.11.

Таблиця 3.11. Розрахункові навантаження ТП-10/0,4 кВ

№ з/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. 3.12.

Переріз проводів лінії 10 кВ вибирають з використанням економічних інтервалів потужностей залежно від еквівалентної потужності  $S_E$  на ділянці лінії.

Таблиця 3.12. Розрахунок навантажень на ділянках лінії 10 кВ

Ді- лян	Н а в а н т а ж е н н я		
	Вид	Денне, кВт	Вечірнє, кВт



ка		P <sub>ДБ</sub>	P <sub>ДМ</sub>	Δ P(P <sub>ДМ</sub> )	P <sub>Д</sub>	P <sub>ВБ</sub>	P <sub>ВМ</sub>	Δ P(P <sub>ВМ</sub> )	P <sub>В</sub>
6-7	P <sub>ВИР</sub>								
	P <sub>ЗАГ</sub>								

Еквівалентна потужність ділянки лінії 10 кВ  $S_E$  дорівнює:

$$S_E = K_D S_M, \quad (3.112)$$

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. 3.13.

Таблиця 3.13. Результати розрахунків з вибору перерізів проводів лінії 10 кВ

Ді- лянк- 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	$\frac{P_{ВИР}}{P_{ЗАГ}}$	$\cos \varphi$				

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:

$$\sum \Delta U_i < \Delta U_{доп}. \quad (3.113)$$

Фактична втрата напруги на  $i$ -й ділянці лінії (%):

$$\Delta U_i = [(P_i r_i / U_H) + (Q_i x_i / U_H)] 100 / U_H, \quad (3.114)$$

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:

$$\sum \Delta U_i = \sum_{i=1}^n \Delta U_i. \quad (3.115)$$

У загальному випадку фактичні втрати 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. 3.14.

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.

Таблиця 3.14. Відхилення напруги на споживчих ТП

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				

### 3.8.4.6. 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:

$$S_p = \frac{\sum P_b}{\cos \varphi} \cdot 1,12, \quad (3.116)$$

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.

### 3.8.4.7. Обґрунтування параметрів та первинної електричної схеми РТП

При навантаженні РТП, що дорівнює 10000 кВА і вище забороняється встановлювати один силовий трансформатор. Це пов'язано 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):

$$S_{pT} = \frac{S_p}{2}. \quad (3.117)$$

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 вводів 10 кВ та ліній 10 кВ. Рівень автоматики РТП повинен передбачати експлуатацію РТП без обслуговуючого персоналу.

### 3.8.4.8. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання розпочинають зі складання спрощеної схеми електричної мережі із зазначенням розрахункових точок

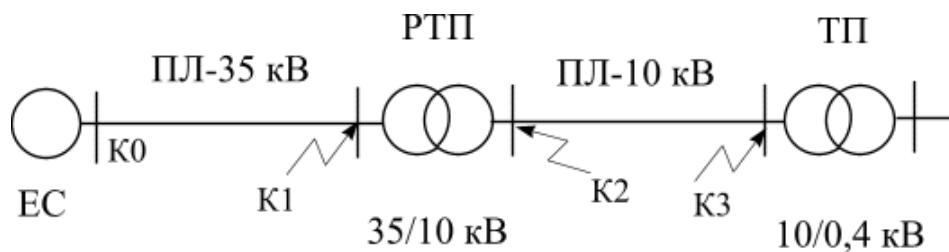


Рис.3.8. Електрична схема мережі

На основі електричної схеми будується схема заміщення мережі.

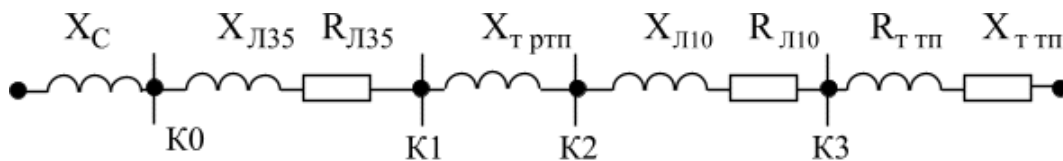


Рис.3.9. Електрична схема заміщення мережі

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;  $X_{O35}$  – питомий індуктивний опір проводу лінії живлення, Ом/км;  $R_{O35}$  – 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;  $X_{O10}$  – питомий індуктивний опір проводу лінії 10 кВ, Ом/км;  $S_{HPTI}$  – номінальна потужність силового трансформатора РТП, кВА;  $R_{O10}$  – питомий активний опір проводу лінії 10 кВ, Ом/км.

Розрахунок опорів елементів схеми заміщення:

– опір системи –  $X_C = \frac{S_6}{S_{K3}}$  ;

- індуктивний опір лінії живлення –  $X_{Л35} = X_{О35} L_{Л35} \frac{S_6}{U_{Л35}^2}$  ;
- активний опір лінії живлення –  $R_{Л35} = R_{О35} L_{Л35} \frac{S_6}{U_{Л35}^2}$  ;
- індуктивний опір силових трансформаторів на РТП –  

$$Z_{ТрТП} = X_{ТрТП} = U_{К3} \frac{S_6}{100 S_{НРТП} N}$$
 ;
- індуктивний опір лінії живлення –  $X_{Л10} = X_{О10} L_{Л10} \frac{S_6}{U_{Л10}^2}$  ;
- активний опір лінії живлення -  $R_{Л10} = R_{О10} L_{Л10} \frac{S_6}{U_{Л10}^2}$  .

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється відповідно до точок К1, К2 та К3 (табл. 3.15).

### 3.8.4.9. Вибір електричної апаратури

#### 3.8.4.9.1. 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:

$$I_{P.МАКС} = \frac{1,4 \cdot S_{H(B)}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (3.118)$$

де  $S_{H(B)}$  – номінальна потужність трансформатора більшої потужності.

Відповідно до ПУЕ необхідно вибрати переріз електричних шин, для яких буде виконуватись умова:

$$I_{P.МАКС} \leq I_{ДОП}, \quad (3.119)$$

$$I_{ДОП} = I'_{ДОП} \sqrt{\frac{\theta_{ДОП} - \theta_{МАКС}}{\theta_{ДОП} - \theta_0}}, \quad (3.120)$$

де  $I'_{ДОП}$  – допустимий струм (за умов нагрівання) для електричних шин при температурі  $\theta_0 = 25$  °С, вибирається згідно з [32].  $\theta_{МАКС}$  – 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:

$$W_k = I_{k3}^{(3)2} \cdot t_k, \quad (3.121)$$

де  $I_{k3}^{(3)}$  – струм трифазного короткого замикання в точці встановлення шин, кА;  $t_{пр}$  – зведений час дії струму короткого замикання [19, 20].

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:

$$\sigma_{роз} \leq \sigma_{доп}, \quad (3.123)$$

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):

$$f = 1,76 \cdot K_{\Phi} \cdot \left(\frac{l}{a}\right) 10^{-1} \cdot i_y^2, \quad (3.124)$$

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 –  $K_{\Phi}=1$ ).

### 3.15 Розрахункові вирази для обчислення струмів короткого замикання

Точка схеми	Опір до розрахункової точки	Базисний струм	Трифазний струм К.З.	Ударний струм К.З.	Двофазний струм К.З.	Діюче значення ударного струму К.З.
К1	$X_{K1} = X_c + X_{Л35} \dots$ $Z_{K1} = \sqrt{X_{K1}^2 + R_{Л35}^2}$	$I_{\sigma35} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{35}}$	$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\sigma35}}{Z_{K1}}$	$i_y = \sqrt{2} K_y I_{K3}^{(K3)}$ $K_y = 1,5$	$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)}$	$I_y = I_{K3}^{(3)} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}$
К2	$X_{K2} = X_{K1} + X_{ТРТП}$ $Z_{K2} = \sqrt{X_{K2}^2 + R_{Л35}^2}$	$I_{\sigma10} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{10}}$	$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\sigma10}}{Z_{K2}}$			
К3	$X_{K3} = X_{K2} + X_{Л10}$ $R_{K3} = R_{Л35} + R_{Л10}$ $Z_{K3} = \sqrt{X_{K3}^2 + R_{K3}^2}$		$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\sigma10}}{Z_{K3}}$			

Мінімальний допустимий переріз шин, мм<sup>2</sup>, визначають за формулою:

$$F_{\text{MIN}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C}, \quad (3.122)$$

Момент опору (при розташуванні шин на ребро):

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}, \quad (3.125)$$

де  $b$  – ширина шини, м;  $h$  – товщина шини, м.

Таблиця 3.16. 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).

Розрахункове механічне напруження у шинах (Па):

$$\sigma_{\text{РОЗР}} = \frac{f \cdot l}{10 \cdot W}. \quad (3.126)$$

*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 тощо.

*Вибір обмежувачів перенапруги (ОПН) для РП 10 кВ.* Найбільша допустима напруга ОПН  $U_{\text{НД}}$  повинна перевищувати найбільшу робочу напругу мережі  $U_{\text{Н.Р.}}$ .

:

$$U_{\text{НД}} > U_{\text{Н.Р.}} \quad (3.127)$$



У мережах з ізольованою нейтраллю або з компенсацією ємнісних 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. 3.17).

Таблиця 3.17. Найбільша допустима напруга ОПН

Клас напруги мережі	Найбільша допустима напруга ОПН
3	4,0
6	6,0; 6,6; 6,9; 7,6.
10	10,5; 11,5; 12,0; 12,7.
27	30,0; 33,0.
35	40,5; 42,0.
110	56,0; 66,0; 73,0; 77,0; 84,0.
220	146,0; 154,0; 168,0.

Рівень тимчасових перенапруг повинен бути менше максимального значення напруги промислової частоти, що витримує ОПН за час  $t$ :

$$T \cdot U_{нд} > U_{пер}, \quad (3.128)$$

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  $t = 1...2$  с. Із рис. 3.9 видно, що для умови  $T \cdot U_{нд} > U_{пер}$  підходять всі розрядники, крім ОПН – КР.

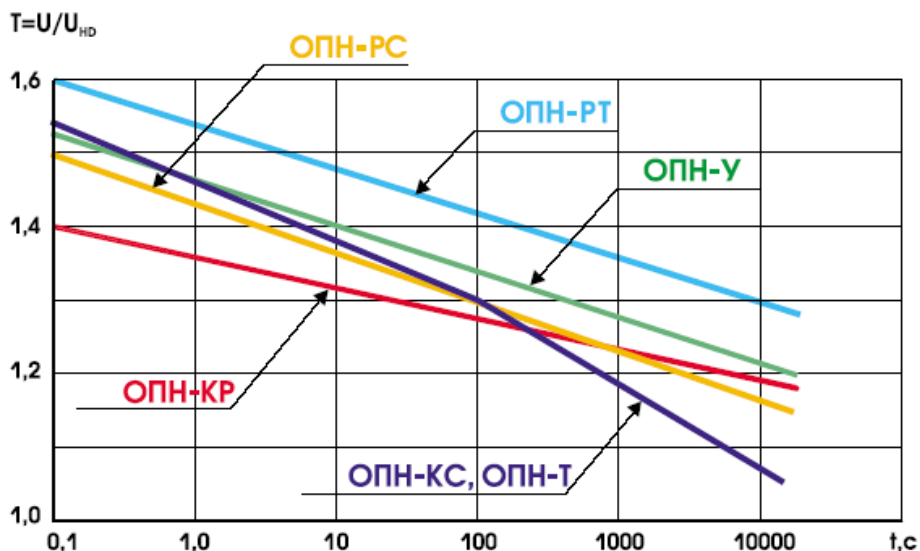


Рис. 3.9. Допустимий час прикладення напруги промислової частоти  
 Відповідно до рисунків 3.10 та 3.11 внутрішні перенапруги для мережі 10 кВ  
 можуть становити  $U_{\text{пер}} = 2,6 \cdot U_{\phi} = 2,6 \cdot 5,78 = 15,0 \text{ кВ}$ .

Обмежувач повинен забезпечувати необхідний захисний координаційний інтервал за грозовими впливами  $A_{\text{гр}}$ :

$$A_{\text{гр}} = (U_{\text{исп}} - U_{\text{ост}}) / U_{\text{ост}} > (0,2 - 0,25), \quad (3.129)$$

де  $U_{\text{исп}}$  – рівень грозового випробувального імпульсу;  
 $U_{\text{ост}}$  – 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 у порівнянні з залишковою напругою на ОПН.

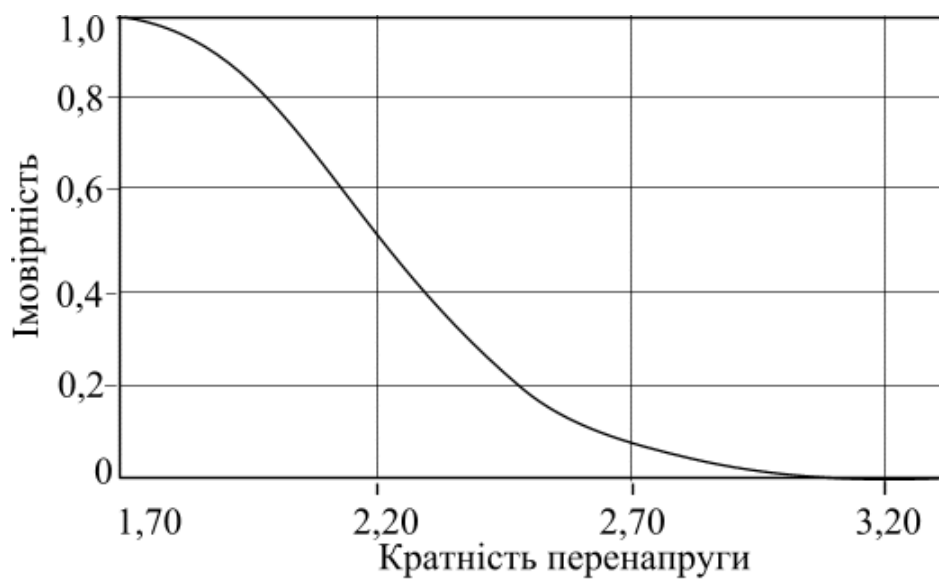


Рис. 3.10. Ймовірність появи перенапруги певної кратності

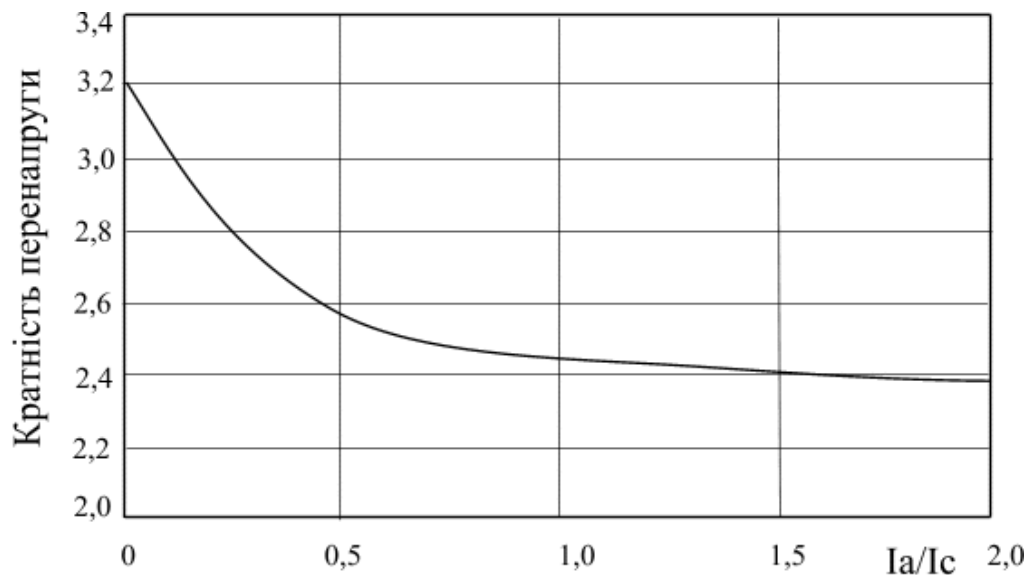


Рис. 3.11. Залежність дугових перенапруг від співвідношення активної та емнісної складових струму замикання на землю

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. 3.18). Для оцінки напруги, що залишається на ОПН можна скористатися  $U_{ост}$  при номінальному розрядному струмі (табл. 3.19).

Координаційний інтервал визначають за формулою (3.129). Якщо умова не виконується, то необхідно вибрати ОПН із меншим значенням  $U_{нд}$ .

$U_{исп}=80$  кВ (табл. 3.18).

$U_{ост}=42,8$  кВ – для ОПН – РС – ( $U_{нд} = 12,7$  кВ).

$U_{ост}=33$  кВ – для ОПН – КС – ( $U_{нд} = 10,5$ кВ).

$A_{гр}$  (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  $A_{вн}$ :

$$A_{вн} = (U_{доп} - U_{ост}) / U_{ост} > (0,15 - 0,25), \quad (3.130)$$

де  $U_{доп}$  – допустимий рівень внутрішніх перенапруг;  $U_{ост}$  – напруга, що залишається на ОПН при комутаційному імпульсі.

Таблиця 3.18. 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	Електром агнітні трансформатор и напруги, трансформатор и 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
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Для захисту силового трансформатора  $U_{\text{доп}} = 57,9$  кВ (табл. 3.20),  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ).

Для захисту трансформатора напруги  $U_{\text{доп}} = 39,7$  кВ (табл. 3.21),  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ).

Таблиця 3.19. Залишкова напруга на ОПН при номінальному розрядному струмі

<i>Тип ОПН</i>	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
ОПН – КР	6	10,5	34,0
		6,0	19,3
		6,6	21,0
	10	6,9	22,0
		10,5	34,0
11,5		37,0	
ОПН – КС	6	12,0	18,5
		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	

Таблиця 3.20. Допустимі кратності внутрішніх перенапруг для електроустаткування 6 – 35 кВ з нормальною ізоляцією

$U_{\text{ном}}$ , кВ	6	10	15	20	35
$U_{\text{н.роб.}}$ , кВ	7,2	12	17,5	23	40,5
$U_{\text{исп.}}$ , кВ	25	35	45	55	85
$U_{\text{доп}}$ , кВ	41,5	57,9	74,5	91	140,6
$K_{\text{доп}}$	7,0	5,9	5,2	4,6	4,3

3.21. Допустимі кратності внутрішніх перенапруг для електроустановки  
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

$U_{ост} = 42,8$  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.

Умова вибухонебезпечності ОПН:

$$I_{к3}^{(3)} < I_{вз.без} = I_{НОМ} \quad (3.131)$$

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		$I_{H1} > I_{P,MAX}$
Номинальний вторинний струм, кА		$I_{H2} = 5A$
Клас точності		(*)
Номинальна вторинна потужність		$S_{H2} > S_2$
Кратність струму: термічної стійкості	$K_T = I_t / I_{H1}$	$(K_T \cdot I_{H1})^2 > (I_{к3}^{(3)})^2 \cdot t_k$
динамічної стійкості	$K_D = I_{макс} / (\sqrt{2}) \cdot I_{H1}$	$\sqrt{2} \cdot I_{H1} \cdot K_D > i_{уд}$

(\*) – 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:

$$I_{P,MAX} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (3.132)$$

де  $S_P$  – розрахункова потужність лінії 10 кВ, кВА:

$$S_P = \frac{P_{MAX}}{\cos \varphi}, \quad (3.133)$$

де  $P_{\text{MAX}}$  – максимальна активна потужність лінії 10 кВ (найбільша з розрахункових навантажень денного  $P_{\text{д}}$  чи вечірнього  $P_{\text{в}}$  максимумів).

Розрахункові потужності та струми ліній 10 кВ зводимо в табл. 3.22.

Паспортні дані вибраних трансформаторів струму зводимо в табл. 3.23.

Таблиця 3.22. Розрахункові струми та потужності головних ділянок ліній та вводу напругою 10 кВ

Параметр	Ввід 10 кВ	Лінія1	Лінія2	Лінія 3
$P_{\text{MAX}}$ , кВт				
$S_{\text{P}}$ , кВА				
$I_{\text{P.MAX}}$ , А				

Таблиця 3.23. Паспортні дані вибраних трансформаторів струму

Параметр	Ввід 10 кВ	Лінія 1	Лінія 2	Лінія3
Номинальна напруга, кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
Номинальний 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. 3.24.).

Опір з'єднувальних проводів у фазі визначають за формулою:

$$R_{\text{ПРОВ}} = \frac{S_{\text{H2}} - (\sum S_{\text{H}} + I_{\text{H2}} \cdot R_{\text{K}})}{I_{\text{H2}}^2}, \quad (3.134)$$

де  $R_{\text{K}}$  – опір контактів, Ом;  $R_{\text{K}} = 0,1$  Ом;  $I_{\text{H2}}$  – номінальний вторинний струм, А;  $I_{\text{H2}} = 5$  А;  $\sum S_{\text{H}}$  – сумарна потужність послідовно ввімкнених приладів (лічильника та амперметра), ВА;  $S_{\text{H2}}$  – номінальне навантаження трансформаторів струму, ВА.

Необхідний переріз ( $\text{мм}^2$ ) приєднувальних проводів визначають за формулою:

$$F_{\text{ПРОВ}} = \frac{\rho \cdot L}{R_{\text{ПРОВ}}}, \quad (3.135)$$

де  $\rho$  – питомий опір металу приєднувальних проводів, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $L$  – розрахункова довжина проводів, м.

Таблиця 3.24. 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

Довжину приєднувальних проводів рекомендується приймати 3 м.

За результатами розрахунку необхідно прийняти близький стандартний переріз, але не менше 2,5 мм<sup>2</sup> для мідних провідників і 4,0 мм<sup>2</sup> для алюмінієвих.

*Вибір трансформаторів напруги.* Для живлення кола напруги вимірювальних приладів, а також для контролю ізоляції в РП-10 кВ встановлюють трансформатори напруги (табл. 3.25).

Таблиця 3.25. 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

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).

Вторинне навантаження  $S_2$  (ВА) знаходять за формулою:

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3.136)$$

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) тощо.

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:

$$S_{ТВП} = 0,1 \cdot S_{\Sigma H}, \quad (3.137)$$

де  $S_{\Sigma H}$  – сумарна номінальна потужність силових трансформаторів на РТП.

Загальна потужність споживачів власних потреб першої черги забезпечення електроживленням (за умов надійності) становить:

$$S_{ТВП} = 0,6 \cdot S_{ТВП}. \quad (3.138)$$

За величиною  $S_{ТВП}$  здійснюють вибір потужності кожного із силових трансформаторів власних потреб. При цьому, повинна виконуватись умова:

$$S_{ТВП} \leq S_{НОМ.ТВП}, \quad (3.139)$$

де  $S_{НОМ.ТВП}$  – номінальна потужність одного силового трансформатора власних потреб РТП.

### 3.8.4.9.2. 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:

$$I_{P,МАКС} = \frac{1,4 \cdot (S_{H1} + S_{H2})}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (3.140)$$

де  $S_{H1}, S_{H2}$  – номінальні потужності силових трансформаторів, кВА.

*Вибір вимикачів РП- 35(110) кВ.* Вибір вимикачів виконується за умовами табл. 3.16. У РП-35(110) кВ можуть встановлюватись вакуумні або елегазові вимикачі [19].

*Вибір роз'єднувачів РП-35(110) кВ.* Роз'єднувачі вибирають за такими умовами:

1. Номінальна напруга:

$$U_{Н.Р} > U_{УСТАН},$$

де  $U_{Н.Р}$  – номінальна напруга роз'єднувача, кВ;  $U_{УСТАН}$  – номінальна напруга установки, кВ.

2. Номінальний струм:

$$I_{Н.Р} > I_{P,МАХ},$$

де  $I_{Н.Р}$  – номінальний робочий струм.

3. Струм динамічної стійкості:

$$i_{МАХ} > i_{УД}.$$

4. Струм термічної стійкості:

$$I_{ТНt}^2 > (I_{КЗ}^3)^2 \cdot t_k.$$

Результати вибору роз'єднувачів необхідно записати у табл. 3.26.



Таблиця 3.26. 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	$I_{ТН}^2 t$ , кК

Вибір обмежувачів перенапруги для РП-35(110) кВ виконується за аналогічними умовами, що і для РП-10 кВ.

### 3.8.4.10. 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:

$$I_{C.З} = \frac{K_H \cdot K_{C.З.Д.}}{K_B} \cdot I_{P.МАКС}, \quad (3.141)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт надійності (враховує нестабільність характеристик або "розкидання" точок характеристик);  $K_{C.З.Д.}$  – коефіцієнт, що враховує самозапуск електричних двигунів (для сільських мереж – 2,0);  $K_B$  – коефіцієнт повернення (вибирається для обраного релейного захисту);  $I_{P.МАКС}$  – робочий максимальний струм, А.

Робочий максимальний струм визначається на основі порівняння навантаження денного та вечірнього максимумів:

$$I_{P.МАКС} = \frac{P_D(P_{ВЕЧ})}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (3.142)$$

де  $U_{НОМ}$  – номінальна напруга мережі, 10 кВ.

Струм спрацювання реле визначається за формулою:

$$I_{C.Р.} = \frac{I_{C.З.}}{n_{Т.Т.}} \cdot K_{C.Х.} \quad (3.143)$$

де  $K_{C.Х.}$  – коефіцієнт схеми (при з'єднанні трансформаторів струму в неповну зірку  $K_{C.Х.} = 1,0$ , а у випадку з'єднання на різницю струмів двох фаз  $K_{C.Х.} = 3,0$ );  $n_{Т.Т.}$  – 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:

$$I'_{с.з.} = \frac{I_{уст} \cdot n_{т.т.}}{K_{с.х.}} \quad (3.144)$$

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).

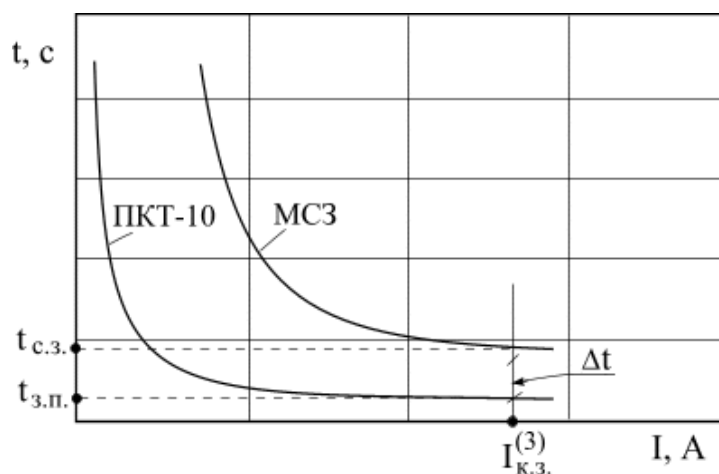


Рис. 3.12. Карта узгодження часу спрацювання МСЗ та запобіжників споживчої ТП-10/0,4 кВ

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  $t_{з.п.}$ .

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 вимкання 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:

$$I_{св} \geq k_H I_{к3\max}^{(3)} \quad (3.145)$$

де  $k_H$ —коефіцієнт надійності (вибирається із паспортних даних реле);  $I_{K3\max}^{(3)}$ —максимальний струм трифазного короткого замикання в місці встановлення більш віддаленого від джерела живлення комплекту захисту.

Для відстроювання струмової відсічки від кидка намагнічуючих струмів споживчих трансформаторів необхідно задовольнити умову:

$$I_{CB} \geq 0.25 \Sigma S_{уст}, \quad (3.146)$$

де  $\Sigma S_{уст}$  – сумарна встановлена потужність трансформаторів 10/0,4 кВ, приєднаних до лінії, що захищається. Струм спрацювання реле струмової відсічки:

$$I_{C.PB} \geq \frac{k_{CX}}{k_{TP}} I_{CB}, \quad (3.147)$$

де  $I_{CB}$  – більша із величин за умовами (3.145) і (3.146).

За значенням  $I_{C.PB}$  вибирають згідно з паспортними даними реле струмової відсічки,  $I_{уст}$ .

Уточнений первинний струм відсічки (струм спрацювання захисту):

$$I_{C.ЗВ} = \frac{k_{TP}}{k_{CX}} I_{уст}. \quad (3.148)$$

Коефіцієнт чутливості відсічки з умовою доцільності її застосування:

$$k_{ЧВ} = \frac{I_{K3\min}}{I_{C.ЗВ}} \geq 2, \quad (3.149)$$

де  $I_{K3\min}$  – 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 кваліфікаційної бакалаврської роботи**

У четвертому розділі «Спеціальне завдання» виконується детальна розробка одного із завдань, які вирішувались в кваліфікаційній роботі, 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 системи автоматизації електротехнічного комплексу;
- 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 кваліфікаційної роботи.

### **4.2. Розрахунок ефективності енергоощадних заходів**

Якщо спеціальним завданням кваліфікаційної роботи 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.

Оцінка ефективності використання засобів, спрямованих на реалізацію енергоощадних заходів, проводиться на основі такої системи показників:

- простий строк окупності ( $Tn$ ) – не більше 5 років;
- динамічний строк окупності ( $Td$ ) – не більше 8 років;
- чистий дисконтований дохід ( $ДД$ ) – більше 0;
- внутрішня норма доходності ( $Евн$ ) – більше  $E$  – нормативної ставки дисконтування;
- індекс прибутковості ( $Пi$ ) – більше 1,0.

*Простий строк окупності капітальних вкладень* застосовується для попереднього оцінювання енергоощадного заходу на стадії складання техніко-економічного обґрунтування (пропозиції) реалізації енергоощадного заходу:

$$Tn = E \text{ річн} / I, \quad (4.1)$$

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 ( $Ен$ ) та індексу прибутковості ( $Пi$ ) проводиться оцінювання і порівняння різних енергоощадних заходів та прийняття рішення про фінансування певного енергоощадного заходу. Чистий дисконтований дохід ( $ДД$ ), внутрішня норма доходності ( $Ен$ ) та індекс прибутковості ( $Пi$ ) відносяться до показників, що включають вартість грошей з урахуванням доходів майбутнього періоду.

*Чистий дисконтований дохід* (перевищення доходу над затратами наростаючим підсумком за розрахунковий період ( $T_{розр.}$ ) з урахуванням дисконтування) розраховується за формулою

$$ДД = \sum_{t=0}^{T-t} (Dt - Zt - It)(1+E)^{-t}, \quad (4.2)$$

де  $Dt$  – грошові надходження (виручка, дивіденди та ін.) від реалізації енергоощадного заходу в  $t$ -му році;  $Zt$  – експлуатаційні витрати на реалізацію енергоощадного заходу та інші платежі (податки, мито тощо) в  $t$ -му році;  $It$  – 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  $E_H = 0,1$ .

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)* визначається як відношення різниці доходу й затрат за реалізації енергоощадного заходу до величини капітальних вкладень (наростаючим підсумком за розрахунковий період):

$$P_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-t} (D_t - Z_t)(1+E)}{I_0 + \sum_{t=1}^{T-t} I_t(1+E)} \quad (4.4)$$

Індекс прибутковості тісно пов'язаний із чистим дисконтованим доходом. Коли дохід додатній,  $P_i > 1$ , і навпаки. Енергоощадний захід вважається економічно ефективним, якщо  $P_i > 1$ .

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 передусє року проведення оцінювання енергоощадного заходу.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко Є. А. Методичні рекомендації до розділу «Охорона праці» в дипломних роботах (для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / укл. Є. А. Бондаренко. – Вінниця 2017. 118 с.
2. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем: Навч. Посібник. – Львів: Видавництво «Бескід Біт», 2003. – 224 с.
3. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 388 с.
4. Возняк О.М. Штуць А.А. Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика частина 1. Вінниця: ТОВ "ТВОРИ". 2021. 280 С.
5. Гажаман В.І. Електробезпека на виробництві / В.І. Гажаман. – К.: 2002. – 272 с.
6. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 1. / Р.М. Гобрей, О. Є. Рубаненко та ін. – К.: «ДП НТУКЦ», – 2008. – 524 с.
7. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 2. / Р.М. Гобрей, Г. В. Шинкаренко, Г. М. та ін. – К.: «ДП НТУКЦ», – 2011. – 1008 с.
8. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посіб.-К.: Вища шк.. 2006. – 367 с.
9. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок: Навч. Посібник. – К.: Вища шк.. Головне вид-во, 1989. – 343 с.
10. ДНАОП 0.00-1-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. – К.: Укрархбудінформ, 2001. – 117 с.
11. ДНАОП 0.00.1.21.-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. /Держнагляддохоронпраці України.: – К.: Основа, 1998. – 380с.
12. ДБН В.2.5 – 24 – 2003 Електрична кабельна система опалення.
13. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.
14. 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.
15. Електропривод і автоматизація: Навчальний посібник / О.Ю.Синявський, П.І Савченко, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.Ю.Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.
16. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник/ Є.Л.Жулай, Б.В.Зайцев, Ю.М. Лавріненко та ін. За ред. Є.Л.Жулая.- К.: Вища освіта, 2001.
17. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Мозирський В.В. Акустичні технології в аграрному виробництві. – К.: ЦТІ “Енергетика та електрифікація“. 2006. – 176 с.

18. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко. – Київ: «Хайт-Тек Прес», 2013. – 528 с.
19. Каталог продукції фірми „Таврида-Електрик”, 2007 р.
20. Каталог продукції фірми „Енергомашвін”, 2007 р.
21. Кухар В. В. Проектування індукційних нагрівачів і безпека при електротермічному нагріванні: навчальний посібник / В.В. Кухар, Ю.П. Ніжельська, А.С. Аніщенко. ДВНЗ «ПДТУ», 2016. – 172 с.
22. Лежнюк П.Д., Комар В.О. Регулювання напруги в електричних системах. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.–171с.
23. 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.
24. Матвійчук В.А. Методичні вказівки по оформленню дипломних робіт магістра для студентів ОКР «Магістр» спеціальності 8.10010101 «Енергетика сільсько-господарського виробництва» та студентів ОС «Магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка»/ Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. .– Вінниця: ВНАУ, 2016. - 63 с.
25. Матвійчук В.А. Технології наукових досліджень. Навч. посібник / Матвійчук В.А., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. - Вінниця: ВНАУ, Л 49 2015. - 190 с.
26. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.
27. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 140 с.
28. Милосердов В.О. Електротехнологічні установки та пристрої: навчальний посібник / В.О. Милосердов. - Вінниця: ВНТУ, 2007. -135 с.
29. 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.
30. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А. Колісник М.А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навч. посіб. Вінниця. ТОВ "ТВОРИ". 2020. 332 с.
31. 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.
32. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво "Форт", 2017. – 760 с
33. Притака І.П., Козирський В.В. Електропостачання сільського господарства. – К.: Урожай, 1996. – 226 с.



34. Рубаненко О.Є. Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів: монографія / О.Є. Рубаненко. - Вінниця: ВНТУ, 2012. - 188 с.
35. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. – 340 с.
36. Червінський Л.С. Регульований електропривод/ І.М. Голодний, Лавріненко Ю.М., Червінський Л.С. і др./Підручник.- Київ. Тов. «ЦМ КОМПРИНТ», 2015.- 509 с.
37. Червінський Л.С. Електротехнології та електроосвітлення: Навчальний посібник / Чміль А.І., Червінський Л.С., Борщ Г.М., Сторожук Л.О., Книжка Т.С/.. – К.: ЦП «Компринт», 2017. – 660 с.
38. Червінський Л.С. Електротехнічні системи електроспоживання. /Червінський Л.С., Чміль А.І., Сторожук Л.О. і др./ частина 1. Навч посібник .-Київ. 2018.- 670с.
39. Abbaspourtorbati F., Scherer M., Ulbig A., Andersson G. Towards an Optimal Activation Pattern of Tertiary Control Reserves in the Power System of Switzerland / F. Abbaspourtorbati, M. Scherer, A. Ulbig, G. Andersson // American Control Conference (ACC). - 2012. - P. 3629 - 3636.
40. Rodr'iguez M. de la Torre, Scherer M., Whitley D., Reyer F. Frequency Containment Reserves Dimensioning and Target Performance in the European Power System / M. de la Torre Rodr'iguez, M. Scherer, D. Whitley, and F. Reyer // 2014 IEEE PES General Meeting. - 2014. - Conference Exposition. - P. 1-5.
41. Power facts Europe 2019. - Режим доступу: <https://www.entsoe.eu/news/2019/01/22/entso-e-releases-new-data-driven-report-powerfacts-europe-2019/>
42. Balancing code №.3. Frequency control process. Issue 5 Revision 0. - Approved by National Grid Electricity Transmission 17 august 2012. - 8 p.

**Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет**

**Інженерно-технологічний факультет**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ  
Завідувач кафедри електроенергетики,  
електротехніки та електромеханіки,  
д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ В.А.Матвійчук  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до кваліфікаційної роботи бакалавра  
на тему «Розробка системи електропривода буртоукладчика Ш1-ПСМ»

Виконав студент групи ЕІ-19  
\_\_\_\_\_ А.С. Присяжнюк

Керівник к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Л. В. Ярощенко

Вінниця – 2023

**Міністерство освіти і науки України**  
**Вінницький національний аграрний університет**

Факультет \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_ Інженерно-технологічний

Кафедра - Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень - Бакалавр

Спеціальність 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри ЕЕЕ д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ В.А. Матвійчук

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА БАКАЛАВРСКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Присяжнюку Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електропривода буртоукладчика Ш1-ПСМ

керівник роботи \_\_\_\_\_ Ярошенко., к.т.н., доцент кафедри ЕЕЕ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

розробити)

Вихідні дані:

1.	Продуктивність, кг/год	30000
2.	Швидкість руху стрічки, м/с	0,9
3.	Маса 1 м стрічки, кг	11
4.	Кут обхвату приводного барабана, град.	210
5.	Кут обхвату натяжного барабана, град.	180
6.	Довжини ділянок конвеєра, м: $l_{12}$	1,0
7.	$l_{34}$	140
8.	$l_{56}$	135
9.	$l_{78}$	4
10.	Кути нахилу ділянок конвеєра, град.: $\beta_{12}$	35
11.	$\beta_{34}$	16
12.	$\beta_{56}$	16
13.	$\beta_{78}$	0

14.	Допустиме прискорення, м/с <sup>2</sup>	0,3
-----	---	-----

Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи Розрахунок потужності двигуна та побудова навантажувальної діаграми і тахограми виконавчого. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електроприводу. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання та його перевірка. Розрахунок статичних характеристик саеп. розрахунок динамічних режимів. Вибір силового перетворювача для живлення приводного двигуна. Розробка електропривода схеми електричної структурної, функціональної, принципової системи керування. Розробка схеми електричної принципової системи електропривода. Моделювання перехідних процесів системи електропривода механізму підйому крана. Розробка електричної схеми з'єднань та підключень Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Зовнішній вигляд, кінематична схема та тахограми руху електропривода. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Схема електрична функціональна. Схема електрична. Результати моделювання. Схема електрична принципова

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БДР)		
2	Основні засади кваліфікаційної роботи бакалавра		
2	Розрахунок та вибір технологічного обладнання		
3	Розрахунок та вибір електродвигуна та електротехнічного обладнання		
4	Виконання спеціальної частини БДР.		
5	Попередній захист БДР		
6	Нормоконтроль БДР		
7	Рецензування БДР		
8			
9			

**Студент**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Присяжнюк А.С.**

(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Ярошенко Л.В.**

(прізвище та ініціали)

**Віктор Андрійович Матвійчук**  
**Андрій Анатолійович Штуць**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання кваліфікаційної роботи  
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
галузі знань 14 «Електрична інженерія»,  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»,  
денної та заочної форм навчання

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60x84/16.

Ум. друк. арк. 2,5. Наклад 50 прим.

Редакційно-видавничий відділ ВНАУ  
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008