

**Роман ЗАЛЕВСЬКИЙ**  
**Анатолій ВОЙЦИЦЬКИЙ**  
**Любов БЕЗВЕРХА**  
**Веніамін МЕЛЬНИЧУК**

**ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АГРАРНОМУ  
ВИРОБНИЦТВІ**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ**  
**КОЛЕДЖ**

**ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АГРАРНОМУ**  
**ВИРОБНИЦТВІ**

**ПІДРУЧНИК**

**Житомир - 2025**

УДК 621.3

*Рекомендовано до друку рішенням  
методичної ради Житомирського  
агротехнічного фахового коледжу  
(протокол № 2 від 06. 11. 2025 р.)*

**Рецензенти:**

**Ключевич М.М.** – доктор с.-г. наук, професор, Державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри «Здоров'я природи та якості харчових ресурсів».

**Борак К.В.** – доктор технічних наук, професор, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, заступник директора з навчальної роботи.

**Залевський Р.А., Войцицький А.П., Безверха Л.М.,  
Мельничук В.В.** Електротехнології в аграрному виробництві: підручник. Житомир., Вид-во ПП "Рута", 2025. 176 с.

ISBN 978-617-581-698-1

Матеріал посібника охоплює вивчення технологічних процесів в аграрному виробництві, в яких електрична енергія безпосередньо перетворюється у різні види іншої енергії. До таких відносяться процеси, що пов'язані з наступними явищами і технічними засобами: електронагрівом і електронагрівальними пристроями; електричними холодильними машинами і тепловими насосами; електрозварюванням; електрофізичними, електрохімічними та електронно-іонними технологіями та спеціальними видами електротехнологій в АПК.

Для здобувачів освіти аграрних спеціальностей в АПК та фахівців, які займаються модернізацією сільськогосподарського виробництва.

ISBN 978-617-581-698-1

© Залевський Р.А., 2025  
© Войцицький А.П., 2025  
© Безверха Л.М., 2025  
© Мельничук В.В., 2025  
© ЖАТФК, 2025  
© ПП "Рута", 2025

## ПЕРЕДМОВА

Для забезпечення ефективного розвитку агропромислового комплексу України необхідно систематично здійснювати модернізацію обладнання та впроваджувати сучасні електротехнології. У сучасному світовому контексті питання енергозбереження набуває дедалі більшої актуальності. Застосування ресурсозберігаючих технологій у виробничих процесах, оптимізація витрат на електроенергію та зменшення навантаження на енергетичні мережі мають суттєвий вплив на економічну ефективність як окремих підприємств, так і держави загалом.

Особливу роль у цьому процесі відіграє етап проектування систем освітлення та опромінювання, оскільки саме тут закладаються основи для подальшої економічної та енергоефективності цих установок.

У підручнику насамперед передбачено ознайомлення з електропостачанням та електроприводами, використання яких спрощує засвоєння електричних і автоматичних систем та комплексів в аграрному виробництві.

*Основна мета дисципліни* – сформувати систему науково-технічних засад використання електричної енергії в технологічних процесах аграрного виробництва, розвиток професійних умінь і навичок, необхідних для подальшої виробничої діяльності майбутніх спеціалістів, що забезпечить можливість вирішення питань енергозбереження.

Навчальний курс спрямований на формування основ залучення електроенергії та інших джерел енергії до технологічних процесів для оптимального вирішення завдань продовольчого характеру в агровиробництві.

Особливу увагу приділено практичній розробці спеціалізованих електротехнологічних систем, які сприяють забезпеченню високої якості продукції агропромислового комплексу.

## ВСТУП

Дисципліна «Електротехнології аграрного виробництва» спрямована на вивчення теоретичних та практичних аспектів перетворення електричної енергії в теплову, хімічну, механічну, світлову й інші форми для потреб сільського господарства. Електрифікація та автоматизація в аграрному секторі передбачають впровадження електроенергії й автоматизованих технологій з метою підвищення ефективності та продуктивності. Сфера їх застосування охоплює широкий спектр рішень — від автоматизації процесів у тваринництві та рослинництві до використання дронів для моніторингу стану полів і управління системами зрошення.

Електротехнологічне обладнання класифікується залежно від впливу електричної енергії на такі типи:

1. Електротермічне.
2. Електрохімічне.
3. Електрофізичне.

Охоплює такі процеси та обладнання:

- електротермічні процеси й електротермічне обладнання для їх виконання;
- електрофізичні процеси й відповідне обладнання;
- електрохімічні процеси й пристрої;
- іонні технології та інше. Сільськогосподарська продукція вирізняється складністю складу та широким асортиментом.

Сільськогосподарську продукцію, яка обробляється електричним способом, можна умовно розділити на дві категорії:

- Перша група включає продукти з показником вологості від 12 до 35 %.

- До другої групи належать продукти, вологість яких перевищує 35 %.

Умовний поділ заснований на характеристиках форм та рівні енергії зв'язку води з матеріалом. Властивості різних форм зв'язаної води визначаються відмінностями у величині та природі енергетичного зв'язку з сухою речовиною. Згідно із сучасними теоретичними підходами, виділяють такі форми

зв'язку вологи з матеріалом, упорядковані за зниження величини енергії зв'язку:

- хімічні зв'язки характеризуються строго визначеним стехіометричним співвідношенням між вологою та сухою речовиною, в яких реалізуються іонні й молекулярні взаємодії.

- фізико-хімічні зв'язки мають менш чітко визначене співвідношення компонентів і включають механізми адсорбційного та осмотичного типу.

- фізико-механічні зв'язки, які характеризуються невизначеним співвідношенням вологи та сухої речовини, охоплюють капілярну вологу різних форм.

Електротехнологічний вплив на рослини здатен стимулювати їхній ріст, збільшувати врожайність, сприяти прискореному дозріванню, сушці та іншим процесам. Різні види і методи електричної обробки сільськогосподарської продукції умовно поділяються на три основні групи:

- електроконтактна обробка;
- в умовах високочастотного електромагнітного поля;
- в умовах надвисокочастотного електромагнітного поля.

Дія може здійснюватися за допомогою різноманітних електричних і магнітних полів, різних типів та етапів електричних розрядів, а також за допомогою різнорідних електричних струмів: постійного, імпульсного, змінного синусоїдального чи несинусоїдального. При цьому електроіскровий розряд може залучатися або не використовуватися.

Досить рівномірний розподіл тепла матеріалу незалежно від електропровідності та товщини продукту є загальною особливістю таких методів обробки. Класифікація впливу електрики на рослини базується на таких критеріях: спосіб впливу, тривалість дії в агротехнологічному процесі, органи рослин, які піддаються впливу, та характер реакції рослин на цей стимул.

Однак для впровадження таких методів необхідні принципово нові технології та обладнання для обробки сільськогосподарських культур. Це доволі складна і витратна задача, яка потребує використання різних видів енергії.

# Розділ 1

## СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АГРАРНИМ СПОЖИВАЧАМ

### *Загальні відомості*

*Електрифікація та втоматизація агровиробництва*

*Використання альтернативної енергетики в  
агровиробництві*

*Електромережі сільської місцевості та  
трансформаторні підстанції*

*Резервні джерела електропостачання*

*Альтернативна енергетика на службі аграрного  
виробництва*

*Підвищення надійності електропостачання*

### 1.1 Загальні відомості

Електрична енергія, або електроенергія, являє собою форму енергії, що проявляється у вигляді потенціальної енергії електричних і магнітних полів, а також у формі енергії електричного струму.

Її походження може бути різноманітним, охоплюючи такі джерела, як теплова енергія, атомна енергетика, сонячна радіація, енергія вітру та гідроенергія. Кожен із цих видів характеризується специфічними особливостями, перевагами та рівнем ефективності.

Теплова енергія генерується швидко й легко піддається регулюванню, атомна забезпечує значний обсяг електрики за порівняно низькою вартістю, а сонячна та вітрова не завдають жодної шкоди природному середовищу. Уся ця електроенергія збирається в єдину мережу та розподіляється по містах і селах через систему ліній електропередач. Для того щоб забезпечити її достатню кількість для всіх користувачів, диспетчери постійно стежать за рівнем споживання і коригують роботу станцій у режимі реального часу.

Процес передавання електричної енергії полягає у її транспортуванні від місця генерації до кінцевих точок споживання.

Ця функція є однією з ключових задач сучасної енергетичної системи, що забезпечує її ефективність і стабільність. Реалізація передачі електроенергії здійснюється через електромережі, які включають такі основні компоненти, як перетворювачі, лінії електропередачі (підвісні або кабельні конструкції), а також розподільчі пристрої, що оптимізують процес доставки енергії споживачам.

Необхідність передачі електроенергії на великі відстані зумовлена тим, що її виробництво здійснюється на великих електростанціях із потужними установками, тоді як споживачами є порівняно малопотужні електроприлади, розташовані далеко від місця генерації. Ефективність такого процесу визначає загальну продуктивність електроенергетичних систем, які забезпечують енергопостачання на значних територіях.

Можливість передачі електроенергії на відстань була вперше виявлена Стівеном Греєм у 1720-х роках. У його експериментах заряд передавався крізь шовковий провід на дистанцію до 800 футів.

## **1.2 Електрифікація аі втоматизація агровиробництва**

Електрифікація аграрного сектору передбачає створення електроенергетичної інфраструктури для споживачів у сільських районах. Це включає будівництво електростанцій, мереж електропередач та трансформаторних підстанцій, що забезпечують виробництво і доставку електроенергії. Окрім того, вона орієнтована на широке застосування електроенергії для автоматизації виробничих процесів, а також для покращення побутових умов жителів сільської місцевості.

Електрифікація та автоматизація становлять один із ключових факторів формування матеріально-технічної бази аграрного виробництва, сприяють зростанню продуктивності праці, удосконаленню технічних засобів і технологій, а також задоволенню потреб населення. Для ефективного розвитку сільських електромереж, забезпечення високої надійності та

якості електропостачання, а також мінімізації втрат електроенергії необхідно здійснити наступні заходи:

- у сільській місцевості доцільно розвивати електричні мережі шляхом будівництва магістральних ліній напругою 35–110 кВ, тоді як лінії напругою 10 кВ слід інтегрувати як розподільчі всередині населених пунктів;

- для оптимізації мереж напругою 0,38 кВ необхідно скоротити їхній радіус шляхом впровадження щоглових трансформаторних підстанцій типу 10/0,4 кВ з невеликою потужністю;

- сільські електромережі потребують оснащення відповідними пристроями для компенсації реактивної потужності;

- важливо проводити вирівнювання добових графіків навантажень мереж, та вдосконалювати системи обліку споживання та втрат електроенергії для забезпечення більш ефективного функціонування енергетичної інфраструктури.

В аграрному секторі України близько 65% електроенергії витрачається на роботу електроприводів машин і механізмів, тоді як приблизно 10% використовується для освітлення.

Одними з ключових заходів енергозбереження є впровадження електродвигунів з високим рівнем ефективності, автоматизація режимів роботи електроприводів, а також використання освітлювальних пристроїв на основі світлодіодів.

### **1.3 Використання альтернативної енергетики в агровиробництві**

*Електрична мережа* — це взаємопов'язана система, яка дозволяє передавати та розподіляти електричну енергію від виробників до споживачів.

Система включає станції для генерації електроенергії, лінії електропередач та розподільні мережі, які доставляють енергію до розподільчих пристроїв підстанцій, ввідних елементів, ввідно-розподільних блоків та головних розподільних щитів.

Лінія електропередач (ЛЕП) є одним із важливих елементів електричної мережі, що забезпечує передачу

електричної енергії. Основними типами ЛЕП є кабельні та повітряні лінії. Кабельні ЛЕП найчастіше використовуються в межах населених пунктів, а також у випадках, коли необхідно перетнути перешкоди, такі як залізничні колії або автомобільні дороги. На рис. 1.1 представлено приклад кабельної ЛЕП.

Високовольтні кабельні лінії зазвичай прокладаються на глибині понад 0,7 метра. Вони включають однофазні ізольовані кабелі при напругах понад 35 кВ, а для менших напруг використовуються трифазні кабелі.



Рисунок 1.1 Кабельна ЛЕП

Повітряна лінія електропередачі (ПЛ) або *overhead power line* в англійській термінології являє собою інженерну споруду, призначену для транспортування електричної енергії через дроти, що закріплені у повітрі за допомогою опор, ізоляторів та спеціальних кріплень.

Лінія є ключовим елементом енергетичної системи, що забезпечує передачу та розподіл електричної енергії з номінальною напругою від 1 кВ і більше, при цьому параметри електроенергії залишаються незмінними.

Повітряні лінії електропередач також використовуються для передачі інформації за допомогою високочастотних сигналів або технології ВОЛП. Їх застосовують у диспетчерському керуванні, для передачі телеметричних даних, сигналів релейного захисту та функцій протиаварійної автоматики. На рисунку 1.2 зображені місцеві повітряні лінії електропередач, а на рисунку 1.3 показана високовольтна лінія.

Повітряні лінії електропередачі класифікуються за номінальною напругою на дві основні групи: низьковольтні, із напругою до 1 кВ, та високовольтні, із напругою понад 1 кВ. Ці категорії розрізняються не лише за конструктивними особливостями, але й за специфікою експлуатаційних характеристик, що враховуються при розрахунках та проектуванні.

*Лінії електропередачі низької напруги* (з показником напруги до 1 кВ) використовуються для передачі та розподілу електроенергії на невеликі відстані, що зазвичай охоплюють території міст, селищ і сіл. Ці лінії забезпечують електроживлення житлових будинків, малих підприємств та інших об'єктів споживання. Їхня стандартна довжина зазвичай знаходиться в межах 1-2 км. У міських умовах перевага надається прокладанню кабельних ліній електропередачі через вищий рівень надійності та безпеки.



Рисунок 1.2 – ЛПН низької напруги

*Лінії електропередачі середньої напруги* (з діапазоном напруги від 1 до 35 кВ) служать для транспортування електроенергії на більші відстані. Вони використовуються для живлення населених пунктів, великих промислових підприємств та агропромислових об'єктів, розташованих у радіусі 10-20 км від районних підстанцій.

*Лінії електропередач високої напруги* зазвичай мають рівень напруги 110-330 кВ. Вони використовуються для забезпечення передачі значних обсягів електроенергії між електростанціями, різними енергосистемами та великими регіональними підстанціями. Електропостачання для сільськогосподарських споживачів зазвичай організовується

через районні підстанції, що отримують живлення від великих енергосистем.

У агровиробничому секторі найчастіше використовуються трансформаторні підстанції типу 110/10 кВ і 35/10 кВ. На цих підстанціях застосовуються споживчі трансформатори, які знижують напругу 35, 20, 10 чи 6 кВ до рівня 400 вольт.



Рисунок 1.3 – ПЛ високої напруги

Розподіл електричної енергії у сільській місцевості здійснюється переважно через лінії з напругою 10 кВ, а в окремих випадках – 20 або 6 кВ. Електроенергія від споживчих підстанцій із напругою 380/220 вольт передається за допомогою повітряних або кабельних мереж. Рівень надійності електропостачання визначається категорією споживачів.

*Електроприймачі першої категорії* повинні отримувати електроенергію від двох незалежних джерел живлення з гарантією безперервного постачання. Допустимий час перерви обмежується лише інтервалом, необхідним для автоматичного відновлення живлення.

*Електроприймачі другої категорії* рекомендовано підключати до двох джерел живлення. У цьому випадку допускаються тимчасові перерви, що тривають лише стільки, скільки необхідно для активації резервного живлення оперативним персоналом.

До *третьої категорії електроприймачів* належать всі інші електроприймачі, які можуть функціонувати на основі одного

джерела живлення за умови, що максимальна тривалість перерви в електропостачанні не перевищує 24 години.

## 1.4 Електромережі сільської місцевості та трансформаторні підстанції

*Трансформаторні підстанції* представляють собою електротехнічні установки, які виконують функції прийому, перетворення та розподілу електроенергії, зазвичай змінюючи рівень напруги завдяки використанню трансформаторів. Вони відіграють важливу роль як основний компонент електричних мереж, гарантуючи надійне електропостачання для споживачів.

Основні завдання трансформаторних підстанцій включають:

- Перетворення рівня електричної напруги.
- Зниження високої напруги до низької або підвищення низької до високої залежно від потреб.
- Розподіл електроенергії між окремими лініями передачі та споживачами.
- Гарантування захисту системи від перевантажень та коротких замикань.

Типи трансформаторних підстанцій:

1.Комплектні трансформаторні підстанції (рис. 1.4) – це, насамперед, трансформатор, розподільчі пристрої та інше обладнання, зібрані в єдиному корпусі або модулі.



Рисунок 1.4 –  
Комплектна  
трансформаторна  
підстанції КТПГ -  
100 1000/10(6)

2. Щоглові трансформаторні підстанції монтуються на опорах і зазвичай застосовуються для забезпечення електропостачання в сільській місцевості.

3. Стовбурові комплектні трансформаторні підстанції типу КТПС (рис. 1.6) призначені для прийому електричної енергії трифазного та однофазного змінного струму частотою 50-60 Гц із напругою 6 або 10 кВ, а також її перетворення в електроенергію напругою 0,4 кВ або 0,23 кВ. Підстанції КТПС використовуються для забезпечення електропостачання сільськогосподарських об'єктів, підприємств з видобутку нафти, технологічних процесів, систем освітлення та інших споживачів.



Рисунок 1.5 – Щоглові трансформаторні підстанції

Пересувні трансформаторні підстанції поділяють на:

- мобільні електротехнічні установки, призначені для забезпечення тимчасового електропостачання;



Рисунок 1.6 – Стовбурна трансформаторна підстанція

- блокові трансформаторні підстанції, які характеризуються модульною конструкцією. Такі підстанції забезпечують можливість організації розподільчих пунктів, а також є прикладом високого рівня заводської готовності для оперативного впровадження в експлуатацію.

Сучасні електричні підстанції оснащуються системами автоматизації та захисту, що забезпечують їхню стабільну й надійну експлуатацію.

У контексті сільського господарства найбільш поширеним типом підстанцій є комплектні трансформаторні підстанції (КТП) та підстанції стовбурного типу.

Комплектні трансформаторні підстанції виготовляються виробником у готовому вигляді, що передбачає їх повну збірку на заводі, після чого вони доставляються до місця встановлення в готовому для монтажу стані.

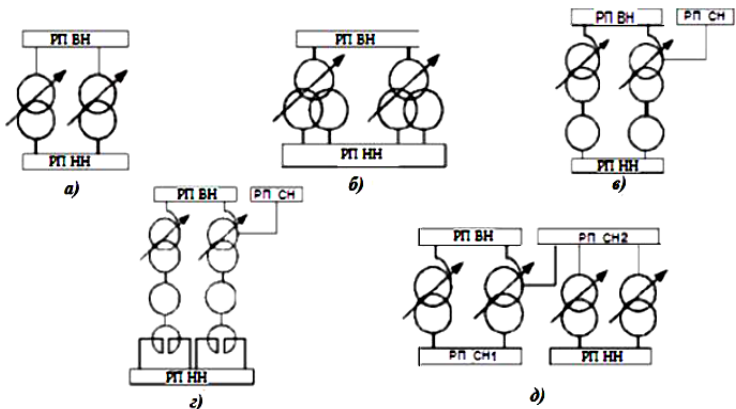


Рисунок 1.7 – Типові структурні схеми підстанцій:

- а) схема з двообмотковими трансформаторами; б) схема з трансформаторами з розщепленої обмоткою; в) схема з автотрансформаторами і регульовальними трансформаторами; г) схема з автотрансформаторами, регульовальними трансформаторами і реакторами; д) схема з автотрансформаторами і чотирма РП.

У випадках, коли неможливо забезпечити електропостачання споживачів першої категорії надійності через два

незалежні джерела живлення, застосовуються резервні електростанції як альтернатива.

На сьогодні промисловість пропонує широкий асортимент таких електростанцій, представлених як у стаціонарному, так і в пересувному виконанні, з діапазоном потужності від 0,5 до 1000 кВт.

За кількістю трансформаторів, встановлених на трансформаторних підстанціях, вони класифікуються як одотрансформаторні, двотрансформаторні і трьохтрансформаторні (див. рис. 1.7).

На рисунку 1.8 представлено типовий варіант структури трансформаторної підстанції.

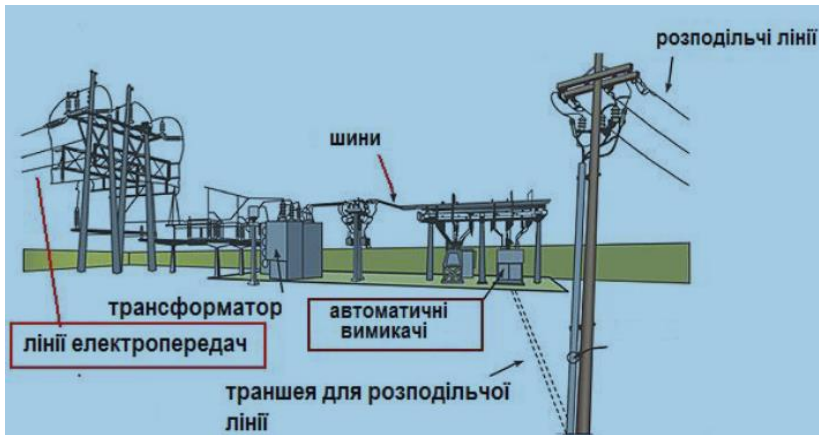


Рисунок 1.8 – Типовий варіант структури трансформаторної підстанції

Дві районні електростанції (ДРЕС-1 і ДРЕС-2) через власні підвищувальні підстанції забезпечують живлення замкнутої районної електричної мережі з напругою 110 кВ.

На рисунку 1.9 представлено принципову схему районної системи електропостачання.

На понижувальних районних підстанціях (одну з яких відображено на схемі) напруга зменшується до 35 кВ. Електроенергія передається живильною лінією з напругою 35

кВ до сільськогосподарського району, де напруга знижується вдруге — до 10 кВ. Далі електроенергія розподіляється між споживачами за допомогою розподільчих ліній напругою 10 кВ через споживчі трансформаторні підстанції (ТП).

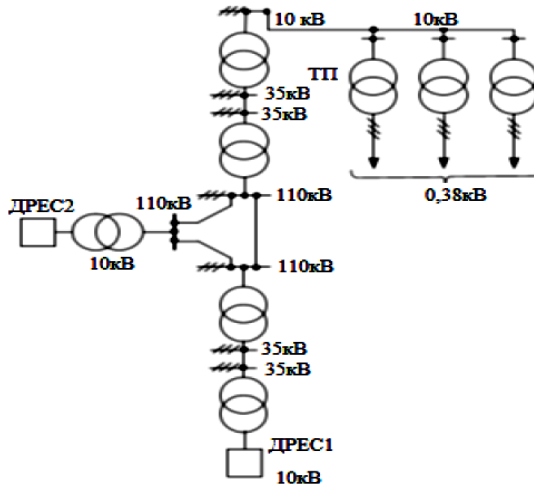


Рисунок 1.9 – Схема електропостачання районної системи

## 1.5 Резервні джерела електропостачання

Вони включають первинний двигун, який може бути бензиновим, дизельним або електричним, генератор струму, а також розподільний пристрій, що містить елементи управління, регулювання, контролю та захисту.

На електростанціях з потужністю до 16 кВт як первинні двигуни зазвичай використовуються бензинові та карбюраторні моделі.

Бензинова електростанція працює за принципом перетворення теплової енергії, що утворюється при горінні палива, у електричну.

Варто зазначити, що бензогенератор є джерелом електроенергії з порівняно невеликою потужністю. Він ідеально підходить для використання як резервне, сезонне чи аварійне

джерело енергозабезпечення. Такі агрегати мають менший ресурс і потужність у порівнянні з дизельними генераторами, проте виграють в практичності завдяки компактності, меншій вазі та зниженому рівню шуму під час роботи.

Бензинова електростанція працює за принципом перетворення теплової енергії, що утворюється при горінні палива, у електричну. Варто зазначити, що бензогенератор є джерелом електроенергії з порівняно невеликою потужністю. Він ідеально підходить для використання як резервне, сезонне чи аварійне джерело енергозабезпечення. Такі агрегати мають менший ресурс і потужність у порівнянні з дизельними генераторами, проте виграють в практичності завдяки компактності, меншій вазі та зниженому рівню шуму під час роботи.



Рисунок 1.10—  
Бензиновий генератор

Дизель-електростанції (ДЕС) поділяються на автоматизовані й неавтоматизовані. Неавтоматизовані ДЕС функціонують під постійним контролем обслуговуючого персоналу.

Автоматизовані станції, залежно від рівня автоматизації, здатні працювати без втручання персоналу протягом терміну до 10 діб.

Електричні схеми підключення ДЕС зазвичай мають просту і стандартну структуру. Основні відмінності стосуються

систем збудження генераторів. Існують генератори, що використовують машинні або статичні системи збудження, залежно від конструктивних особливостей дизельної електростанції.

Автоматизовані системи, залежно від рівня автоматизації, здатні працювати без участі обслуговуючого персоналу протягом до десяти діб.

Електричні схеми підключення дизельних електростанцій мають просту та уніфіковану структуру, при цьому основні відмінності полягають у типах систем збудження генераторів. Дизельні генератори можуть оснащуватись як машинними, так і статичними системами збудження.



Рисунок 1.11 –  
Дизельний генератор

## 1.6 Альтернативна енергетика на службі аграрного виробництва

Щоб знизити витрати на електроенергію для забезпечення віддалених від мережі сільськогосподарських об'єктів, таких як пасовища та літні табори, варто розглянути можливості використання енергії сонця, води і вітру.

Зазначимо, що:

- Водяні геліоколектори забезпечують середню економію електроенергії в розмірі близько 400 кВт·год на рік, розраховану на кожен квадратний метр площі нагрівальної поверхні.
- Вітроелектричні установки протягом одного року експлуатації в середньому виробляють близько 100 кВт·год електроенергії на

кожен квадратний метр площі обмаху ротора.

Сільськогосподарські підприємства України активно застосовують вітроелектричні установки, такі як АВЕУ-6 із потужністю 1-4 кВт, а також менш потужне обладнання компанії «WindElektric». Для водопідймання використовуються вітромеханічні установки типу УВМ-4 із потужністю 1,6 кВт.й

Сонячна електростанція (СЕС) являє собою технологічну споруду, призначену для перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію. Будівництво сонячних електростанцій для сільсько-господарських підприємств є стратегічно обґрунтованим вкладенням, що надає низку суттєвих переваг:

- скорочення витрат на електроенергію завдяки її самостійному виробництву;
- зменшення залежності від коливань цін на електроенергію для промислового споживання;
- можливість отримувати додатковий дохід шляхом продажу надлишкової енергії до загальної мережі за «зеленим» тарифом;
- забезпечення стабільності бізнесу без ризику фінансових втрат через перебої у постачанні електроенергії;
- довговічність обладнання — сучасні сонячні станції з монокристалічними панелями працюють понад три десятиліття;
- мінімальні витрати на технічне обслуговування та легкість у використанні;
- швидка окупність — термін становить від 3,5 до 7 років.



Рисунок 1.12 – Фрагмент СЕС для сільського Господарства

Сонячні модулі зазвичай монтують прямо над посівами на такій висоті, щоб забезпечити достатнє проникнення сонячного світла до рослин. У деяких системах використовують напівпрозорі панелі, які пропускають світло, сприяючи нормальному росту культур під ними.

Це створює можливість отримувати подвійний урожай: вироблення електроенергії за допомогою фотоелементів і сільськогосподарську продукцію.

## **1.7 Підвищення надійності електропостачання**

Для підвищення надійності електропостачання можуть застосовуватися організаційно-технічні та технічні заходи. До організаційно-технічних належать:

1. Підвищення вимог до експлуатаційного персоналу, що включає дотримання трудової та виробничої дисципліни, а також підвищення кваліфікації працівників.

2. Розумна організація проведення поточних і капітальних ремонтів, профілактичних випробувань, механізація процесів ремонту та виконання ремонтних робіт на лініях, які перебувають під напругою.

3. Оптимізація процесів виявлення і ліквідації пошкоджень за допомогою спеціальної апаратури, спеціалізованого автотранспорту, диспетчеризації, телемеханізації, радіозв'язку тощо.

4. Створення аварійних запасів матеріалів і обладнання з врахуванням оптимального обсягу.

До технічних заходів належать:

1. Підвищення надійності окремих компонентів мереж, таких як опори, проводи, ізолятори, обладнання ліній та підстанцій.

2. Зменшення радіусу охоплення електричних мереж, що передбачає оптимальну довжину у 15 км для мереж 10 кВ (закордонна практика пропонує 7 км).

3. Використання підземних кабельних ліній та облаштування повітряних ліній напругою 0,38 кВ ізольованими

проводами.

4. Організація мережного й локального резервування.

5. Автоматизація електромереж у сільській місцевості, що включає вдосконалення релейного захисту, впровадження АПВ, АВР, автоматичне секціонування та встановлення систем телемеханіки.

### **? Контрольні питання**

1. Електрична енергія, або електроенергія, визначається як...
2. У чому полягає необхідність передачі електроенергії?
3. Які аспекти охоплює електрифікація сільського господарства?
4. Що є необхідним для забезпечення розвитку сільських електромереж?
5. Яке значення має альтернативна енергетика для сільського господарства?
6. Які види трансформаторних підстанцій використовуються для потреб агровиробництва?
7. Від чого залежить надійність електропостачання?
8. Які заходи можуть застосовуватись для підвищення надійності системи електропостачання?

## Розділ 2

# ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### *Загальні відомості*

*Класифікація електроприводів у сільському господарстві*  
*Автоматизація процесів годування та напування тварин і птиці*

*Процесорне керування електроприводом сонячної енергосистеми*

*Загальні рекомендації з енергозбереження в електроприводах*

## 2.1 Загальні відомості

*Електропривод* — електромеханічна система, яка призначена для забезпечення руху виконавчих механізмів робочих машин відповідно до заданих параметрів, що необхідно для виконання їхніх функцій. Сучасний електропривод представляє собою комплекс, що включає електродвигун як джерело механічної енергії, апаратуру керування та захисту, а також систему передачі — механічну, гідравлічну або електричну.

Електроприводи відіграють важливу роль, оскільки вони споживають близько 60 % електроенергії та слугують головним джерелом механічної енергії в промисловості та сільському господарстві. Одним із найефективніших способів зниження споживання енергії на виробництвах, де необхідно регулювати продуктивність механізмів на основі електродвигунів змінного струму, є використання регульованих електроприводів змінного струму. Застосування такого типу електроприводів на обладнанні з квадратичним навантаженням, як-от насоси, вентилятори чи повітродувки, дає змогу відмовитися від дроселювання і значно скоротити витрати електроенергії, забезпечуючи економію в межах 30-70 %.

Однією з характерних рис сучасного електропривода є:

- активне впровадження напівпровідникових перетворювачів енергії, що забезпечують ефективне регулювання швидкості електроприводів;

- використання мікропроцесорних контролерів для реалізації задач управління роботи електроприводів.

Процес перетворення енергії зазвичай є керованим і структурно організованим.

У межах аналізу структури електричного приводу (ЕП) виділяють дві основні складові: силову та інформаційну.

Силова частина включає елементи, що безпосередньо забезпечують перетворення та передачу енергії. До її складу входять електричні двигуни, пристрої для перетворення електричної або механічної енергії, робочі органи, механізми, а також інші вузли, де відбувається переміщення чи трансформація потужної енергетичної складової електроприводу.

Інформаційна частина відіграє ключову роль у забезпеченні функціонування системи керування електричним приводом, контролю технологічного процесу та інших інтегрованих завдань. Якщо електропривод працює в некерованому режимі, інформаційна складова, як правило, відсутня. У тих випадках, коли враховується інформаційний канал, до його компонентів належать сенсори, системи керування та моніторингу, а також канали зв'язку, що забезпечують передачу даних для організації ефективного функціонування всього комплексу.

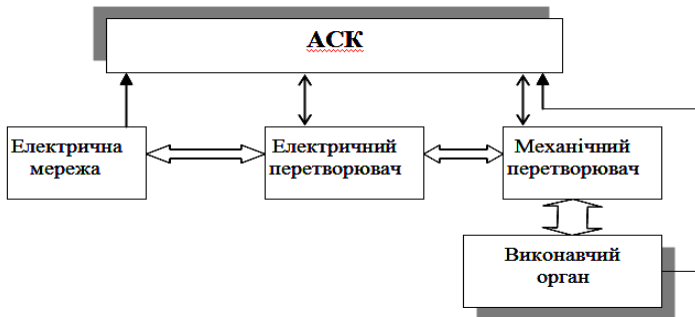


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура електроприводу

Електричний привод активно взаємодіє з електричною мережею, забезпечуючи двосторонній обмін енергією (ЕМ). У випадку необхідності електрична енергія трансформується за

допомогою електричного перетворювача (ЕП), після чого передається до електромеханічного перетворювача (ЕМП) для подальшого використання. У багатьох ситуаціях виникає потреба в модифікації механічної енергії, яка передається виконавчому органу для здійснення корисної роботи. Це може включати зменшення швидкості обертання, збільшення моменту або конверсію обертального руху в поступальний. Для реалізації подібних функцій застосовується механічний перетворювач, що є важливим компонентом у забезпеченні необхідних характеристик механічної системи.

Розглянутий компонент приводу виконує функцію силової частини, здатний передавати енергію як у прямому, так і в зворотному напрямках. Для керування технологічним процесом електропривод може бути оснащений автоматичною системою керування (АСК). АСК здатна отримувати дані від будь-якого елемента системи електропривода та впливати на керовані компоненти.

## **2.2 Класифікація електроприводів у сільському господарстві**

Типи електроприводів можна поділити на такі категорії:

1. Нерегульовані — прості системи, що забезпечують лише функції запуску та зупинки двигуна, працюючи в одношвидкісному режимі.

2. Регульовані — створені для контролю частоти обертання, пуску та гальмування електродвигуна відповідно до вимог технологічного процесу.

3. Неавтоматизовані — приводи, керування якими здійснюється вручну без допомоги автоматичних систем.

4. Автоматизовані — системи, що працюють в автономному режимі з використанням засобів автоматизації для ефективного управління.

Класифікація електроприводів зазвичай здійснюється залежно від типу руху, рівня керованості, виду електричних і механічних передавальних пристроїв, а також способу передачі механічної енергії на виконавчі органи.

За *видом руху* електроприводи бувають обертальні, поступальні односпрямовані, реверсивні, а також зворотно-поступальні.

За *принципом регулювання* їх функціонування можна виділити наступні типи:

1. Нерегульовані та регульовані за швидкістю.
2. Слідові, які дозволяють відтворення переміщень виконавчого органу відповідно до змін введеного сигналу.
3. Програмно-керовані, призначені для виконання переміщень відповідно до заздалегідь розробленої програми.
4. Адаптивні, що автоматично налаштовують оптимальний режим руху у випадку зміни робочих умов.
5. Позиційні, здатні точно регулювати положення виконавчого органу робочої машини.

Способи передачі механічної енергії від двигуна до робочих органів машини в електроприводах поділяються на три основні типи: груповий, одиночний, багатодвигунний.

Груповий привід передбачає, що один двигун за допомогою передач приводить у рух кілька окремих машин.

Недоліки такого типу приводу:

- неможливість регулювання;
- значні енергетичні втрати у передачах;
- низька надійність системи.

В *одиночному приводі* робочий орган машини приводиться в дію одним електродвигуном. У деяких випадках двигун безпосередньо виконує функцію робочого органа машини, наприклад, у випадку електричного свердла або барабана стрічкового конвеєра з вбудованим двигуном.

*Багатодвигунний привід* характеризується тим, що для приведення окремого механізму в рух використовується кілька двигунів.

Прикладами таких систем може бути конвеєр, підйомна машина чи механізм повороту потужного екскаватора.

Класифікація двигунів за *видом струму*: постійного та струму та змінного струмів.

6. За типом двигуна:

- двигун постійного струму (з паралельним, незалежним, змішаним або послідовним збудженням);

- асинхронний двигун із короткозамкненим ротором;
- синхронний двигун та генератор.

7. За типом передавального механізму:

- редукторний (залежно від виду передачі: зубчаста, черв'ячна, ремінна);
- безредукторний.

8. Залежно від рівня автоматизації:

- неавтоматизований (усі операції виконує машиніст-оператор);
- автоматизований (машиніст задає команди для зміни режиму роботи);
- автоматичний (усі операції виконуються повністю без участі людини).

9. Залежно від ступеня керованості:

- нерегульований (швидкість не піддається регулюванню);
- регульований (регулюються швидкість і момент);
- програмно-керований (управління здійснюється згідно із заданою програмою);
- пристрій зі стеженням (робочий механізм автоматично переміщується, слідуючи за довільно змінюваним сигналом, де завдання може змінюватися за будь-яким законом, а механізм відтворює ці зміни);
- адаптивний (саморегульовальний пристрій, що автоматично змінює структуру або параметри привода залежно від умов роботи для забезпечення оптимального управління).

Електроприводи, що застосовуються в сільському господарстві, класифікуються на стаціонарні та пересувні. Стаціонарні електроприводи використовуються для автоматизації трудомістких процесів у тваринництві, роботах у ремонтних майстернях тощо.

Пересувні електроприводи призначені для обслуговування польових установок, таких як дощувальні машини, скиртоклади і подібні агрегати. Стаціонарні електроприводи за своєю будовою поділяються на групові, багатодвигунні та одиночні системи. Пересувні електроприводи, як правило, представлені одиночними конструкціями.

Груповий електропривод характеризується тим, що один електродвигун забезпечує рух робочих органів групи машин

через одну трансмісію або декілька механізмів передачі руху. Такий тип електроприводу також називають трансмісійним.

У сільськогосподарському виробництві раніше широко використовували груповий електропривод, зокрема в кормоприготувальних цехах на тваринницьких фермах і в ремонтних майстернях. Проте нині через технічну недосконалість він поступово замінюється одиночним електроприводом, де кожна робоча машина приводиться в рух окремим електродвигуном. Це стало основним типом приводу у сфері сільського господарства.

Одиночний електропривод має низку важливих переваг. Він дозволяє працювати на оптимальних швидкостях обертання, забезпечує швидший запуск і зупинку робочих машин, а також легкість змінювання напрямку їхнього обертання. Крім того, цей вид привода зручний для автоматизації виробничих процесів, мінімізує втрати енергії в трансмісії й уникає витрат через роботу машин ухолосту. Застосування одиночного електропривода сприяє оптимізації виробничого простору за рахунок відсутності громіздких трансмісій. Крім того, у разі виходу з ладу електродвигуна проста зупинка торкнеться лише однієї машини, на відміну від ситуації з груповим електроприводом, де одночасно припиняє роботу вся група машин.

### **2.3 Вимоги до експлуатації електроприводів у агровиробництві**

Під час проектування та експлуатації електроприводів у сільському господарстві враховують низку специфічних аспектів їхнього функціонування: різноманітність характеристик приводів робочих машин, підвищену вологість і запиленість середовища, присутність хімічно активних речовин, живлення від малопотужних резервних мереж у деяких випадках, значну віддаленість приводів від джерела живлення, а також сезонний характер роботи певних механізмів.

Різні характеристики приводів робочих машин враховують під час вибору електродвигунів відповідної модифікації, аналізу перехідних процесів у системі двигун – робоча машина тощо.

Широкий асортимент асинхронних двигунів надає можливість обрати оптимальний варіант з урахуванням рівня захисту від впливів зовнішнього середовища. Наприклад, для роботи у вологих приміщеннях зазвичай використовують двигуни у волого- та морозостійкому виконанні.

Ці двигуни призначені для роботи за умов температури навколишнього середовища до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості до 100% при температурі  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Висота осі обертання варіюється в межах від 50 до 355 мм, ступінь захисту — IP54, виконання за кліматичними умовами — ХЛ, категорія розміщення — 2. Вони відрізняються від стандартних моделей волого-морозостійкою ізоляцією, а також захисним покриттям всіх елементів. Технічні характеристики цих двигунів повністю відповідають параметрам стандартних аналогів зі ступенем захисту IP44. Для безпосереднього використання в тваринницьких або птахівницьких приміщеннях застосовуються двигуни сільськогосподарського виконання. Вони виготовляються з висотою осі обертання від 50 до 180 мм і мають ступінь захисту IP54.

Ці двигуни відрізняються від основного типу просоченням ізоляції обмотки статора, захисним покриттям і ущільненнями в області вала, щитів та ввідного пристрою. Технічні характеристики двигунів сільськогосподарського виконання залишаються такими ж, як і в базових моделях. У приміщеннях з підвищеним рівнем запиленості використовують захищені пилонепроникні двигуни, які оснащені віссю обертання 56...250 мм, ступенем захисту IP54, кліматичним виконанням У та категорією розміщення 3.

Ці двигуни мають спеціальні ущільнення для лінії вала та ввідного пристрою, зберігаючи при цьому технічні параметри базових моделей.

Сезонний характер роботи електроприводів призводить до зниження опору ізоляції через відсутність її підсушування робочим струмом.

Цей фактор необхідно враховувати під час вибору двигунів, стійких до впливу вологи, а також при експлуатації електроустановок.

## **2.4 Автоматизація годування та напування свійських тварин і птахів**

На великих тваринницьких комплексах та птахофермах, де використовуються сучасні машинні технології та поточний характер виробництва, зростає необхідність впровадження автоматизованих систем керування. Це дає змогу максимально ефективно використовувати обладнання, суттєво знижувати трудові витрати, зменшувати собівартість продукції, підвищувати продуктивність та поліпшувати умови праці.

Процес годівлі тварин включає етапи кормоприготування та роздачі кормів. На тваринницьких фермах у кормових цехах і кухнях корм готується за допомогою спеціалізованих машин, об'єднаних у лінії для обробки різних видів кормів. Залежно від принципу роботи, машини для приготування кормів поділяються на різальні, подрібнювальні, мийні, розминаючі, перемішувальні та запарювальні.

Роздача кормів здійснюється за допомогою транспортно-дозувального обладнання, принцип роботи якого визначається типом корму.

Для сухих кормів застосовуються:

- тросово-шайбові транспортери із дозаторами або стрічкові транспортери стандартної конструкції;
- для зволоженого корму використовуються платформні або мобільні кормороздавачі;
- для рідкого корму — гідравлічні кормороздавачі.

### **2.4.1 Автоматизація годування тварин**

Процес роздачі кормів належить до найбільш трудомістких завдань на тваринницьких і птахівницьких фермах. Він тісно пов'язаний із загальним технологічним циклом, який використовується на кожному конкретному підприємстві. Ключовою умовою ефективного годування тварин є збалансованість кормів, що передбачає їх точне дозування та своєчасну видачу.

У подібних системах зазвичай інтегрують кілька технологічних операцій у єдину поточну лінію.

При цьому застосовують місцеве, дистанційне чи автоматизоване управління електроприводами обладнання. Найчастіше транспортні лінії для подачі кормів та механізми роздачі проектуються у взаємозв'язку, утворюючи єдиний технологічний процес. Системи автоматизації повинні забезпечувати узгодженість роботи автоматичних і ручних режимів керування машинами та механізмами. Особливу увагу слід приділяти послідовності увімкнення, яка має виконуватись у зворотному напрямку до руху корму. Це дозволяє уникнути перевантаження машин, запобігти зупинці потокової лінії та забезпечити належний порядок дій у разі аварійної зупинки окремих механізмів.

Також необхідно здійснювати контроль та передбачати сигналізацію, яка повідомляє про стан роботи всіх задіяних машин і механізмів. Роздача кормів виконується за допомогою транспортно-дозувального обладнання, принцип роботи якого залежить від типу корму. Для сухого корму використовують тросово-шайбові транспортери з дозуючими пристроями або звичайні стрічкові конвеєри. У випадку зволоженого корму застосовуються платформні системи або мобільні кормороздавачі. Рідкі корми розподіляються за допомогою гідравлічних систем.

До різальних машин належать:

- соломорізки РСС-6, які використовуються для різання соломи та подрібнення зелених стебел;
- подрібнювачі зеленої маси, коренеплодів і кукурудзяних стрижнів, такі як «Волгар-5», ИКС-5М, КГПИ-4 та інші моделі.

Для подрібнення зернових культур застосовуються дробарки типу ДММ, ДКМ-2, ДДР, КДУ тощо. Для виконання операцій змішування і запарювання використовують запарники-змішувачі АПС-6, ВК-1, С-12 та подібні пристрої.

Автоматизовані системи подрібнюючих і різальних машин забезпечуються комплектами, які включають пульт керування, панель регулятора та силову панель.

Захист електродвигунів від короткого замикання виконується за допомогою автоматичних вимикачів з комбінованим розчіплювачем-перемикачем, налаштованим на номінальний струм.

Для захисту двигуна від перевантажень використовуються реле ТРП-150А, а також реле максимального струму з миттєвою дією.

#### **2.4.2 Система управління електродвигуном дробарки**

Електрична схема управління електродвигуном дробарки передбачає два режими роботи: налагоджувальний (Н) і робочий (Р), які налаштовуються за допомогою перемикачів SA2 і SA3 (див. рис. 2.1). У режимі "Наладка" кожен механізм можна вмикати і вимикати окремо, незалежно від інших, використовуючи кнопки SB1 – SB6.

У режимі "Робота" після активації кнопки SB2 послідовно запускаються двигуни вивантажувального шнека M1 і дробарки M2. Щоб зменшити пусковий струм, двигун дробарки M2 запускається за схемою, що передбачає перемикання обмоток із конфігурації "зірка" на "трикутник".

Контроль процесу запуску здійснюється за допомогою реле часу КТ, яке через 10 секунд після запуску в режимі "зірка" подає сигнал для перемикання обмоток у режим "трикутник".

При натисканні кнопки SB4 активуються пускач KM2 та двигун M2 зі з'єднанням обмоток у схемі "зірка".

Одночасно спрацьовує реле часу КТ, яке отримує живлення.

Через 10 секунд реле часу розмикає контакт КТ.2, що вмикає пускач KM2, і за допомогою контакту КТ.3 вмикає KM3.

В цей момент на регулятор завантаження AP3 та електромагнітну муфту YC подається напруга, а обмотки двигуна M2 перемикаються на з'єднання за схемою "трикутник".

Двигун завантажувального шнека M3 запускається після натискання кнопки SB6, за умови, що бункер дробарки не заповнений.

Коли зерно в бункері досягає датчика верхнього рівня, замикається його контакт SL1, який шунтує ланцюг керування симістором VS. В результаті симістор закривається, що призводить до розриву кола живлення котушки пускача KM4 і зупинки завантажувального шнека. Повторний запуск шнека

відбувається після звільнення датчиків SL1 і SL2 від зерна.

Для стабілізації струму живлення, споживаного двигуном M2 дробарки, використовується автоматичний регулятор завантаження (APЗ). Керуючий сигнал для нього формується на основі даних, отриманих від трансформатора струму ТА.

Залежно від навантаження на двигун M2, регулятор APЗ керує приводом засувки M4. У свою чергу, засувка, відкриваючись або закриваючись, регулює подачу зерна у дробильну камеру, забезпечуючи підтримання номінального навантаження двигуна M2.

У випадку різких перевантажень двигуна дробарки, регулятор через реле KV2 активує муфту YС, після чого заслінка повністю перекидає подачу зерна в камеру.

Коли зерно перестає потрапляти в дробильну камеру, засувка автоматично відкривається до кінця, що призводить до спрацювання кінцевого вимикача SQ2 і ввімкнення сирени НА. У такій ситуації регулятор APЗ починає надсилати команди для запуску двигуна M4 у вигляді імпульсів із заданою шпаруватістю.

У разі перевантаження двигуна або перевищення струму більш ніж на 15% від номінального значення, паузи між імпульсами скорочуються у 5-15 разів.

Це забезпечує швидшу реакцію на сигнал про неузгодженість між опорним і контрольованим сигналом. Щоб перевірити роботу регулятора завантаження, вимикач SA3 встановлюють у положення "Регулятор".

Система має захист від коротких замикань: двигуни дробарки захищаються автоматичними вимикачами QF1 і QF2, а схема керування — запобіжником FU1.

Двигуни M1 і M3 шнеків захищені від перевантажень за допомогою теплових реле KK1 і KK2. Крім того, контакт кінцевого вимикача SQ1 запобігає запуску двигуна, якщо кришка дробарки відкрита. Кормороздавачі типу РВК-Ф-74, ТВК-80, КЛО-75 належать до стаціонарного обладнання й призначені для роздачі різних видів кормів (за винятком концентратів і рідких кормів) у системах прив'язного утримання тварин. Роздача здійснюється вздовж кормового жолоба за допомогою рухомої стрічки або пластинчастого транспортера.



Управління можливе з двох робочих місць у режимах роздачі корму і видалення відходів. Також у схемі реалізована функція включення звукового сигналу НА, який сповіщає про початок процесу роздачі корму або видалення відходів. Для цього передбачено, що кнопковим постом спочатку активується реле часу КТ1 або КТ2, яке забезпечує затримку у включенні електродвигуна, дозволяючи подати звуковий сигнал перед початком роботи.

Зупинка двигуна, що відповідає за переміщення робочого органа під час роздачі корму та видалення відходів, здійснюється автоматично за допомогою кінцевих вимикачів SQ1 і SQ2. Захист електродвигуна від перевантаження забезпечується тепловим струмовим реле КК1. Наявність напруги на шафі керування позначає сигнальна лампа НЛ.

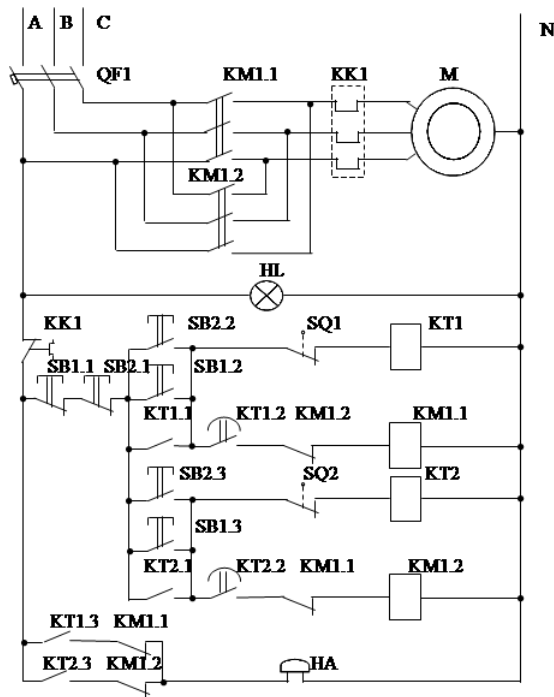


Рисунок 2.3 – Принципова схема електрична кормороздавача РВК-Ф-74

Технологічна лінія розподілу корму, оснащена кормороздавачем ТВК-80Б і стаціонарним роздавачем КТУ-10, здатна працювати в автоматичному режимі. Для організації роздачі кормів протягом доби застосовують добове програмоване реле КТ2 типу 2РВМ або аналогічний пристрій, що налаштовується відповідно до складеної діаграми годині.

Управління кормороздавальною лінією здійснюється вручну або автоматично на основі принципової електричної схеми (рис. 2.4) у визначеній послідовності.

Спочатку за допомогою контакту програмного пристрою КТ2:1 активуються магнітні пускачі КМ2 і КМ3, що забезпечують зворотний рух стрічки транспортера відходів. У кінцевій передній позиції стрічки кормороздавача кінцевий вимикач Q1 зупиняє її рух і відключає транспортер відходів через контакт КМ2:2. Згідно з командою програмного реле, контактами КТ2:2 запускаються привід живильника КМ4 і привід роздачі корму КМ1. Наприкінці процесу роздачі корму кінцевий вимикач SQ2 відключає двигун М4, одночасно з цим, із затримкою часу, вимикається привід КМ1.

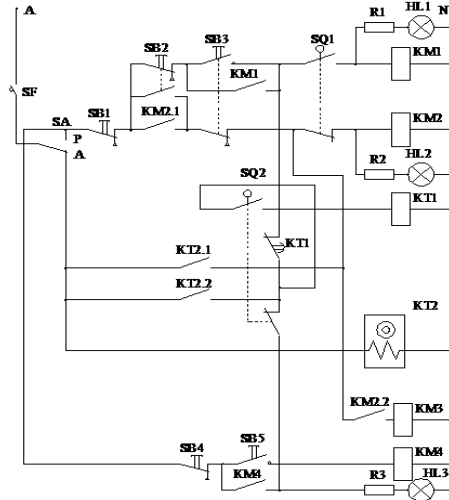


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема керування кормороздавачем ТВК-80Б

Використовуються як індивідуальні, так і групові напувалки.

За принципом дії напувалки поділяються на автоматичні й напівавтоматичні, а в залежності від наявності додаткових функцій — з електричним підігрівом води або без нього.

## 2.5 Доїльні агрегати

Залежно від технології виробництва молока та умов утримання корів, існує кілька способів організації процесу доїння:

- у стійлах з використанням переносних чи пересувних апаратів із збиранням молока у відра або бідони;
- у стійлах із використанням переносних апаратів, де молоко прямує безпосередньо до молокопроводу;
- у спеціально обладнаних станках стаціонарних доїльних залів або на доїльних майданчиках;
- у доїльних станках пересувних установок, які застосовуються на пасовищах та у літніх таборах;
- з використанням доїльних апаратів зі збиранням молока або у відра (бідони), або у молокопровід.

### 2.5.1 Доїльний агрегат ДАС-2В

Доїльний агрегат ДАС-2В (рис. 2.5) обслуговують троє операторів машинного доїння, причому кожен із них працює з трьома двотактними апаратами. Весь процес виконується за визначеною послідовністю технологічних операцій. Спершу доїльні апарати доставляють до місця роботи та під'єднують їх до вакуумних кранів.

Далі проводиться підготовка вимені першої корови до доїння, після чого доїльні стакани надягають на дійки, перевіряючи при цьому їх надійне кріплення.

Після закінчення доїння виконується машинне додоювання, яке триває не більше 30 секунд.

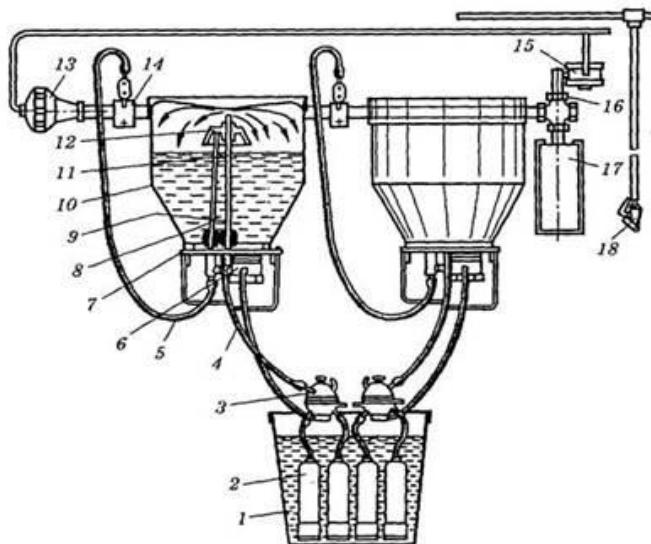


Рисунок 2.5 – Схеми доїльної установки:

- 1 – вакуумний насос; 2 – вакуум регулятор; 3 – вакуумметр;  
 4 – вакуумний кран; 5 – молочний бідон; 6 – пристрій для циркуляційного промивання доїльних апаратів і відер;  
 7 – накривка відра; 8 – трубка; 9 – отвір; 10 – доїльне відро;  
 11 – розбризкувач; 12 – козирок; 13 – пульсопідсилювач;  
 14 – вакуумний кран; 16 – вакуум-провід; 17 – санітарний бачок; 18 – розбризкував

У перервах між циклами, коли в доїльному відрі накопичується приблизно 14–15 кг молока, його переливають у заздалегідь встановлені бідони, розміщені у проході корівника. Бідони з молоком чіпляють за ручку на гачок спеціального візка і транспортують до молочного відділення.

### 2.5.2 Доїльні зали «Карусель» URN-STYLE HBR

Круговий доїльний зал типу «Карусель» вперше розробили та встановили на молочній фермі Уолкон-Гордон в штаті Нью-Джерсі, США. У цих установках оператори можуть керувати процесом як із внутрішньої, так і з зовнішньої сторони

конструкції.

Доїльна установка являє собою круговий конвеєр із внутрішнім діаметром 12 м і зовнішнім 15 м, на платформі якого розташовано 16 доїльних станків. Привід платформи має потужність 4 кВт, що дозволяє здійснювати один повний оберт платформи за 6–14 хвилин. До складу обладнання входять кормороздавач, маніпулятори для доїння, молокопровід, вакуумна установка із системою повітропроводів, пункт для санітарної обробки вимені, а також електричні проводи та системи керування.

Зали «Карусель» роторного типу модифікації «Ялинка», де оператор знаходиться всередині кола, можуть вміщувати від 16 до 40 стійл та призначені для ферм із середньою і великою кількістю худоби. Завдяки такій конструкції забезпечується комфортне розміщення корів, що позитивно впливає на ефективність доїння. Додаткове обладнання для годівлі в залі дозволяє реалізовувати комплексну стратегію харчування: підтримувати частково змішаний тип раціону, годувати концентрованими кормами під час пасовищного сезону або роздавати додатковий корм за необхідності.



Рисунок 2.6 – Доїльні зали «Карусель»

На рис 2.7 зображено фрагмент доїльного залу «Карусель»



Рисунок 2.7 – Фрагмент доїльного залу  
TURN-STYLES HBR

Розділові ворота забезпечують швидкий та зручний рух тварин при вході й виході. Система спеціально розроблена для максимальної оптимізації умов роботи дояра, забезпечуючи чудовий огляд і легкий доступ до вимені. Це сприяє ефективному очищенню дійок та безперешкодному приєднанню доїльного апарата.

Доїльні зали типу «Карусель» найкраще підходять для великих молочнотоварних ферм із поголів'ям дійних корів, що перевищує 1000 голів. В цьому випадку як оператор, так і доїльне обладнання розташовуються всередині платформи, а підключення доїльних апаратів здійснюється з боку.

### **2.5.3 Автоматизований доїльний агрегат УДА-100**

Автоматизований доїльний агрегат УДА-100 «Карусель» представляє собою кільцевий конвеєр (рис. 1.8), на якому розташовано 16 доїльних станків. До складу цього комплексу входять такі елементи: кормороздавач, маніпулятори доїння, молокопровід, вакуумна установка з повітропроводом, пункт для санітарної обробки вимені, системи електропостачання та управління.

Кожен доїльний станок обладнаний годівницею, дозатором для комбікормів і доїльним автоматом МД-Ф-1.



Рисунок. 2.8 – Автоматизований доїльний комплекс  
УДА-100 «Карусель»

Автоматична система управління та санітарної обробки вимені корів виконує наступні функції:

- очищення вимені теплою водою за допомогою спеціальних щіток;
- контроль роботи конвеєра із застосуванням шести датчиків;
- зупинка платформи в разі, якщо корова повністю не видоєна (маніпулятор не зніме доїльні стакани з дійок), або якщо вона не встигла зайти до станка із санітарного пункту чи залишити платформу після доїння;
- фіксація моменту, коли корова залишає платформу;
- активація обладнання для санітарної обробки теплим повітрям);
- закриття дверцят санітарного пункту. У процесі експлуатації агрегат УДА-100 обслуговують оператор та скотар. Сеанс санітарної обробки вимені триває 15 секунд.

Після входу чергової корови в доїльний станок, оператор через пульт керування задає відповідну норму видачі комбікорму. Далі він піднімає важіль пневмодатчика маніпулятора доїння, фіксує його на скобі, встановлює доїльні стакани на вим'я корови і налаштовує підвісну частину апарата, аби забезпечити рівномірний натяг молочних трубок.

Установка «Ялинка» УДА-16А призначена для доїння

корів у групових станках типу «Ялинка» та первинної обробки молока. Її використовують на фермах великої рогатої худоби з поголів'ям 200-500 корів. Умовою застосування є безприв'язне утримання тварин і середньорічний надій на рівні не менше 3000 кг молока від однієї корови.

Загальні технічні характеристики:

Установка «Ялинка» призначена для роботи в таких умовах:

- висота над рівнем моря: до 1000 м.
- відхилення напруги в мережі: від +5% до -10%.
- тиск води у водопроводі: від 100 до 250 кПа (1-2,5 кгс/см<sup>2</sup>).
- температурний діапазон у доїльній залі: від +5°C до +40°C.
- відносна вологість повітря: не більше 80% при температурі +20°C.

Установка функціонує в комплексі з:

- молочним резервуаром відповідної ємності для збору і зберігання молока.
- холодильною камерою.



Рисунок 2.9 – Універсальна доїльна установка УДА-16А.

## 2.6 Загальні рекомендації підвищення енергоефективності електропривода

Для визначення енергоефективності електропривода проводиться енергоаудит.

Енергоаудит — це комплексне обстеження будівлі, підприємства або обладнання з метою визначення того, як, де і скільки енергії споживається, та які заходи можна застосувати для її економії.

Результатом енергоаудиту є звіт, що містить детальний аналіз, перелік проблем і конкретний план заходів для підвищення енергоефективності, розрахунок можливих заощаджень і строків окупності.

На основі результатів енергоаудиту можна застосувати два методи підвищення енергоефективності електропривода

- заміна двигунів із недостатнім завантаженням на двигуни меншої потужності;
- використання електроприводів із частотним регулюванням.

При переході від нерегульованого електропривода до регульованого відбувається певна економія енергії.

Потенційна економія електроенергії може становити:

- для вентиляційних систем – до 50%;
- для компресорів – 40-50%;
- для повітродувок і вентиляторів – до 30%; • для насосів – до 25%.

Загальні рекомендації щодо енергозбереження для електродвигунів:

1. Електродвигуни слід обирати з урахуванням специфіки та потреб навантаження.

2. Рекомендується встановлювати приводи зі змінною швидкістю, особливо в тих випадках, коли двигуни тривалий час працюють за умов неповного навантаження.

3. Використання виключно енергоефективних електродвигунів є необхідним та виправданим кроком.

4. Варто уникати роботи з несправними або некоректно відремонтованими електродвигунами.

## **? Контрольні питання**

1. Електроприводи, що використовуються в сільському господарстві, можна класифікувати на кілька основних типів.
2. У сільськогосподарському виробництві групі електроприводи застосовувалися для виконання завдань, що охоплюють декілька пристроїв або машин.
3. Одиночним вважається електропривод, який призначений для приводу лише одного механізму.
4. Сезонність у використанні електроприводів спричиняє збільшення навантажень у певні періоди та можливе зниження їх ефективності.
5. Автоматизований доїльний агрегат УДА-100 широко використовується для автоматизації процесу доїння у фермерських господарствах.
6. Доїльні зали типу «Карусель» URN-STYLES HBR забезпечують оптимізацію роботи завдяки унікальній конструкції і зручності обслуговування.
7. Загальні рекомендації з енергозбереження в електроприводах включають регулярне технічне обслуговування, використання енергоефективних двигунів та впровадження автоматизованих систем керування.

## Розділ 3

# ТЕПЛОВА ОБРОБКА СІЛЬХОЗПРОДУКЦІЇ

### *Загальні відомості*

*Матеріали для виготовлення нагрівальних елементів  
Технологічні процеси термічної обробки та обладнання, що  
використовується для їх реалізації*

*Методи і засоби електрообігріву для парників і теплиць  
Використання інфрачервоного випромінювання для сушіння  
та термічної обробки сільськогосподарських матеріалів*

### 3.1 Загальні відомості

Теплові процеси, такі як уварювання, стерилізація, пастеризація, обсмажування, бланшування, сушка і заморожування, здійснюються відповідно до заданого режиму, що включає тривалість і температуру обробки, а також параметри теплоносія. Вибір теплового процесу орієнтовано на те, щоб забезпечити якісну обробку продукту за мінімальний час, зберігаючи його властивості. Наприклад, під час концентрації томатних продуктів вологу прагнуть видаляти при низьких температурах кипіння (в умовах вакууму), щоб максимально зберегти їхню поживну цінність. Однак значне зниження температури випаровування додає проблем через підвищення в'язкості суміші, що зупиняє конвекційні потоки. У результаті процес випаровування поступово переходить у сушку, при якій швидкість видалення вологи значно сповільнюється, що робить цей метод малоефективним.

При виборі тиску і температури пари для нагріву враховуються специфічні властивості продукту. Наприклад, у випадку підігрівання томатної пасти перед розливом вибираються такі параметри, при яких на поверхні нагріву не утворюється нагар. Ефективність теплообміну в харчових продуктах залежить від їхньої консистенції та агрегатного стану.

У рідких продуктах, таких як фруктові й овочеві соки, ягідні екстракти, бульйони та рослинна олія, процес теплообміну відбувається переважно через конвекцію.

Для напіврідких висококонцентрованих продуктів, наприклад, томатної пасти, пюре, ікри чи повидла, тепло передається як за рахунок конвекції, так і теплопровідності. У твердих або колоїдно-капілярних матеріалах, таких як овочі, фрукти, м'ясо чи риба, тепло передається виключно шляхом теплопровідності. Варто зазначити, що в твердих вологих матеріалах цей процес ускладнюється через явища масопровідності.

### **3.2 Перетворення електричної енергії в теплову**

Використання електроенергії для теплових процесів, крім своїх технічних переваг перед традиційними паливними джерелами нагрівання, забезпечує суттєвий економічний ефект.

Електронагрівальні установки вирізняються простотою в обслуговуванні, високим рівнем автоматизації, більшою відповідністю зоотехнічним вимогам і зручністю інтеграції з наявним сільськогосподарським обладнанням. Окрім того, їх застосування у сільському господарстві сприяє значним технологічним перевагам, таким як збереження молодняка, підвищення продуктивності тварин та скорочення витрат кормів завдяки забезпеченню оптимального температурного режиму в приміщеннях.

Електрифікація теплових процесів також виключає ймовірність забруднення навколишнього середовища твердими чи газоподібними продуктами згоряння. Тож під час вибору джерела енергоносія слід враховувати як соціальні, так і екологічні наслідки. До того ж системи електротеплопостачання дають змогу максимально наблизити джерело теплової енергії до місця її споживання.

До процесів, які потребують використання електричних джерел теплової енергії, належать такі: інкубація яєць, обігрів молодих тварин і птиці, отримання пари та гарячої води для виробничих потреб, теплова обробка кормів, підігрів ґрунту в теплицях, нагрів повітря в системах вентиляції, охолодження сільськогосподарської продукції для продовження терміну її зберігання, електрозварювання та інші подібні процеси.

З точки зору фізики, електричне нагрівання відбувається

внаслідок взаємодії речовини з електромагнітною енергією.

Електромагнітне поле змушує вільні або пов'язані заряди у речовині здійснювати різні види переміщень. У процесі такого руху заряди стикаються з нейтральними частинками або іншими зарядами протилежного знаку, передаючи їм частину власної кінетичної енергії, що була набута під впливом поля. Це призводить до посилення теплового руху частинок, що виявляється у збільшенні температури речовини.

Електронагрівальна установка (ЕНУ) зазвичай складається з нагрівального елемента, який безпосередньо перетворює електричну енергію в теплову, корпусу, ізоляційних компонентів та інших допоміжних елементів, що разом утворюють компактну конструкцію для виконання конкретного технологічного процесу.

### 3.2.1 Класифікація ЕНУ

За характеристиками нагрівання виділяють електронагрівальні установки (ЕНУ) прямого та непрямого нагріву.

ЕНУ *прямого нагріву* безпосередньо перетворюють електричну енергію на теплову в самій речовині, яку потрібно нагріти. У випадку з ЕНУ *непрямого нагріву* теплову енергію передають речовині через теплопровідність, конвекцію, випромінювання або комбінацію цих способів.

Завдяки зменшенню теплових втрат, ЕНУ прямого нагріву відзначаються вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Водночас їхнє використання обмежене типом речовин, тоді як більш універсальні ЕНУ непрямого нагріву придатні для роботи з будь-якими матеріалами. ЕНУ за характером нагрівання поділяються на установки періодичної та безперервної дії. В ЕНУ періодичної дії виконуються почергово операції: завантаження матеріалу, його нагрівання та вивантаження.

Установки *безперервної дії* забезпечують безперервний рух матеріалу через систему, де він поступово нагрівається від початкової до кінцевої температури під час переміщення від входу до виходу. Якщо нагрівається рідина, установки періодичної дії називають непроточними, а безперервної — проточними.

За режимом електроспоживання розрізняють установи, що

працюють за вільним або примусовим (режимним) графіком. Установки режимного графіка обладнуються пристроями для акумулювання тепла.

За рівнем нагрівання електронагрівальні установки (ЕНУ) поділяються на три категорії:

- низькотемпературні (до 600 °С);
- середньотемпературні (від 600 до 1250 °С);
- високотемпературні (понад 1250 °С).

У сільському господарстві найбільш поширеним є використання низькотемпературних ЕНУ. Згідно з їхнім технологічним застосуванням, виділяють універсальні та спеціальні установки.

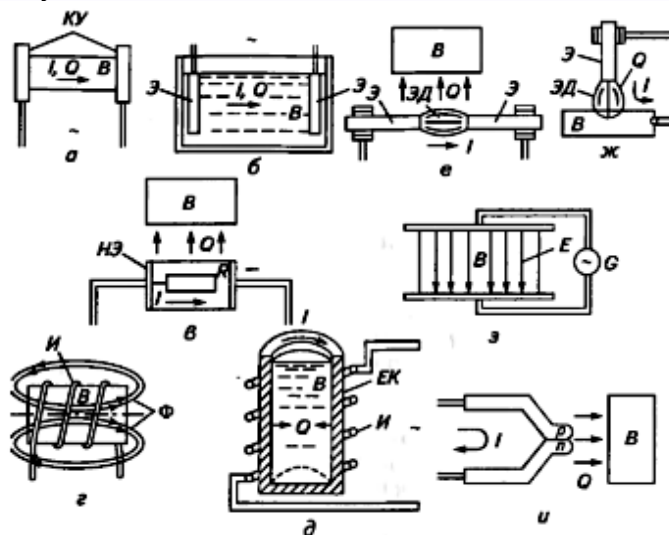


Рисунок 3.1 – Схеми основних способів перетворення електричної енергії в теплову:

а – опором електроконтактний; б – опором електродний; в – опором непрямого нагріву; г, д – індуктивного прямого та непрямого нагріву; е, ж – електро - дугового непрямого і прямого нагрівання; з – діелектричний; и – термоелектричний; В – речовина; КУ– контактний пристрій; Е – електрод; ЕД – електрична дуга; НЕ – нагрівальний елемент; І – індуктор; ЕК– металевий посуд.

*Універсальні* ЕНУ призначені для виконання різноманітних технологічних операцій і здебільшого представлені установками непрямого нагрівання, такими як електроводонагрівачі чи електрокалорифери.

*Спеціальні* ЕНУ створюються для певних технологічних завдань, наприклад, для обігріву теплиць, пастеризації молока або сушіння зерна. Вони характеризуються конструкцією, яка відповідає конкретному призначенню.

Класифікація електричного нагрівання речовин (ЕНУ) за способом електронного нагріву відіграє ключову роль. У випадку, коли сам матеріал, що потребує нагріву, виконує функцію провідника, застосовується прямий електричний нагрів опором. Такий метод ділиться на електроконтактний (рис. 3.1, а), коли нагріваються провідні тверді речовини (провідники першого роду), та електродний (рис. 3.1, б), у випадку нагрівання провідних рідких речовин (провідників другого роду).

Існує також метод електричного нагріву в електроліті, який поєднує електродний нагрів і передачу теплової енергії через газорідний шар навколо елемента. У цьому шарі генерується основна частка тепла. Схема даного способу наведена на рис. 3.1, в. Нагрівання речовини відбувається завдяки теплу, яке створюється в окремому нагрівальному елементі «ЕН» шляхом опору під дією струму  $I$ .

Пристрої з прямого та непрямого електронагрівання опором широко використовуються в сільському господарстві для забезпечення електрообігріву та електроопалення у виробничих і побутових приміщеннях. Їх застосовують для нагрівання технологічної та питної води, термічної обробки кормів, сушіння різної сільськогос-подарської продукції тощо. Таке обладнання представлено у вигляді електроводонагрівачів, електрокалориферів, електричних теплових панелей, килимків, грілок, манежів, а також електропечей опором та інших подібних пристроїв.

Суть електронагрівання опором полягає в тому, що під час проходження струму через провідник у ньому виділяється кількість тепла  $Q$  (у джоулях), яке визначається законом Джоуля-Ленца.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де  $I$  – величина струму в провіднику (А),  $R$  – активний опір провідника (Ом), – тривалість нагрівання (с). Потужність, що при цьому виділяється, вимірюється у ватах (Вт):

Потужність, яка при цьому розвивається, Вт:

$$P = \frac{Q}{\tau}, \quad (3.2)$$

### 3.2.2 Дугове електронагрівання

Процес здійснюється шляхом перетворення електричної енергії в теплову за допомогою електричної дуги, яка є високотемпературною електропровідною плазмою. Електрична дуга утворюється між двома електродами, до яких підводиться напруга від джерела живлення (див. рис. 3.1, е).

При прямому електродуговому нагріванні одним із електродів виступає матеріал, який піддається нагріванню, наприклад розплавлений метал (див. рис. 3.1, ж). Електродугове нагрівання застосовують переважно для плавлення, високотемпературного різання металів і їх зварювання.

Електрообладнання для дугового нагрівання представлено електродуговими плавильними печами, зварювальними трансформаторами, перетворювачами, силовими блоками випрямлячів, тиристорними системами та установками для плазмового нагріву. Усе це широко використовують на ремонтних підприємствах та в майстернях для монтажу металоконструкцій і ремонту сільськогосподарської техніки.

### 3.2.3 Індукційне електронагрівання

Процес здійснюється за допомогою змінного магнітного поля, при цьому струмопровідний матеріал, зокрема металева заготовка (рис. 3.1, г), розміщується всередині котушки, що носить назву індуктора.

Через індуктор проходить змінний струм, який створює змінний магнітний потік  $\Phi$ . Відповідно до закону електромагнітної індукції, цей потік викликає (індукує) в

струмопровідному матеріалі, зокрема в металевій заготовці:

$$e = d\Phi/dt. \quad (3.3)$$

Під впливом індукованої електрорушійної сили в заготовці виникають вихрові струми (так звані струми Фуко), які нагрівають матеріал згідно із законом Джоуля-Ленца.

Схема, представлена на рисунку 3.1,г, демонструє принцип прямого індукційного нагріву. У цьому процесі індуктор виконує функцію первинної обмотки трансформатора, тоді як вторинна обмотка є замкненою. Нагрівання відбувається в металевій циліндричній ємності ЕК, яку розігрівають струми, наведені змінним магнітним потоком від індуктора І, розташованого навколо цієї ємності.

Залежно від мети нагрівання, розміру об'єктів та властивостей матеріалу, для індукційного нагрівання застосовуються установки із струмами різних частот: низької (до 50 Гц), промислової (50 Гц), середньої (до 10 кГц) та високої (понад 10 кГц).

Також використовуються індукційні пристрої промислової частоти з багатовитковим індуктором у феромагнітній трубі, а також водонагрівальні трансформатори, вторинна обмотка яких виконана зі сталевих труб, що є короткозамкнутими, для підігріву проточної води.

Установки індукційного нагрівання широко застосовуються для плавлення металів, їх нагріву, непрямого електронагрівання рідких, газоподібних та сипучих речовин, а також для підігріву ґрунтів, підлог і стін різних будівель, зокрема сільськогосподарського призначення.

### 3.2.4 Діелектричне електронагрівання

Діелектричне нагрівання здійснюється за допомогою змінного електричного поля і застосовується для нагріву матеріалів, які володіють властивостями діелектриків та напівпровідників. Робоча камера установки діелектричного нагрівання (рис. 3.1,з) виконує функцію своєрідного конденсатора, що з'єднаний з високочастотним джерелом

змінної напруги. Між обкладинками такого конденсатора розташовується речовина, яка підлягає нагріванню.

Під впливом високочастотного змінного електричного поля  $E$ , яке створюється між обкладинками конденсатора, у речовині відбувається періодична знакоперемінна поляризація іонів та полярних молекул. У процесі подолання міжмолекулярного тертя і сил інерції в речовині генерується теплова енергія  $V$ .

Основна перевага діелектричного нагрівання полягає в тому, що перетворення електричної енергії в теплову відбувається безпосередньо у внутрішніх шарах матеріалу, який нагрівається, і по всьому його об'єму одночасно.

Це забезпечує незалежність швидкості нагріву від розмірів об'єкта і його теплопровідності.

Такий підхід особливо ефективний для матеріалів із низькою теплопровідністю. До того ж завдяки технології внутрішнє тепло сприяє створенню градієнтів температури, вологості та тиску, які спрямовані зсередини до поверхні матеріалу під час сушіння. Це дозволяє ефективніше видаляти вологу.

У харчовій промисловості діелектричне нагрівання, найчастіше у формі СВЧ-нагріву, використовується для кулінарної обробки: варіння, сушіння, розморожування, підігрівання й інших процесів термічного впливу на продукти. У сільському господарстві технологію застосовують для сушіння насіння, зерна, чаю, тютюну, фруктів, пастеризації та стерилізації молока й молочних виробів, соку з фруктів і ягід, консервів. Також її використовують для дезінсекції насіння та шовковичних коконів, боротьби зі шкідниками й бур'янами, вулканізації гуми, лікування тварин та інших потреб.

### **3.2.5 Термоелектричне нагрівання**

Цей процес базується на ефекті Пельтьє й має непрямий характер (рис. 3.1, в). Його суть полягає в тому, що при проходженні постійного електричного струму через перехід (спай) напівпровідникових матеріалів, окрім теплоти Джоуля-Ленца, на р-п переході відбувається виділення теплоти в разі прямого протікання струму від р-елемента до п-елемента, а при

зворотному протіканні струму — поглинання теплоти (охолодження).

Таким чином, у термоелектричній батареї чергуються гарячі спаї, які виділяють тепло, та холодні спаї, котрі забезпечують охолодження.

Термоелектричне нагрівання і охолодження широко застосовуються в термоелектричних холодильниках. У таких пристроях холодні спаї батареї розміщені всередині холодильного відсіку, а гарячі знаходяться зовні.

### **3.2.6 Електронне та лазерне нагрівання**

**Електронне та лазерне** нагрівання базується на утворенні теплової енергії, яка виникає під час бомбардування нагріваного тіла в умовах вакууму потоком електронів, що емітуються катодом і прискорюються за допомогою високої напруги.

У випадку електронного нагрівання це відбувається завдяки потоку електронів, випромінюваних катодом і прискорюваних високою напругою.

До основних технологічних *переваг* цього методу належать висока концентрація енергії та можливість плавного регулювання процесу.

Серед *недоліків* – обов'язковість забезпечення високого вакууму і ризик рентгенівського випромінювання. Іонне нагрівання ґрунтується на виділенні тепла в матеріалі під впливом потоку іонів, які утворюються внаслідок дії електричного заряду у вакуумі. Цей метод часто застосовується в хіміко-термічній обробці металів.

Лазерне нагрівання використовує енергію потужного зосередженого світлового променя. Його технологічні характеристики в багатьох аспектах схожі на властивості електронного нагрівання.

Переваги лазерного нагрівання полягають у відсутності рентгенівського випромінювання, нижчій вартості установок і спрощеному обслуговуванні.

Нагрівальний елемент є ключовою складовою електро-нагрівальної установки, яка функціонує в умовах значних навантажень. У зв'язку з цим матеріали для виготовлення нагрівальних елементів повинні відповідати спеціальним

вимогам:

- стійкість до окислення за високих температур;
- здатність витримувати механічні навантаження від власної ваги при підвищених температурах;
- низький температурний коефіцієнт розширення, що мінімізує зростання опору під час нагрівання;
- висока температура плавлення, яка перевищує робочу температуру на 150–300 °С; - великий питомий опір, що дозволяє зменшити масу нагрівального дроту та розміри електронагрівача;
- гарна оброблюваність; - доступна вартість.

Промислові електронагрівачі використовуються для теплового впливу на вузли агломераторів, термопластавтоматів (ТПА) та інших установок, які займаються переробкою заготовок і виготовленням готової продукції з термопластів.

До категорії нагрівальних пристроїв належать:

1. Нагрівачі з резистивним елементом у складі конструкції.
2. Індукційні нагрівальні пристрої.
3. Карбонові трубчасті інфрачервоні випромінювачі.

Резистивні нагрівачі, до конструкції яких входить резистивний елемент (рис. 3.2), здебільшого використовуються для обробки термопластів. Основними компонентами таких пристроїв є резистивний дріт і ізолятор. Коли пристрій підключається до електромережі, струм, проходячи через дріт, перетворюється на теплову енергію. Ізолятор виконує роль діелектрика, забезпечуючи захист пристрою від пробую струму і передаючи на поверхню лише тепло.



## Рисунок 3.2 – Резистивні нагрівачі

### 3.2.7 Індукційні пристрої нагріву

Робота такого пристрою базується на дії електромагнітного випромінювання, яке впливає на об'єкт нагрівання. Індукційні нагрівачі зазвичай мають різноманітні форми, а їх конструкція заснована на використанні провідника, що створює випромінювання всередині циліндричного контуру, зазвичай виготовленого з вуглеграфіту або подібних матеріалів.

*Принцип роботи* складається з наступного. У котушку, яка має певну кількість витків провідника із заданою площею перерізу (див. рис. 3.3), поміщають струмопровідний стрижень із металу або графіту, без прямого контакту з котушкою. Після цього до контактів котушки підключається напруга змінного струму з генератора. Електромагнітне поле, що виникає навколо витків котушки, викликає появу у стрижні вихрових струмів Фуко, які в свою чергу нагрівають сердечник.

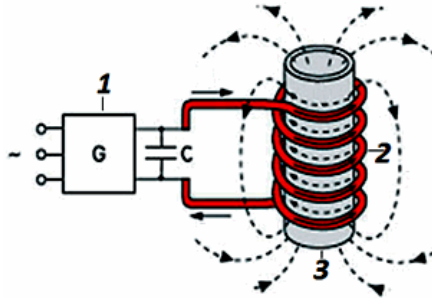


Рисунок 3.3 – Схема індукційного нагрівача:

1 – генератор змінного струму; 2 – індуктор; 3 – сердечник

Температура стрижня підвищується поступово, розпочинаючи з поверхневих шарів і просуваючись до центру. Це залежить від теплопровідності матеріалу сердечника. Підвищення частоти змінного струму, у свою чергу, зменшує глибину індукційного нагріву, але водночас суттєво підвищує його інтенсивність. Важливо відзначити, що котушка, розташована навколо сердечника, під час роботи майже не

нагрівається і залишається прохолодною. Індукційні котли опалення (рис. 3.4) складаються з двох основних контурів:

- первинного, що відповідає за електромагнітні процеси;
- вторинного, який представлений теплообмінною системою.

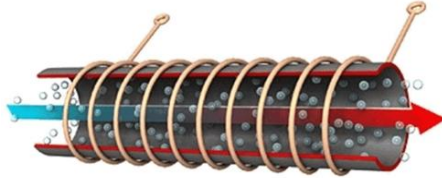


Рисунок 3.4 – Принцип дії індукційного котла опалення

Перший контур, що складається з напругоперетворювального пристрою та теплогенератора з індукційним нагрівачем, генерує електромагнітне поле, створює вихрові струми і забезпечує вироблення тепла.

Другий контур, який складається з теплообмінника із системою об'язки, переносить це тепло до радіаторів опалювальної системи шляхом циркуляції теплоносія. В ролі теплоносія використовується вода у чистому вигляді або з додаванням спеціальних присадок.

Індукційні котли опалення сучасного типу встановлюються виключно в системах із закритим теплообмінним контуром, який оснащується мембранним розширювальним бачком та насосом для примусової циркуляції.

Використання циркуляційного насоса є необхідним через невеликий об'єм теплоносія при інтенсивному нагріванні теплообмінника.

*Карбонові нагрівальні елементи* представлені трубчастими інфрачервоними випромінювачами довгохвильового типу із вуглецевою нагрівальною спіраллю. Трубки можуть мати різні стандартні форми, а потужність випромінювачів варіюється від 200 до 3000 Вт. Форма ламп буває прямою, круглою, грушоподібною, а також вигнутою у формі U чи S.

Робоча температура перебуває в межах 500-900 °С.

Максимальна довжина трубки становить 3 м.

### 3.3 Проточні електродні водонагрівачі

У сільському господарстві широко використовуються проточні електродні водонагрівачі КЕВ (котли електродні водогрійні). Вони виробляються для роботи при номінальних напругах 0,4; 6 і 10 кВ, з максимально допустимим робочим тиском 0,6 МПа для низьковольтних моделей і 1-1,2 МПа для високовольтних апаратів. Зазвичай температура води на виході Т2 становить 95 °С, а розрахункова температура на вході Т1 приймається рівною 70 °С.

На зображенні 3.5, г представлена конструкція електродного водонагрівача КЕВ, оснащеного пластинчастими електродами, з'єднаними відповідно до схеми на рисунку 3.5, в. Корпус водонагрівача виготовлений у формі циліндра (елемент 1) з опорами (елемент 7). У днищі корпусу (елемент 2) кріпляться струмоводи (елемент 3), до яких приєднана електродна система, виконана у вигляді пакету пластин (елемент 4). Для забезпечення симетрії струмових навантажень між електродами застосовують захисні діелектричні екрани (елемент 5). Регулювання потужності водонагрівача здійснюється шляхом зміни активної висоти електродів за допомогою рухомих діелектричних екранів (елемент 6), які вводяться в міжелектродний простір за допомогою ручного приводу.

Високовольтні моделі електродних нагрівачів КЕВ, розраховані на напругу 6 та 10 кВ із потужністю 2500, 6000 і 10 000 кВт, забезпечують максимальну температуру нагріву води до 130-150 °С і можуть працювати при тиску до 1,2 МПа. Зазвичай вони оснащені циліндричними електродними системами, що включають три або шість однофазних груп.

Групи складаються з коаксіально розміщених фазних і нульових електродів, між якими розташовані рухомі циліндри з діелектрика для регулювання потужності.

На рисунку 3.6 зображений електродний водонагрівач моделі ЕПЗ-100. Пристрій має циліндричний сталевий корпус 3, вкритий зовнішньою теплоізоляцією 2 та захищений металевим

кожухом 1. Вода подається і відводиться через патрубки 9 та 7, вбудовані в корпус. На дніщі розміщений зливний патрубок 10, а у верхній частині знаходиться гвинт 5, призначений для випуску повітря при заповненні пристрою водою. Верхній патрубок має два гнізда для встановлення регулювального 8 та аварійного 6 температурних датчиків гарячої води, які з'єднуються капілярною трубкою з термометрами типу ТПГ-СК.

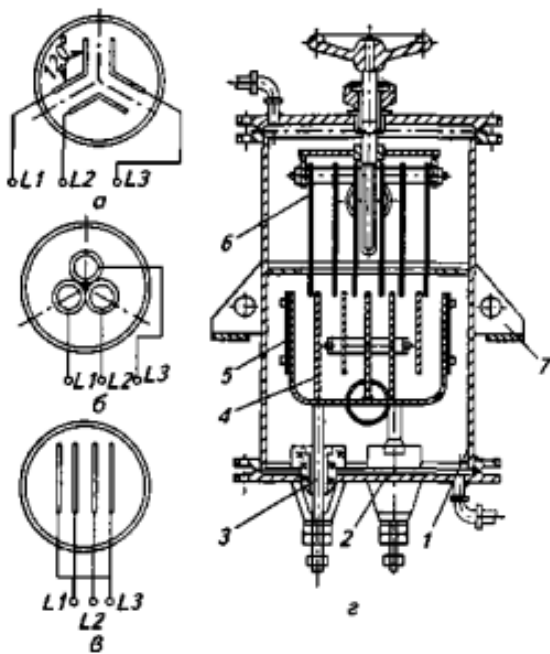


Рисунок 3.5 – Трифазні схеми електродів:  
 а – з плоских вигнутих електродів; б – з коаксіальних  
 циліндричних; в – з плоских електродів з розщепленою фазою;  
 г – пристрій електродного водонагрівача КЕВ; 7 – корпус; 2 –  
 дніще; 3 – струмопровід з ізоляторами; 4 – електрод; 5 –  
 захисний діелектричний екран; 6 – рухомий діелектричний  
 екран для регулювання потужності ЕНУ;

Усередині водонагрівача знаходиться електродна система, яка складається з трьох груп електродів. Кожна група включає

три коаксіально розташованих циліндричних електроди, з яких два виступають нульовими, а один є фазним.

У зазори між електродами поміщено два ізоляційні циліндричні екрани із склотекстоліту, закріплені на спільній траверсі.

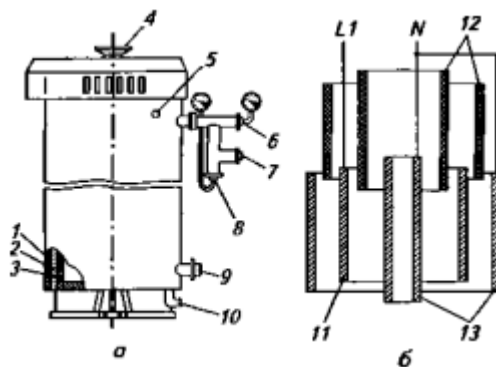


Рисунок 3.6 – Електричний водонагрівач ЕПЗ-100:

а – загальний вигляд; б – схема однієї фази; 1 – кожух; 2 – теплоізоляція; 3 – корпус; 4 – маховик регулятора потужності; 5 – гвинт для випуску повітря; 6, 8 – аварійний і регульовальний датчики температури гарячої води; 7, 9 – відвідний і підвідний патрубки; 10 – патрубок для зливу води; 11 – фазний електрод; 12 – ізолюючі екрани; 13 – нульові електроди

При опусканні екранів за допомогою ходового гвинта і маховика 4, активна площа електродів зменшується, а при їх піднятті – збільшується. Це впливає на потужність водонагрівача: вона зменшується або зростає відповідно.

Номінальна потужність нагрівача становить 100 кВт. Робоча схема опорів води виконана за типом "зірка". Номінальна сила струму дорівнює 152 А, а максимально допустима температура води в котлі – 130 °С. При питомому електричному опорі води 30 Ом (при температурі 20 °С) коефіцієнт корисної дії пристрою досягає 0,99.

Електрична схема водонагрівача ЕПЗ-100 (див. рис. 3.7) дозволяє працювати як в автоматичному, так і в ручному режимі управління. Автоматичне управління реалізується за допомогою

манометричного електроконтактного газового термометра моделі ТПГ-СК типу SK1, оснащеного двома контактами: мінімальним (*min*) і максимальним (*max*). Коли температура води опускається нижче заданого рівня, контакт *min* перебуває в замкнутому стані, а контакт *max* — у розімкнутому. У такому випадку котушка проміжного реле KV2 отримує живлення та своїми замикаючими контактами активує котушку контактора KM.

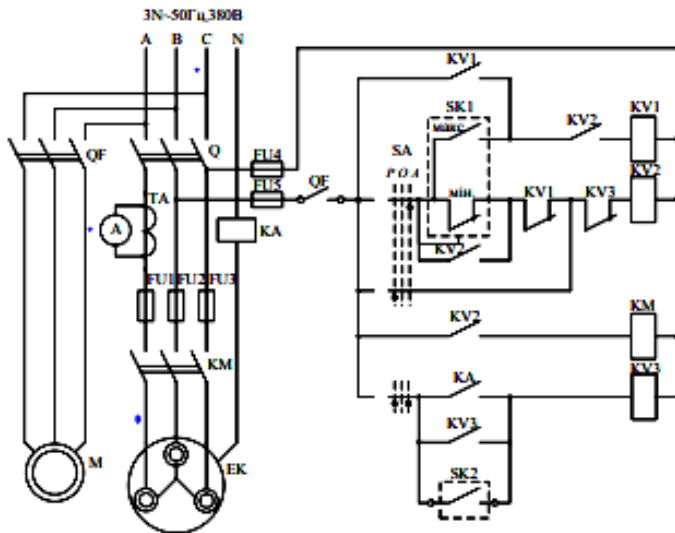


Рисунок 3.7 – Принципова електрична схема електродного водонагрівача EP3-100/0,4

При підвищенні температури води контакти *min* спочатку розмикаються, але контактор KM залишається у ввімкненому стані завдяки функції самоблокування реле KV2. Якщо температура підвищується ще на 5–10°C, спрацьовують контакти *max*, що призводить до подачі живлення на реле KV1. У результаті його контакти розмикаються в колі котушки KV2, і контактор KM вимикається.

У разі зниження температури води першими розмикаються контакти *max*. Це запобігає ввімкненню контактора KM,

оскільки в колі котушки реле KV2 залишаються розімкненими контакти m1n і паралельно підключені контакти KV2.

Якщо температура продовжує знижуватись, контакти m1n замикаються, реле KV2 отримує живлення, і процес запускається знову. Електроконтактний термометр SK2 автоматично вимикає водонагрівач з мережі у разі перевищення максимально допустимої температури води як у ручному, так і автоматичному режимах.

Система керування водонагрівачем оснащена блокуванням, яке запобігає ввімкненню електродів за умови несправності або відключення циркуляційного насоса. Це забезпечується за допомогою допоміжних контактів автоматичного вимикача двигуна насоса, підключених до кола керування водонагрівачем. Для захисту головного електричного кола водонагрівача та кола керування від коротких замикань встановлені запобіжники. Амперметр виконує функцію контролю навантаження та водночас вказує на підключення нагрівача до мережі. Роботу водонагрівача згідно із заданим добовим графіком можна забезпечити шляхом інтеграції програмного реле часу в схему керування. Водночас недоліком електродних водонагрівачів серії ЕПЗ залишається їхня обмежена надійність, що зумовлено малою відстанню між електродами.

### **3.4 Методи та засоби електрообігрівання парників і теплиць**

У сільському господарстві парники активно використовуються для вирощування розсади. Перехід від біологічного до електричного обігріву дозволяє суттєво зменшити трудові витрати на цей процес. Конструкція парників зазвичай виготовляється зі збірних залізобетонних елементів, а покриття виконується зі скляних рам або рам із поліетиленовою плівкою. У таких спорудах використовують ґрунтово-повітряне або лише ґрунтове опалення.

Для його реалізації застосовують нагрівальні елементи з оцинкованого сталевого дроту чи спеціальні нагрівальні

проводи типів ПОСХВ і ПОСХП. Стальні проводи прокладаються під шаром ґрунту в азбоцементних трубах, ізоляційному матеріалі (наприклад, асфальтобетонних блоках) або під шаром поживного ґрунту, якщо напруга живлення знижена. Парник із системою ґрунтового обігріву, який використовує нагрівальний провід ПОСХП, має наступну конструкцію: спочатку укладається утрамбований шар шлаку товщиною 17 см, зверху на який насипають 5-сантиметровий шар піску і теж утрамбовують. На цей пісок розкладаються нагрівальні елементи з проводу ПОСХП.

Для закріплення нагрівальних елементів у потрібному положенні та їхнього захисту від механічних пошкоджень виконують цементну стяжку товщиною 3 см. У стяжці залишають щілини для відведення зайвої води. Після цього зверху насипають шар поживного ґрунту товщиною 20 см.

У теплицях застосовуються методи обігріву — ґрунтовий і повітряний. Для нагрівання ґрунтів використовують стальний оцинкований дріт або нагрівальні проводи марок ПОСХВ чи ПОСХП. Повітря обігрівається за допомогою електрокалориферних установок.

Найбільш розповсюджений спосіб автоматичного регулювання температури в парниках базується на періодичному ввімкненні та вимкненні нагрівальних елементів за допомогою магнітних пускачів, які спрацьовують залежно від температури всередині парника.

Схема управління роботою нагрівальних елементів для групи з чотирьох парників наведена на рис. 3.8. Нагрівальні елементи перемикаються між різними рівнями живлення (220 або 380 В) за допомогою перемикачів SA1 і SA2. Вибір ручного режиму виконується шляхом встановлення тумблера SA3 у положення Р, автоматичного — в положення А, а положення О відповідає вимкненому стану нагрівачів. Для автоматичного контролю температури в повітряному просторі одного зі 4–6 послідовно з'єднаних парників встановлюють датчик температури ВК.

У парникових конструкціях, що використовують лише ґрунтовий обігрів, передбачається встановлення одного температурного датчика ґрунту на кожну групу парників. Цей

датчик розташовують на глибині приблизно 0,1 м у ґрунті парника для отримання точних показників температури.

Для керування обігрівальними елементами використовуються перемикачі.

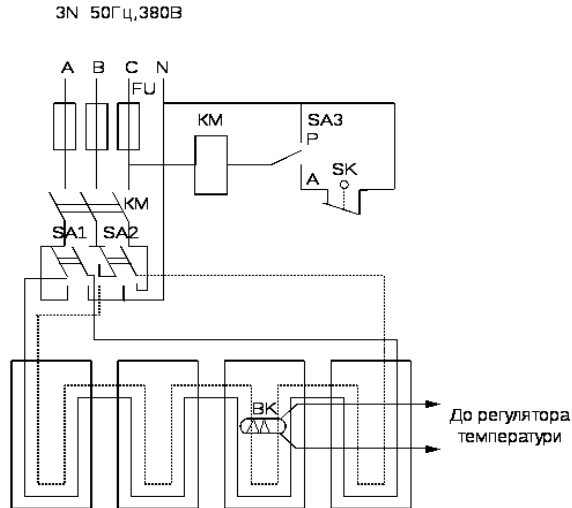


Рисунок 3.8 – Схема автоматичного управління температурою в парниках

Перемикач SA1 призначений для активації нагрівальних елементів, що забезпечують обігрів повітря, тоді як перемикач SA2 контролює роботу нагрівальних елементів для ґрунтового обігріву. При проектуванні та розрахунку систем електрообігріву, що функціонують у парниках та теплицях, потужність нагрівальних елементів, позначена як  $P$  (кВт), визначається за допомогою відповідної формули.

$$P = kF(t_B - t_3) \cdot 10^2, \quad (3.1)$$

де  $k$  — узагальнений коефіцієнт теплопередачі через засклену поверхню парника або теплиці,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ ;  $F$  — площа заскленої поверхні, що контактує із зовнішнім повітрям,  $\text{м}^2$ ; температура повітря всередині культивуваційного приміщення та

розрахункова температура зовнішнього повітря в найхолодніший період роботи парника чи теплиці.

### **3.5 Інфрачервоне випромінювання для сушіння та теплової обробки с/г матеріалів**

Інфрачервоне випромінювання (скорочено ІЧ) є електромагнітним випромінюванням, яке охоплює спектральну область між червоною межею видимого світла з довжиною хвилі  $\lambda = 700$  нм (частота близько 430 ТГц) і мікрохвильовим випромінюванням із довжиною хвилі приблизно  $\lambda = 1$  мм (частота близько 300 ГГц).

Його також іноді називають інфрачервоним світлом. Це випромінювання часто називають "тепловим", оскільки спектр та інтенсивність залежать від температури тіла, а його вплив сприймається шкірою людини як відчуття тепла.

Довжина хвиль, які випромінюються нагрітими тілами, визначається їхньою температурою: що вища температура, то коротша довжина хвилі і вища інтенсивність випромінювання.

Із підвищенням температури максимум інтенсивності випромінювання поступово зміщується в сторону коротших хвиль, наближаючись до видимого спектру. Випромінювальний спектр абсолютно чорного тіла за порівняно низьких температур, що не перевищують кількох тисяч кельвінів, значною мірою розташований у цьому діапазоні. Інфрачервоне випромінювання виникає внаслідок збудження атомів чи іонів. Системи прийому інфрачервоного випромінювання ґрунтуються на його перетворенні в інші види енергії, які піддаються вимірюванню традиційними методами.

Сонце є одним із найпотужніших джерел інфрачервоного випромінювання: приблизно 50% його енергії припадає саме на цей спектральний діапазон. Також значна частка енергії ламп розжарювання з вольфрамовою ниткою — від 70 до 80% — випромінюється в інфрачервоній області.

Ще одним ефективним джерелом інфрачервоного випромінювання є вугільна електрична дуга, температура якої становить близько 3900 К. Її випромінювальні характеристики

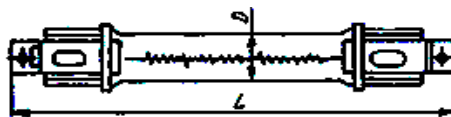
наближені до спектру абсолютно чорного тіла. Аналогічно потужними джерелами є різноманітні газорозрядні лампи, як імпульсного, так і безперервного режиму горіння.

Для радіаційного обігріву приміщень використовуються спіралі з ніхромового дроту, які нагріваються до температури приблизно 950 К. Випромінювання деяких оптичних квантових генераторів (лазерів) також перебуває в інфрачервоній частині спектра. Наприклад, випромінювання лазера на основі неодимового скла має довжину хвилі 1,06 мкм, лазера на суміші неону і гелію – 1,15 мкм і 3,39 мкм, лазера на вуглекислому газі – 10,6 мкм, а напівпровідникового лазера на основі InSb – 5 мкм.

Джерела інфрачервоного випромінювання класифікують залежно від їх спектрального складу на "світлі" і "темні".

До "світлих" випромінювачів відносяться спеціальні лампи інфрачервоного випромінювання з відносно низькою температурою нагрівання вольфрамової спіралі порівняно з освітлювальними лампами розжарювання (2200–2770 К). Максимум спектральної щільності таких ламп зміщений у довгохвильову частину спектра з довжинами хвиль 1000–1400 нм.

Колби цих ламп мають параболічну форму, зі сріблястим покриттям на верхній внутрішній поверхні, яке забезпечує відбивання й концентрацію променистого потоку в заданому напрямку.



**КГ-220-1000-3**

Рисунок 3.9 – Загальний вигляд КГ-220-1000.

Зазвичай колби виготовляються зі звичайного скла, проте термостійкість таких ламп невисока (100–150 °С). Ці недоліки були усунені у лампі типу КГ-220-1000. Колба цієї лампи має циліндричну форму діаметром 10 мм і виготовлена з термостійкого кварцового скла, яке ефективно пропускає

інфрачервоні промені. Усередині колби, по її осі, розташована вольфрамова моноспіраль.

Лампа функціонує у горизонтальному положенні.

Темні інфрачервоні випромінювачі являють собою металеву трубку, всередині якої розміщена ніхромова нагрівальна спіраль, ізольована спеціальною вогнетривкою масою.

Температура спіралі досягає 700–1000 К, а температура зовнішньої поверхні випромінювача становить близько 450 °С. Завдяки відсутності контакту нагрітої спіралі з повітрям значно збільшується термін служби пристрою. Цей показник залежить від властивостей і структури матеріалу, характеристик поверхні та частотного спектру випромінювання.

Інфрачервоне випромінювання певного частотного діапазону має не лише термічний, а й біологічний вплив на продукти. Воно сприяє прискоренню біохімічних реакцій у біополімерах, таких як крохмаль, білок чи ліпіди.

Конвеєрні сушильні системи, оснащені такими випромінювачами, успішно використовуються для підготовки зерна до зберігання у зерносховищах і в процесах борошномельної промисловості. Останнім часом інфрачервоне випромінювання також усе ширше застосовують для обігріву приміщень і відкритих просторів, забезпечуючи ефективно та енергозберігаюче рішення для різних умов.

Інфрачервоні обігрівачі широко використовують для організації як додаткового, так і основного опалення в різних приміщеннях, таких як будинки, квартири, офіси тощо.

Одним із сучасних і перспективних фізичних методів обробки харчових продуктів є інфрачервоне опромінення. Цей метод нагрівання дає змогу значно пришвидшити теплову обробку, підвищити якість кінцевого продукту, зменшити енерговитрати, поліпшити санітарно-гігієнічні умови роботи, оптимізувати розміри обладнання, а також спростити механізацію та автоматизацію виробничих процесів.

Інфрачервоне випромінювання знаходить застосування в м'ясній, молочній, рибній промисловості, зокрема для нагрівання продуктів, пастеризації, сушки, електрокопчення, дезінфекції та стимулювання хімічних реакцій.

Особливо активно цей метод використовують для пастеризації рідких харчових продуктів. Завдяки своїм властивостям інфрачервоне випромінювання проникає в продукт на порівняно невелику глибину (у межах декількох міліметрів), тому його нагрівання можна вважати проміжним між поверхневим і об'ємним.

Його перевага перед традиційним нагріванням полягає у відсутності контакту нагрітої стінки з продуктом, що підлягає пастеризації. Це допомагає уникнути перепастеризації продукту. Завдяки більш рівномірному інфрачервоному (ІЧ) нагріванню, якість продукту після пастеризації за даним методом є вищою, ніж при прямому нагріванні.

Варто враховувати, що птицю слід поступово привчати до ІЧ опромінення. Наприклад, при опроміненні поросят у перший день рекомендовано тримати опромінювач увімкненим протягом 20 хвилин, у другий день – 40 хвилин, на третій – 60 хвилин. З третього до 45-го дня режим поступово доводиться до норми: три рази на день по 40 хвилин у денний час.

Існують спеціальні номограми для визначення висоти підвісу опромінювачів, таблиці рекомендованих параметрів напруги для різних видів і вікових груп тварин, а також рекомендації щодо кута нахилу ІЧ-ламп і температури повітря у приміщенні. Тривалість опромінення молодняку протягом доби залежить від висоти підвісу ламп і визначається за допомогою розрахункових формул.

$$E_{cp} K_z Z \leq E_{don}, \quad (3.2)$$

де  $E_{don}$  - визначає максимально допустимий рівень світлового опромінення, вимірюваний у мілірентгенах на хвилину, тоді як  $E_{cp}$  - характеризує середнє значення опромінення об'єкта. Змінна  $E_z$  - відповідає за форму тваринного організму і має значення  $K = 0,5$  до  $0,64$ , а параметр  $Z$  враховує додаткове опромінення.

Для сушіння та дезінсекції зернових культур широко застосовуються інфрачервоні (ІЧ) промені, які забезпечують високу інтенсивність передачі теплової енергії до продукту. ІЧ-

промені проникають у структуру зерна на глибину 1,2–2 мм, що сприяє швидкому підвищенню його температури. Однак такий інтенсивний прогрів може спричинити погіршення якості зерна. З метою уникнення пошкоджень в установках для ІЧ-сушіння реалізується технологія періодичного опромінення у поєднанні з охолоджуючим обдуванням холодним повітрям.

Джерелами інфрачервоного випромінювання у подібних сушарках слугують спеціалізовані ІЧ-лампи або трубчасті нагрівальні елементи. Зерно розподіляється в тонкий шар і повільно переміщується по похилому ряду обертових барабанів, одночасно піддаючись інфрачервоному опроміненню. У результаті зерно прогривається до температури +50 °С. Шкідники, які знаходяться в зерні, завдяки інтенсивному поглинанню ІЧ-променів нагріваються ще більше і гинуть. Крім того, дозоване застосування інфрачервоного випромінювання може позитивно впливати на посівний потенціал насіння сільськогосподарських культур, зокрема, покращуючи його посівні властивості.

Розроблено низку пристроїв для передпосівного оброблення зерна інфрачервоним випромінюванням.

Інфрачервоні промені також застосовуються для сушки фруктів, овочів й інших сільськогосподарських продуктів. Крім того, їх використовують для пастеризації молока. Під впливом інфрачервоного випромінювання за 3–4 секунди знищується майже 100% бактерій, що дозволяє зберігати молоко протягом тривалого часу при температурі +5°С.

Близько 80% електроенергії, яку споживають ІЧ-лампи, перетворюється на інфрачервоне тепло. Інфрачервоні хвилі відбиваються від дзеркальної металевої поверхні та спрямовуються до об'єкту нагрівання, що підвищує ефективність процесів сушки та теплопередачі.

*Керамічний обігрівач* теплокерамік являє собою інфрачервонно-конвекційну панель із керамічною пластиною. Цей обігрівальний пристрій генерує тепло двома способами: інфрачервоним випромінюванням і конвекцією. До того ж, керамічні електропанелі вирізняються компактними розмірами. Конструкція обігрівача включає металевий корпус, нагрівальний елемент, стійкий до перепадів напруги в електромережі, та

керамічну пластину.

Принцип роботи обігрівача полягає в тому, що нагрівальний елемент передає тепло керамічній поверхні, яка генерує довгохвильове інфрачервоне випромінювання. Цей тип електричних обігрівачів є відносно новим, проте активно здобуває популярність завдяки своїй ефективності, економічності та високій якості.

### **3.6 Енергозбереження в системах теплопостачання**

Енергозбереження в системах теплопостачання є критично важливим напрямком для України, особливо в контексті високих цін на енергоносії та необхідності зменшення енергозалежності.

Ефективне використання теплової енергії дозволяє знизити витрати, покращити екологічну ситуацію та підвищити надійність систем.

Для цього виконують наступні кроки:

1. Для підвищення теплопродуктивності водопідігрівачів важливим фактором є середній температурний напір; перевагу слід надавати протиточній схемі руху теплоносія та нагрітої води.

2. Для ефективного функціонування калориферів повітряного опалення потрібно регулярно проводити очищення теплопередавальної поверхні (за допомогою пари, стисненого повітря тощо). Ефективність теплопередачі безпосередньо залежить від чистоти поверхонь теплообміну.

3. Для забезпечення обігріву виробничих, адміністративних і побутових приміщень рекомендовано використовувати водяні й повітряні системи опалення.

4. У приміщеннях із зниженою температурою повітря, яка обумовлена специфікою виробництва, та при мінімальній кількості персоналу доцільно встановлювати автономне повітряне опалення з подачею теплого повітря виключно в робочу зону.

5. Перевагу варто надавати паровим системам опалення завдяки їхній простій конструкції та низькій металомісткості.

6. При використанні парового опалення як теплоносія слід

застосовувати пару з тиском у межах 0,15-0,17 МПа.

7. Необхідно регулярно контролювати стан утеплення вікон і дверей.

### **? Контрольні питання**

1. Що таке теплові процеси?
2. Як обирають тепловий процес, і з якою метою?
3. Які вимоги висуваються до матеріалів для виробництва нагрівальних елементів?
4. Який залізохромалюмінієвий сплав використовується найчастіше?
5. Електроконтактний нагрів – це процес перетворення електричної енергії у...
6. Що розуміється під індукційним нагріванням?
7. Які існують методи і засоби електрообігріву для парників і теплиць?
8. Які промені застосовуються для сушіння та дезінсекції зерна?
9. Що включає в себе теплова обробка сільськогосподарських матеріалів?
10. Основні характеристики електродного водонагрівача ЕПЗ-100.
11. Які способи енергозбереження можна застосувати у системах теплопостачання?
12. Яке вплив має електромагнітна хвиля певного частотного діапазону?

## Розділ 4 МІКРОКЛІМАТ

*Загальні аспекти*

*Формування оптимального мікроклімату в приміщеннях для утримання тварин*

*Забезпечення необхідного рівня вентиляції*

*Застосування електричних іонізаторів для очищення повітря*

*Електротехнічне обладнання систем регулювання мікроклімату в сховищах сільськогосподарської продукції*

### 4.1 Загальні відомості

*Мікроклімат* це — сукупність умов внутрішнього середовища приміщень, які впливають на тепловий обмін у працюючих. Умови мікроклімату на робочому місці та в виробничих приміщеннях є важливим санітарно-гігієнічним фактором, що безпосередньо впливає на стан здоров'я та працездатність біологічних об'єктів. Мікрокліматичні умови поділяються на оптимальні та допустимі.

*Оптимальні умови* мікроклімату – це така комбінація параметрів, яка при тривалому і постійному впливі на людину та тварин забезпечує підтримання нормального теплового стану організму без залучення активних механізмів терморегуляції. Такі умови гарантують відчуття теплового комфорту і сприяють підтриманню високого рівня працездатності.

*Допустимі мікрокліматичні умови* включають параметри, які під час систематичного або тривалого впливу можуть викликати тимчасові зміни теплового стану організму. Ці зміни швидко усуваються, залишаючись у межах фізіологічної адаптації, хоча і супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції. У таких умовах не виникає пошкоджень або порушень здоров'я, але можливі дискомфортні відчуття, погіршення загального самопочуття та зниження продуктивності праці.

До ключових показників мікроклімату повітря робочої зони належать температура повітря ( $t^{\circ}\text{C}$ ), відносна вологість (%) і швидкість руху повітря (м/с).

Порушення теплового стану організму, зокрема перегрівання, спричинене несприятливим поєднанням чинників мікроклімату, таких як високий рівень температури, підвищена швидкість руху повітря, значна вологість та інтенсивне теплове випромінювання, яке супроводжується обмеженням або навіть повною блокадою певних механізмів тепловіддачі, отримало назву теплового стресу. Водночас вплив низьких температур та виконання робіт в умовах охолоджувального мікроклімату також можуть спричинити порушення теплового стану організму людини. Спосібність організму підтримувати адекватний тепловий баланс із навколишнім середовищем визначається як терморегуляція.

Нормальне функціонування фізіологічних процесів та гарне самопочуття можливі лише за умови, що тепло, яке виділяється організмом, систематично відводиться у навколишнє середовище.

Теплообмін між організмом людини та навколишнім середовищем здійснюється через кілька основних механізмів: конвекцію, кондукцію (теплопровідність), теплове випромінювання та випаровування вологи з поверхні шкіри. Ці процеси є ефективними лише за умов відповідності параметрів мікроклімату встановленим нормативним значенням.

Основним регулюючим документом, який встановлює параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях, є Державні санітарні норми «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» № 3.3.6.042-99, затверджені постановою Міністерства охорони здоров'я України від 01 грудня 1999 року № 42. Залежно від пори року та категорії виконуваних робіт показники мікроклімату мають такі допустимі межі:

- температура повітря: у холодний період року – 16–24 °С; у теплий період року – 18–25 °С;
- відносна вологість: 40–60% незалежно від сезону та категорії робіт;
- швидкість руху повітря: у холодний період року – 0,1–0,3 м/с; у теплий період року – 0,2–0,4 м/с.

Мікроклімат визначається сукупністю фізичних характеристик повітряного середовища, таких як температура, швидкість руху повітря, вологість, барометричний тиск,

температура навколишніх поверхонь і рівень інфрачервоного випромінювання.

У випадку недостатньої вентиляції приміщення концентрація шкідливих речовин у повітрі поступово зростає, що може становити загрозу для здоров'я людей.

Крім того, підвищена вологість повітря призводить до утворення конденсату на вікнах, відкосах або навіть стінах, що створює сприятливе середовище для розвитку небезпечних бактерій та грибків.

## **4.2 Формування мікроклімату в приміщеннях для утримання свійських тварин**

Мікроклімат тваринницьких приміщень являє собою сукупність фізичних і хімічних характеристик повітряного середовища, що сформувалися всередині цих приміщень.

Основними чинниками мікроклімату є температура, відносна вологість повітря, швидкість його руху, хімічний склад, а також наявність зважених часток пилу та мікроорганізмів. При аналізі хімічного складу повітря особливу увагу звертають на вміст шкідливих газів, таких як вуглекислий газ, аміак, сірководень і окис вуглецю, оскільки їх присутність послаблює стійкість організму до захворювань.

Формування мікроклімату залежить також від таких чинників, як освітленість, температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, що впливає на появу точки роси, рівень теплового випромінювання між цими конструкціями та тваринами, а також іонізація повітря.

Одним із найефективніших методів регулювання мікроклімату в тваринницьких приміщеннях є кондиціонування повітря. За допомогою цього процесу можна регулювати температуру шляхом охолодження чи нагрівання, змінювати вологість через осушування або зволоження, очищати повітря від пилу, проводити іонізацію тощо.

Основні параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях визначаються згідно з нормативним документом ДСН 3.3.6.042-99.

#### 4.2.1 Вентиляція. Вентиляційне обладнання

Раніше система вентиляції у приміщеннях із тваринами була виключно природною. Вона здійснювалася завдяки неоднорідності конструкції стін, а також щілинам у дверях, вікнах і даху. Однак такий спосіб не здатен вирішити ключову проблему будь-якої ферми — надлишкову вологість.

Підвищений рівень вологості повітря сприяє розмноженню шкідливих бактерій і збільшує концентрацію аміаку. Це значно погіршує загальний мікроклімат приміщення, що може негативно впливати як на здоров'я великої рогатої худоби та птиці, так і на самопочуття працівників ферми.

Для створення сприятливого мікроклімату припливне повітря, яке подається примусовим способом, необхідно очищувати та підігрівати. Для цього використовуються спеціальні комплектуючі. Крім того, якщо потрібно організувати розподіл або відведення повітря в різних зонах одного приміщення чи між окремими приміщеннями, застосовуються повітропроводи та вентиляційні решітки.

*Вентиляція* є організованим процесом повітрообміну, направленим на забезпечення сприятливого середовища для здоров'я людей і тварин. Незалежно від високих породних чи племінних якостей, тварини не зможуть зберегти здоров'я та проявити закладений спадковістю потенціал продуктивності без створення відповідного мікроклімату. Мікроклімат у приміщенні характеризується сукупністю факторів навколишнього середовища, таких як температура, вологість, швидкість руху повітря, рівень його охолоджуючої здатності, атмосферний тиск, шумове навантаження, концентрація пилу і мікроорганізмів у повітрі, а також газовий склад. Клімат обмеженого простору відіграє ключову роль у забезпеченні комфортного існування тварин.

Формування мікроклімату залежить від ряду значущих умов: місцевих кліматичних особливостей, теплового та вологісного стану будівельних конструкцій, інтенсивності повітрообміну, ефективності систем опалення та каналізації, а також освітлення. Додатково на нього впливають теплопродукція самих тварин, щільність їх розміщення, технологія утримання та режим дня.

Створення оптимального мікроклімату є процесом, спрямованим на регулювання технічними засобами параметрів, що забезпечують такі умови середовища, які максимально сприяють нормальному перебігу фізіологічних процесів в організмі тварин.

Сучасні методи утримання тварин пред'являють високі вимоги до параметрів мікроклімату у тваринницьких приміщеннях.

Згідно з дослідженнями фахівців у сфері тваринництва, продуктивність тварин залежить на 50-60% від якості кормів, на 15-20% від догляду та на 10-30% від умов мікроклімату в приміщенні.

Відхилення параметрів мікроклімату від нормативних значень може призвести до зниження надоїв молока на 10-20%, уповільнення приросту живої маси на 20-33%, збільшення смертності молодняку до 5-40%, зростання витрат кормів, скорочення терміну експлуатації обладнання, машин і будівель, а також ослаблення стійкості тварин до захворювань.

Тваринницькі приміщення з регульованим мікрокліматом доцільно оснащувати системами опалення та вентиляції, які управляються автоматично за допомогою сучасного програмного забезпечення. Використання таких систем дозволяє забезпечити точне й оперативне регулювання залежно від змін температури, вологості, інтенсивності руху повітря тощо.

Створення оптимального мікроклімату в подібних приміщеннях сприяє максимально ефективній реалізації генетичного потенціалу тварин і птахів, зниженню ризиків захворювань, зміцненню природного імунітету, а також суттєво продовжує термін експлуатації будівель та встановленого обладнання. Вивчення сучасних систем вентиляції та опалення для тваринницьких об'єктів слід починати з аналізу вимог для створення та підтримки бажаних умов мікроклімату.

Розрахунок повітрообміну для зимового та літнього періодів необхідно виконувати за наступними параметрами:

1. Обсяг повітря, потрібний для зниження рівня вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>):

$$L_{CO_2} = K_2 G_{CO_2} / C_B - C_{зовн.}, \quad (4.1)$$

де  $K_2$  – коефіцієнт, що враховує виділення  $CO_2$ ;

$G_{CO_2}$  – кількість вуглекислого газу, яка виділяється великою рогатою худобою;

$C_B$  – припустимий вміст  $CO_2$  у приміщенні, л/м<sup>3</sup>;

$C_{зовн.}$  – зовнішній допустимий вміст  $CO_2$ .

2. Для вибору вентиляційної установки насамперед необхідно визначити розрахунковий об'єм повітря, потрібний за годину.

$$L_p = m \cdot n \cdot L_n, \quad (4.2)$$

де  $m$  – маса середня однієї корови (або теляти), кг,  $n$  – кількість корів, гол;  $L_n$  – норма повітрообміну на 1 кг живої маси за 1 годину (в перехідний період 0,25, влітку – 0,4, взимку – 0,17, м<sup>3</sup>·г<sup>-1</sup>).

Для підтримання належного мікроклімату в тваринницьких приміщеннях використовуються системи вентиляції, які забезпечують заміну забрудненого повітря на свіже, його нагрівання або охолодження, очищення від пилу та мікроорганізмів, а також осушення чи зволоження. Окрім того, вентиляційне обладнання може виконувати функції озонування, дезодорації та знезараження повітря. У пташниках поряд із вентиляцією важливе значення має система опалення, яка сприяє створенню комфортного мікроклімату. Розрахунок кількості надлишкового тепла влітку або потужності обігріву взимку проводиться з використанням рівняння теплового балансу приміщення за відповідною формулою:

$$Q_{ст} + Q_{опал} = Q_{огородж} + Q_{вент} + Q_{випар}, \quad (4.3)$$

де  $Q_{ст}$  – Кількість теплової енергії, що виділяється однією коровою (або телям);

$$Q_{ст} = m \cdot N \cdot K_t, \quad (4.4)$$

$K_t$   $K_t$  – коефіцієнт, що враховує зміну тепловиділення тварини залежно від зміни температури навколишнього

середовища.  $K_t = 1$ .

Розрахунок тепловтрат через огорожувальні конструкції приміщення (стіни, вікна, стелю) здійснюється за формулою:

$$Q_{огор.} = \sum kF(t_b - t_n), \quad (4.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі ( $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}$ ) для відповідних конструктивних елементів (вікна, двері, стеля);  $F$  – площа поверхонь (вікон, дверей, стелі, стін) у квадратних метрах ( $\text{м}^2$ );  $t_b$  – внутрішня розрахункова температура приміщення ( $^\circ\text{C}$ ), яка становить  $t_b = 16^\circ\text{C}$ ;  $t_n$  – мінімальна зовнішня розрахункова температура повітря ( $^\circ\text{C}$ ).

Обсяг тепла, необхідного для нагріву припливного повітря, визначається за відповідною методикою залежно від поданих параметрів.

$$Q_{вент.} = L C(t_b - t_n), \quad (4.6)$$

$L$  – повітрообмін розрахунковий;

$C$  – теплоємність повітря, ( $1,3 \text{ кДж}/\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

У сучасних вентиляційних системах із механічним спонуканням дедалі частіше використовуються припливні та припливно-витяжні вентиляційні установки. Такі установки являють собою комплекс вентилятора і набору компонентів, змонтованих в одному або кількох блоках. До цих комплектуючих можуть входити жалюзійний клапан, фільтри, глушник, крапельловлювач, зволожувач, охолоджувачі, нагрівачі та рекуператори різних типів. Кількість і набір цих елементів варіюється залежно від конкретних потреб і умов експлуатації.



Рисунок 4.1 – Механічна (Штучна) вентиляція

За способом монтажу вентиляційні установки поділяються

на: підвісні (переважно припливного типу); стаціонарні підвісні вентиляційні установки здатні забезпечувати продуктивність до 6000 м<sup>3</sup>/год.

#### 4.2.2 Вентиляційна установка “Клімат 4”

Для забезпечення оптимальних параметрів температури, вологості та газового складу в приміщеннях, здійснюється належна організація повітрообміну із використанням різноманітних систем вентиляційного обладнання. Одним із характерних прикладів витяжної вентиляційної системи виступає вентиляційне обладнання серії Клімат-4. У залежності від модифікації, ця система комплектується осьовими вентиляторами типу ВО з різною кількістю та продуктивністю.

На рисунку 4.2 представлено схематичне розташування елементів вентиляційного обладнання серії Клімат-4.

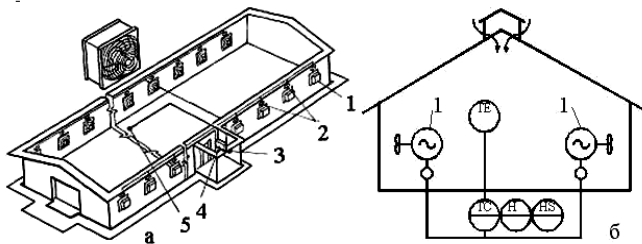


Рисунок 4.2 – Вентиляційне обладнання Клімат-4:

- а) – схема розташування; б) – функціонально-технологічна схема;  
1 – осьовий вентилятор; 2 – вимикачі автоматичні; 3 – перемикач; 4 – щит керування; 5 – температурний датчик.

#### 4.2.3 Вентиляційна установка “Клімат 45М-О3”

У створенні оптимального мікроклімату в пташниках важливу роль відіграє система вентиляції. Як приклад, розглянемо вентиляційну установку типу “Клімат 45М-О3” згідно з ТУ 105-4-892-83. Технічні характеристики комплексу “Клімат-45” представлені в таблиці 4.1.

До складу вентиляційного обладнання цього комплексу входять вентилятори ВО-Ф-5,6А, стислий опис технічних

характеристик яких також зазначено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика “Клімат-45-03”

Назва параметра	Значення
Кількість осьових вентиляторів у комплекті	16 шт.
Подача повітря	6000 м <sup>3</sup> /год
Тип вентилятора ВО-Ф-5,6А Електродвигун 4АПА80-06У2 Потужність Частота обертання Станція керування ТСУ-2-КЛУЗ	0,37 кВт 930 об/хв.
Регулювання подачі повітря	1:6
Діапазон регулювання температури	0..+35 °С
Точність регулювання температури, в зоні активного вентилявання	+2

Комплекти опалювально-вентиляційного обладнання «Клімат-45» оснащені системою керування продуктивністю вентиляторів, що базується на регулюванні напруги електроживлення електродвигунів. Це дозволяє ефективно контролювати температуру повітря в приміщенні. Для виконання цієї функції використовуються тиристорні станції ТСУ-2-КЛУЗ і МК-ВАУЗ, які забезпечують пропорційне регулювання швидкості обертання двигунів вентиляторів. Блок-схему станції МК-ВАУЗ можна побачити на рис. 4.3.

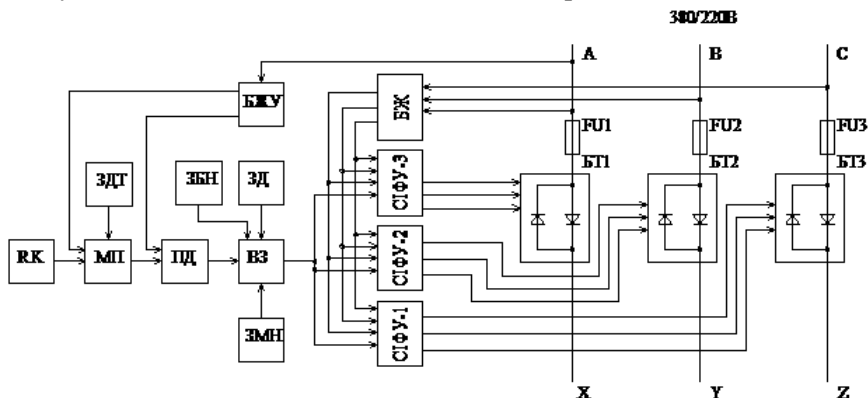


Рисунок 4.3. – Схема структурна електрична станції керування МК-ВАУЗ

Безперервне регулювання частоти обертання вентиляторів

в залежності від температури в приміщенні здійснюється за допомогою тиристорних станцій ТСУ-2-КЛУЗ та станції МК-ВАУЗ.

Температурні параметри задаються за допомогою датчика ЗДТ. Контроль температури повітря у приміщенні здійснюється за допомогою датчика РК, який передає сигнал до мосту порівняння (МП). Із мосту порівняння сигнал через підсилювач-демодулятор (ПД) спрямовується до вузла зміщення (ВЗ). У складі вузла зміщення знаходяться резистори, на які впливають сигнали від датчиків базової напруги (ЗБН), диференціального зниження допустимої температури (ЗД) і мінімальної напруги (ЗМН), що дозволяється подавати на статор електродвигуна. Сигнал із вузла зміщення надходить до системи імпульсно-фазового керування тиристорами (СІФУ). Останній сигнал коригується додатковим сигналом, що генерується блоком живлення (БЖ) і передається до блоку тиристорів кожної фази (БТ).

#### **4.2.4 Електрообладнання систем мікроклімату в сховищах сільськогосподарської продукції**

У сховищах для зберігання картоплі використовується обладнання з панеллю керування типу ШАУ-АВ. У цій панелі розташовані регулятори температури (Р1...Р5), програмне реле часу (КТ), а також перемикачі та кнопки керування.

З огляду на несприятливі умови для роботи обладнання, передбачено автоматичний обігрів панелі, який здійснюється за допомогою електропідігрівача ЕК1. Обігрів контролюється контактним термореле SK через проміжне реле KV1 (рисунок 4.4). Температурний контроль здійснюється датчиками ВК (терморезистори та термометри опору) у поєднанні з логотроном Р. Система активної вентиляції функціонує як у ручному, так і в автоматичному режимах.

У ручному режимі перемикачі SA1 і SA3 встановлюють у положення «Р», а за допомогою кнопок SB1 і SB2 керують вентиляторами та калориферами двох систем циркуляційного опалення. Кнопки SB3 і SB4 відповідають за управління нагрівачем змішувального клапана, тоді як кнопки SB5 і SB6

забезпечують контроль припливної вентиляції.

При цьому лише припливний вентилятор може автоматично вимикатися завдяки регулятору P4 (типу ПТР-2), якщо температура зовнішнього повітря опуститься нижче мінімально допустимого рівня.

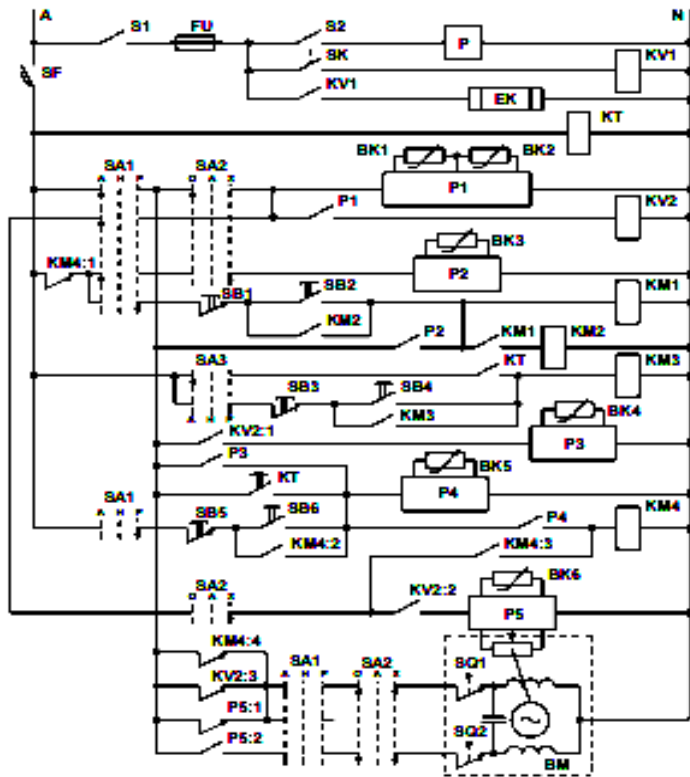


Рисунок 4.4 – Схема електрична принципова автоматичного управління мікрокліматом в овочесховищі.

У таких умовах контакт P4 розмикається, а при нормальній температурі він залишається замкнутим. У разі автоматичного режиму перемикач SA1 переводять у положення «А». Послідовність функціонування схеми залежить від поточного етапу зберігання.

У літній період перемикач SA2 встановлюється у позицію «Л», а перемикач SA3 переводиться в нейтральну позицію «Н». У такому режимі функціонує лише припливний вентилятор, який циклічно вмикається і вимикається за допомогою магнітного пускача KM4, керованого через контакти КТ програмного реле часу.

Програмне реле часу (КТ) налаштовується на шість періодів увімкнення припливного вентилятора протягом доби, з кожним циклом тривалістю 30 хвилин. В описаному режимі виконавчий механізм (ВМ) повністю закриває клапан змішувача, забезпечуючи рециркуляцію повітря без залучення зовнішнього потоку.

У період охолодження перемикач SA2 переводиться в положення «0», після чого активується диференціальний терморегулятор P1 (типу ПТРД-2). Цей терморегулятор, використовуючи сенсори ВК1 і ВК2, проводить порівняння температур зовнішнього повітря і продуктів, що зберігаються. У разі перевищення різниці температур понад визначений диференціал (2–3°C), терморегулятор P1 активується та запускає проміжне реле KV2. Через контакти KV2:1 реле KV2 підключає до роботи терморегулятори P3 (типу ПТР-2) та P4. Унаслідок цього магнітний пускач KM4 вмикає припливний вентилятор, а контакти KV2:2 запускають пропорційний терморегулятор P5 (типу ПТР-П). Терморегулятор P5 із використанням датчика ВК6 та виконавчого механізму (ВМ) регулює температуру повітря в системі вентиляції, забезпечуючи її оптимальний рівень.

При відхиленні температури від заданого значення, терморегулятор P5 регулює положення заслінки клапана змішувача за допомогою своїх контактів P5:2 та P5:1. Виконавчий механізм приводить заслінку в таку позицію, щоб забезпечити необхідну температуру змішаного зовнішнього та рециркуляційного повітря.

Процес охолодження триває доти, доки температура в масі продукту, що зберігається, не досягне заданого рівня. Після цього, сигнал від датчика ВК3 і терморегулятора P3 вимикає припливний вентилятор. Якщо температура зовнішнього повітря тривалий час перевищує температуру в масі продукту,

вентиляція виконується виключно рециркуляційним повітрям. Активізація вентилятора здійснюється за допомогою програмного реле часу через контакти КТ.

У таких випадках клапан змішувача залишається закритим, і тепле зовнішнє повітря не потрапляє до сховища. У період зберігання перемикач SA2 переводять у положення «Х».

Припливний вентилятор активується контактами КТ програмного реле часу 4-6 разів на добу, щоб вирівняти температурні перепади в масі продукту. При цьому блок-контактами КМ4:3 магнітного пускача через перемикачі SA1 і SA2 підключаються терморегулятор Р1, реле KV2 і терморегулятор Р3. Подальша робота схеми відбувається аналогічно до режиму охолодження.

Якщо під час роботи системи в заданому інтервалі часу, визначеному реле КТ, температура не знижується до нормативного значення, вентилятор продовжує працювати доти, доки контакти регулятора Р3 не розімкнуться.

При вимкненні вентилятора клапан змішувача автоматично закривається за допомогою блок-контактів КМ4:4, які контролюють роботу виконавчого механізму ВМ. Якщо температура у верхній частині сховища над продуктом опускається нижче допустимого рівня, що може спричинити утворення конденсату на продукті, терморегулятор Р2 спрацьовує через сигнал від датчика ВК3. У цьому разі через магнітні пускачі КМ1 і КМ2 вмикаються циркуляційно-опалювальні агрегати.

Циркуляційно-опалювальні агрегати функціонують лише за умови вимкненого припливного вентилятора (блок-контакти КМ4:1 залишаються замкнутими). Їх вимкнення здійснюється за допомогою контакту Р2 терморегулятора, як тільки температура у верхній зоні досягає заданого значення.

Автоматичне керування підігрівом клапана змішувача можна встановити за допомогою перемикача SA3 у положенні «А», якщо температура зовнішнього середовища знижується до  $-15^{\circ}\text{C}$ . У такому випадку підігрівач активується або автоматично через реле КТ, або вручну за допомогою кнопок SB3 і SB4 (при встановленні SA3 у положення «Р»).

### 4.3 Перспективні напрями забезпечення мікроклімату

У сучасний час існує великий вибір більш удосконалених систем для контролю та підтримки мікроклімату в автоматичному режимі протягом усього періоду відгодівлі та росту тварин, як-от AMC-PLUS.

На рис. 4.5 представлено функціональну схему контролера AMC-PLUS.

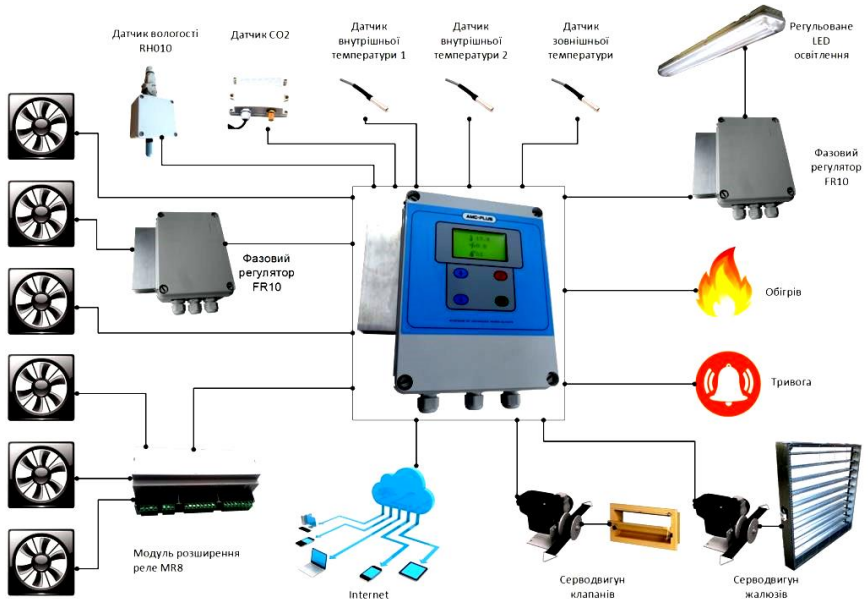


Рисунок 4.5 – Схема функціональна спроможності контролера AMC-PLUS

Розглянутий мікроконтролер забезпечує такі можливості:

- автоматизація керування та моніторинг систем штучного освітлення;
- регулювання функціонування вентиляційних систем та інших подібних завдань.

Схематичне зображення контролера AMC-PLUS представлено на рисунку 4.6



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд контролера

Клімат-контроль здійснюється автоматичною програмою, яка враховує температурні та вологісні показники, живу вагу за конкретними днями росту, а також необхідний рівень мінімальної вентиляції на кілограм. На основі кількості тварин контролер розраховує мінімальний рівень вентиляції, який поступово збільшується в міру зростання живої ваги. Таким чином, забезпечується стабільне оновлення повітря відповідно до щоденного приросту ваги.

Функціональні можливості та технічні характеристики контролера AMC-PLUS представлені в таблиці 3.3. Автоматична програма управління кліматом дозволяє підтримувати оптимальні умови та забезпечує постійне зростання обміну повітря протягом усього періоду росту молодняка великої рогатої худоби.

Таблиця 4.3 – Функціональні можливості та технічні характеристики контролера AMC-PLUS

№ п/п	Технічна спроможність контролера AMC-PLUS	Параметри
<b>Функціональні можливості контролера</b>		
1	Автоматична програма регулювання мікроклімату на весь період годівлі і росту свійських тварин	
2	Автоматична програма управління освітленням	
3	Контроль температури, вологості, мінімального та	

	максимального рівня вентиляції	
4	Журнал помилок на 1000 записів	
5	Спроможність чутливості вентиляції до збільшення меж температури та вологості	
6	Калібрування мінімальної та максимальної напруги фазового регулятора	
7	Калібрування значень з датчиків температури та вологості	
8	Вибір кількості секцій вентиляції	1- 6
9	Налаштування комутації порогів обігріву	
10	Можливість задавати пороги температури та вологості для спрацювання сирени	
	<b>Технічні характеристики</b>	
1	Живлення, В	220
2	Фазовий регулятор плавного регулювання двигунами на, А	10
3	Шина Wire для підключення 3-х датчиків температури (1– зовнішній, 2 – внутрішніх), шт.	1
4	Реле для здійснення управління виконавчими засобами	5
5	Вихід для управління модулями плавного регулювання вентиляторами	0-10
6	Вихід для живлення датчика вологості, В	24

#### 4.4 Іонізація повітря

Іонізація повітря є процесом, що сприяє зниженню рівня токсичності атмосфери та її очищенню від пилу і мікроорганізмів. У результаті цього процесу зважені частинки забруднень та пилу піддаються електризації, що призводить до їх осідання на поверхнях, таких як стеля, стіни та підлога. Таким чином забезпечується очищення повітря.

Для ілюстрації, природна концентрація негативних іонів на відкритому повітрі зазвичай становить у межах 1000–10 000 іонів на кубічний сантиметр (іонів/см<sup>3</sup>), тоді як у закритих приміщеннях цей показник значно нижчий і варіюється між 40–100 іонів/см<sup>3</sup>.

Приклади природної іонізації повітря включають такі явища:

- морський прибій. У процесі розбрикування морської води дрібні крапельки заряджаються негативно, а під час випаровування передають цей заряд навколишньому повітрю, що сприяє його насиченню негативними іонами.

- гірські райони. У горах іонізація посилюється завдяки впливу інтенсивнішого потоку ультрафіолетового випромінювання, яке меншою мірою поглинається атмосферою.

- гроза. Іонізація під час грози здійснюється за рахунок електричних розрядів у повітрі.

Варто зазначити, що іонізація, індукована електричним розрядом, додатково підсилює бактерицидний ефект застосовуваних пристроїв.

Процес іонізації передбачає перехід електронів між хімічними частинками, що супроводжується набуттям частинками електричних зарядів. Зазначене явище є характерним для частинок, які утворюються внаслідок дисоціації нейтральних молекул. У результаті утворюються як вільні іони, так і різноманітні типи іонних пар.

Іонізація може відбуватися під впливом розчинника чи внаслідок гетеролітичних реакцій. Варто зазначити, що цей термін не слід сплутувати з поняттям дисоціації, хоча часто використовується у цьому контексті.

Ступінь іонізації визначається співвідношенням кількості іонів до числа нейтральних частинок в одиниці об'єму. Енергію, необхідну для відриву електрона від атома чи молекули, називають енергією іонізації.

*Потенціал іонізації* – це фізична величина, яка характеризується відношенням енергії, потрібної для іонізації атома (або молекули), до заряду електрона. Цей параметр визначає міцність зв'язку електрона з атомом або молекулою. Процеси іонізації різняться залежно від фізичного стану речовини:

1. У електролітах іонізація відбувається в ході розчинення, коли молекули розчиненої речовини розпадаються на іони (електролітична дисоціація).

2. У газах процес проходить за рахунок втрати одним атомом або молекулою одного чи кількох електронів під впливом зовнішніх чинників.

3. У твердих тілах іонізація виникає в результаті переходу електронів з валентної зони або домішкових рівнів у зону провідності.

Іонізація може бути викликана різними факторами, такими як дія світла (фотоіонізація), електронним ударом (ударна іонізація), тепловим рухом (термоіонізація), впливом електричного поля тощо.

*Мультифотонна іонізація* у мас-спектрометрії — це процес, під час якого атоми або молекули разом із супутніми іонами досягають енергетичних станів, що відповідають поглинанню двох чи більше фотонів.

Для нормальної життєдіяльності людей, тварин і птахів у кожному кубічному сантиметрі повітря необхідно близько 1000 легких негативно заряджених іонів. Дослідження доводять, що ці іони позитивно впливають на живі організми, сприяючи їхньому здоров'ю і гармонійному функціонуванню. Без них організми приречені на виснаження і загибель.

Легкі негативні іони утворюються в атмосфері Землі під впливом космічного випромінювання, радіоактивних речовин ґрунту, води та повітря, а також під час грозових розрядів тощо.

Проте при проходженні зовнішнього повітря через вікна та вентиляційні системи майже половина іонів втрачається.

Через це люди та тварини, які довго перебувають у закритих приміщеннях, починають страждати від аероіонного голодування. Такий стан зумовлює передчасне старіння організму та підвищує вразливість до хвороб.

#### **4.4.1 Іонізатори повітря**

*Іонізатори повітря*, або *аероіонізатори*, є пристроями, призначеними для іонізації повітряного середовища. Ці прилади збагачують повітря аероіонами. У тваринницьких приміщеннях для створення штучної іонізації повітря використовують коронуочі джерела іонів.

*Електричні іонізатори* повітря включають джерела високої напруги та металеву сітку, на яку напаяні гострі металеві голки.

Для роботи позитивний полюс джерела живлення заземлюється, а на металеву сітку подається висока напруга

негативної полярності з таким рівнем, щоб забезпечити тихий коронний розряд без утворення озону та оксидів азоту. Для іонізації повітря у приміщеннях коронуючі електроди зазвичай розташовують на виходах вентиляційних установок із трубопроводів.

На ці електроди подається постійна напруга в 35 кВ. Поєднання іонізації повітря з вентиляцією сприяє рівномірному розподілу легких негативно заряджених іонів у повітрі приміщення, покращуючи його якість та оптимізуючи умови перебування.

Електрокоронні установки активно використовуються для очищення газів і повітря. Частки, що містяться в повітрі, заряджаються і під впливом електричних сил осідають на електродах.

*Голчастій іонізації* вже понад 150 років, і хоча технологія ця добре відома, її актуальність зберігається. Потужне джерело іонізації формує концентрований потік заряджених частинок одного типу, і головне завдання полягає у правильному їх розподілі для створення балансу іонів у приміщенні.

Саме голчаста іонізація забезпечує швидке видалення суспензій і пилу, оскільки має вищу потужність і більший потенціал. Застосовується ця технологія для вирішення локальних завдань.

Джерелом виступає голка, на яку подається стабілізована напруга 6 кВ постійного струму. Такий процес може генерувати як позитивно, так і негативно заряджені аероіони, які іонізуються з кінчика голки.

У деяких промислових системах, розроблених нашою компанією, передбачена можливість плавного регулювання заряду – від максимально позитивного до максимально негативного значення.

Голчаста іонізація, як явище, була досліджена науковцями давно, проте розподіл щільного заряду в просторі та забезпечення належного співвідношення аероіонів у всьому об'ємі приміщення можливе лише за допомогою високотехнологічних пристроїв.

У випадку такої іонізації використання одного лише вентилятора виявляється недостатнім.

Рівень голчастої іонізації визначається за допомогою лічильників аероіонів, які використовують аспіраційний метод непрямого вимірювання. Вартість цих приладів знаходиться в межах від 500 до 1500 доларів, при цьому точність вимірювань, згідно з технічними характеристиками, може досягати похибки до 40% (для моделі АІС – до 25%).

*Дистанційна іонізація* характеризується дією в радіусі до 20 метрів від джерела. Основою її роботи є утворення електричних зарядів на молекулах повітря під впливом радіохвиль, які генерує передавач з частотою 20-30 кГц.

Для оптимального рівня життєдіяльності людей, тварин та птахів необхідно, щоб у кожному кубічному сантиметрі повітря знаходилося близько 1000 легких негативно заряджених іонів. Ефективність легких негативних іонів підтверджена численними дослідженнями, які встановили їх позитивний вплив на живі організми. Відсутність таких іонів може призводити до загибелі біологічних структур.

В природних умовах атмосфери Землі легкі негативні іони утворюються під впливом космічного випромінювання, радіоактивних елементів, що містяться у ґрунті, воді та повітрі, а також внаслідок грозових розрядів.

Коли зовнішнє повітря потрапляє у приміщення через вікна або вентиляційні канали, вміст іонів у ньому значно скорочується—майже на половину. Цей процес може викликати стан, відомий як аероіонне голодування, серед людей та тварин, які тривалий час перебувають у закритих приміщеннях. Подібний дефіцит аероіонів здатен сприяти передчасному старінню та підвищенню схильності до захворювань. Саме тому в умовах тваринницьких приміщень для штучної іонізації повітря використовуються коронуючі джерела іонів.

Електричні іонізатори повітря функціонують на основі високовольтних джерел живлення, сполучених із металевою сіткою, на яку впаяні гострі металеві голки.

В системі реалізується заземлення позитивного полюса джерела живлення, тоді як на металеву сітку подається висока напруга негативною полярністю. Рівень цієї напруги добирається таким чином, щоб забезпечити тихий коронний розряд, який супроводжується уникненням утворення озону та окислів азоту.

Для застосування іонізації у закритих приміщеннях коронуєчі електроди зазвичай розташовують на виходах повітря з вентиляційних трубопроводів. На ці електроди подається постійна напруга в 35 кВ. Завдяки поєднанню іонізації з вентиляційними системами досягається рівномірний розподіл легких негативно заряджених іонів у всьому об'ємі повітря приміщення.

Електрокоронні установки мають також широке застосування в процесах очищення газів та повітря. Дія таких систем базується на зарядці дрібнодисперсних часток, які знаходяться у повітрі. Заряджені частки під впливом електричних сил осідають на електродах, забезпечуючи ефективну очистку повітряного середовища.

Розроблено низку електрокоронних установок для очищення повітряного середовища вивідних шаф інкубаторів. Ці установки представляють собою інтегровану систему, що забезпечує зарядження, осадження, утримання та видалення зібраного пилу.

Однією з ефективних систем очищення є \*Eagle 5000\*— інноваційний пристрій, який поєднує кілька сучасних технологій для значного зменшення концентрації важких запахів, помітної димової завіси, бактерій та вірусів у комерційних приміщеннях.

Її застосування є оптимальним для таких об'єктів, як ресторани, кафе, бари, заклади громадського харчування та розваг, боулінг-клуби, нічні клуби, фітнес-центри, гральні зали, казино, салони краси, виставкові та конференц-зали, а також у компактних промислових цехах.

Очишувач повітря \*Eagle 5000\* виробництва американської компанії \*ActivTek\* демонструє високу ефективність у виконанні таких функцій:

- усунення тютюнового диму та неприємних запахів у приміщенні;
- видалення хімічних забруднень, зокрема фенолів, формальдегідів та інших сполук;
- осадження частинок пилу, квіткового пилку, шерсті тварин і алергенів;
- знищення грибків, плісняви, бактерій та вірусів;

- створення балансу між позитивними та негативними іонами;

- регулювання концентрацій іонів та озону.

Технологія очищення повітря цього пристрою базується на унікальному синтезі біполярної, голчастої та дистанційної іонізації з використанням генерації активного кисню за допомогою методу холодної плазми.

Система \*Eagle 5000\* ефективно контролює присутність диму і запахів у тих зонах приміщення, де вони виникають. Її універсальні можливості дозволяють також успішно застосовувати цю технологію в галузях сільськогосподарського виробництва.



Рисунок 4.78 –  
Очищувач повітря  
Eagle5000

#### **4.5 Енергозбереження в системах вентиляції і кондиціонування**

Можливості впровадження заходів з енергозбереження у вентиляційних системах включають наступні аспекти:

1. Модернізація основного та допоміжного електрообладнання для підвищення його ефективності.
2. Оптимізація тривалості відкритого стану дверей з метою зменшення тепловтрат.
3. Мінімізація втрат повітря завдяки усуненню витоків у вентиляційних повітропроводах.
4. Вимкнення вентиляторів у неробочий нічний період, що

дозволяє досягти економії енергії до 20%.

5. Коригування продуктивності вентиляторів відповідно до реального навантаження.

6. Автоматизоване регулювання продуктивності систем з урахуванням температурних умов зовнішнього середовища.

7. Використання місцевих витяжних установок, спрямованих на локалізацію потреб у вентиляції.

8. Застосування вентиляторів сучасного типу із покращеними енергетичними характеристиками.

9. Заміна регулювання шиберами у напірній частині вентиляційної установки на використання багатошвидкісних електродвигунів, що забезпечує економію енергії на рівні 20-30%.

10. Регулювання подачі повітрообдувок із використанням шиберів на стороні всмоктування замість регулювання на нагнітання, що дає змогу скоротити споживання енергії до 15%.

11. Оптимізація витяжної вентиляції завдяки регулюванню на робочих місцях за допомогою шиберів, що дозволяє досягти до 10% економії.

Зазначені методи забезпечують суттєву оптимізацію енергоспоживання та підвищують ефективність систем вентиляції в контексті сучасних вимог до енергозбереження.

До заходів з енергозбереження в системах кондиціонування повітря належать такі дії:

1. Увімкнення кондиціонера лише за необхідності.

2. Встановлення мінімально необхідних температурних значень для охолодження та обігріву повітря.

3. Запобігання проникненню повітря з некондиційованих приміщень.

4. Зменшення обсягів подачі повітря до приміщення до мінімально необхідного рівня.

5. Забезпечення належного технічного стану обладнання та виконання своєчасного ремонту.

6. Використання регенерації енергії між потоками відпрацьованого й свіжого повітря.

Робота кондиціонерів має здійснюватися виключно в робочий час. Система повинна функціонувати або в режимі охолодження, або нагрівання.

Обігрів допускається за умов, якщо температура в приміщенні опускається нижче 18°C, а охолодження активується, щоб не допустити підвищення температури понад 26°C.

### **? Контрольні питання**

1. Мікроклімат характеризується...
2. Вентиляція визначається як...
3. Мікроклімат у приміщенні являє...
4. Іонізатор повітря це...
5. Голчаста іонізація є методом іонізації повітря, який здійснюється...
6. Електрокоронні установки використовуються для...
7. Для забезпечення нормальної життєдіяльності людини, тварин і птахів необхідно, щоб концентрація аероіонів у повітрі становила ...

## Розділ 5

# ОБРОБКА ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ С/Г МАТЕРІАЛІВ ФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

*Обробка та знезараження сільськогосподарських матеріалів за допомогою електричного струму*

*Магнітна очистка насіння культурних рослин від домішок бур'янового насіння*

*Використання ультразвукових коливань у технологічних процесах сільськогосподарського виробництва*

*Застосування електричних полів у технологічних процесах аграрного виробництва*

*Радіаційні методи опромінення насіння для підвищення якості та схожості*

*Фотоенергетичні технології обробки посівного матеріалу*

Ключовим показником діяльності сільськогосподарських підприємств виступає якість насіння та рівень урожайності, які формуються під впливом різних чинників, серед яких агрокліматичні умови, стан посівного матеріалу, якість ґрунтів, генетичний потенціал насіння тощо.

Систематичне дотримання агротехнічних заходів, розроблених спеціально для конкретної зони вирощування, а також своєчасне виконання робіт із захисту насіння та рослин завжди сприятиме поліпшенню результатів на насінневих ділянках. Серед фізичних методів обробки насіння виділяються такі як термічні, фотоенергетичні, радіаційні, магнітні та електрофізичні.

### 5.1 Обробка с/г матеріалів електричним струмом

Перед посівом насіння рекомендується обробляти його електричним струмом та полем високої напруги промислової частоти. Для цього насіння поміщають у конденсатор, між пластинами якого створюється електричне поле з напруженістю 100–400 кВ/м. Тривалість такої обробки залежить від культури і становить 20–180 секунд. За даними ВІЕСГ, цей метод дозволяє підвищити урожайність зернових культур на 10–15%.

Щодо *електричного розсолення та знезараження ґрунту*: для видалення шкідливих солей з верхнього шару ґрунту його потрібно промивати водою. Ефективність цього процесу можна збільшити, якщо пропускати через ґрунт постійний електричний струм. Для цього на полі встановлюють систему електродів, виготовлених з металевих труб або стрижнів. Густина струму в ґрунті може становити 1–10 А/м<sup>2</sup>, а витрати електроенергії — 5–20 тис. кВт·год на гектар.

У парниках і теплицях необхідно періодично проводити стерилізацію ґрунту. Цей процес здійснюється на глибину 0,25 м за допомогою стаціонарних чи пересувних установок. Останні представляють собою систему сталевих електродів, розташованих на відстані 0,2–0,25 м один від одного. Дослідження показали, що за температури ґрунту 55–65°C фітопатогенні гриби повністю знищуються.

*Електроплазмоліз*, як метод обробки рослинної сировини, є перспективною технологією, що дозволяє значно зменшити втрати поживних речовин під час сушіння. Добре відомо, що традиційне тривале сушіння трави, зокрема на відкритих полях, супроводжується втратою 25–50% поживних речовин. Щоб мінімізувати ці втрати, пропонується застосовувати плазмоліз — процес, за якого протопласти клітин відшаровуються від клітинних стінок, спричиняючи компактизацію протоплазми. Під час цього процесу клітини гинуть, а пов'язана з ними біологічна рідина стає доступною для випаровування. Важливо зазначити, що живі клітини чинять спротив процесу висихання, тоді як оброблені ослаблюють цей бар'єр. Плазмоліз може проводитися шляхом механічного, термічного, електричного чи інших впливів.

Серед різновидів плазмолізу особливої уваги заслуговує електроплазмоліз, який здійснюється в спеціалізованих установках — електроплазмолізаторах. Найчастіше використовуються валкові плазмолізатори, конструктивні особливості яких включають два валки, що обертаються назустріч один одному.

Електричний струм подається на валки через контактні кільця. Напруга електричного поля в зоні обробки варіюється в межах 60–75 кВ/м. Використання електроплазмолізу дозволяє

зменшити тривалість сушіння трави в 1,5–2 рази у порівнянні з природним методом.

Крім того, електроплазмоліз знаходить активне використання у харчовій промисловості, де його застосовують для підвищення виходу соків під час пресування ягідів і плодів. У сільському господарстві цей метод ефективно використовується для передпосівної обробки насіння в умовах сильних електричних полів. Основними факторами впливу у такій обробці є напруженість електричного поля та заряд, який отримує насіння. Експериментальні дослідження свідчать про покращення посівних характеристик насіння (збільшення енергії проростання та схожості) і підвищення врожайності після застосування даної технології.

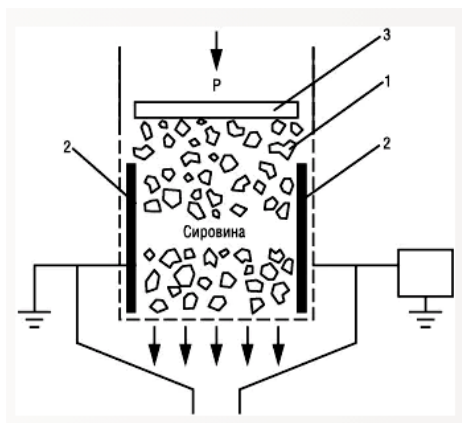


Рисунок 5.1 – Електроплазмолізатор

Електроплазмолізатор з нерухомими електродами є пристроєм, що включає камеру з перфорованим дном та рухомою кришкою. Ця кришка, опускаючись, забезпечує віджимання лікарської сировини. Електроди закріплюються по краях камери біля бокових стінок. Подання струму високої напруги організовується імпульсно через декілька хвилин після завершення процесу пресування сировини рухомою кришкою. Тривалість обробки сировини електричним струмом вимірюється частками секунди.

## 5.2 Магнітне очищення насіння культурних рослин від насіння бур'янів

Вивчення впливу магнітного поля на живі організми залишається недостатньо глибоким. Однак навіть за сучасного рівня знань магнітне поле знаходить широке застосування у сфері сільського господарства. Зокрема, його використовують для очищення насіння проса та багаторічних трав від насіння бур'янів, видалення металевих предметів із кормів або зі шлунків великої рогатої худоби, а також для магнітної обробки води тощо.

Зазначені процеси здійснюються із застосуванням як електромагнітів, так і постійних магнітів. Постійні магніти вирізняються простотою конструкції, дешевизною, а також тим, що для їхньої роботи не потрібні джерела енергії.

Однак їх недоліки включають зменшення магнітного поля з часом і складнощі у регулюванні магнітної індукції. Цих обмежень позбавлені електромагніти, які становлять більш універсальне рішення для подібних завдань.

Незважаючи на використання очищувальних елементів у молотарках, зерно після їхнього проходження залишається сильно забрудненим. Як правило, в ньому міститься значна кількість домішок, таких як рослинні залишки (м'якіна або стручки), частини бур'янів, бите насіння та інші відходи.

Присутність домішок суттєво знижує якість зерна, незалежно від його подальшого використання — сушіння, переробки на силос або застосування в кормових цілях. Таким чином, очищення зерна є одним із ключових етапів післяжнивної обробки.

У зібраній зерновій масі зазвичай трапляється два типи домішок: бур'янова та зернова. Ці домішки можуть з'являтися на різних етапах — під час збору врожаю, транспортування чи зберігання. Їхній вплив на якісні характеристики зерна суттєво різниться.

Наприклад, зернові домішки за своїми хімічними властивостями майже ідентичні до основного зерна і мають лише незначний вплив на кормову цінність або продукцію

переробки. До зернових домішок належать насіння:

- пророслі, коріння яких та паростки виходять назовні;
- пошкоджені зерна, які мають механічні ушкодження (биті або з'їдені);
- недозрілі зерна (мають зелений колір і легко деформуються при натисканні);
- легковагі, зморщені і ті, що зазнали дії тиску.

Окрім того, до зернових домішок включають культурні зерна, котрі відрізняються від основної культури. Такі зерна мають бути близькими за хімічним складом і технологічними параметрами до якісного зерна.

Насіння інших культур, що відрізняється розмірами та формою, класифікується як бур'яниста домішка. До бур'янів також належать домішки хімічного та органічного походження, які обов'язково підлягають видаленню.

До бур'янистих домішок відносять залишки, що накопичуються після просіювання, наприклад, прохід. Мінеральні домішки включають пісок, землю, гальку та шлак. Органічні ж домішки представлені шерстю, шматочками стебел, листя та зернами дикорослих трав. Регламент щодо допустимого вмісту домішок у зерні визначається чинними стандартами. У випадку перевищення встановлених норм таке зерно до переробки не допускається.

Відділення пошкодженого насіння, насіння бур'янів та магнітного сміття із загальної маси зерна є складним процесом. Для його оптимізації використовують магнітні сепаратори, які бувають барабанного та стрічкового типів.

У ході цього процесу до зерна додається спеціальний магнітний порошок, який зв'язується з пошкодженим насінням, насінням бур'янів та сміттям. Під час очищення всі домішки ефективно видаляються завдяки відмінностям у магнітних властивостях сміття та основної культури. Для очищення насіння таких культур, як просо або багаторічні трави, зазвичай застосовується машина ЕМС-1А (електромагнітний сепаратор). Перед початком процесу очищення насіння змішують із магнітним порошком. Завдяки гладкій поверхні насіння культурних рослин порошок до них не прилипає, тоді як насіння бур'янів із шорсткою поверхнею добре утримує його.

Підготовлене в такий спосіб насіння подається на обертовий барабан. Барабан виготовлений із латуні, і всередині нього встановлено електромагніт, що займає приблизно половину його внутрішньої поверхні.

Насіння бур'янів затримується на поверхні барабана й спрямовується у відповідний бункер, тоді як насіння культурних рослин швидко зісковзує з барабана в інший бункер.

Останнім часом зростає інтерес до використання так званої «живильної» або магнітообробленої води, яка піддається дії постійного магнітного поля, що відкриває нові можливості у сільському господарстві.

Продуктивність машини ЕМС-1А для очищення конюшини становить від 180 до 250 кг/год, тоді як машина СМЩ-0,4 забезпечує продуктивність до 400 кг/год для конюшини та 500 кг/год для льону. Потужність електродвигунів і випрямляча в машині ЕМС-1А складає 3,5 кВт, а у моделі СМЩ-0,4 – 2,6 кВт.

Сьогодні все більшого поширення набувають сучасні магнітні сівоочисні машини, які прийшли на зміну попереднім електромагнітним установкам. Наприклад, у конструкції машини К-590А використовується барабан із постійними магнітами замість електромагнітного. У її камерах шнеки для перемішування та очищення забезпечують ретельну обробку насіння з додаванням магнітного порошку. Цей процес дозволяє якісно очистити шорстке насіння бур'янів, пошкоджене або біте зерно основної культури.

*Магнітне очищення* кормів від металевих часток є важливим процесом, який допомагає вилучити залізні предмети, що можуть випадково потрапити в концентровані чи інші види кормів (наприклад, цвяхи, гайки та подібне). Для цього корми очищають спеціальним методом.

Принцип очищення полягає в тому, що корм, розсипаний тонким шаром, переміщується під полюсами електромагнітів або постійних магнітів.

У результаті металеві предмети притягуються магнітним полем до полюсів, що забезпечує їх ефективне відділення від кормової маси.



Рисунок 5.2 – Загальний вигляд конструкції магнітної сільськогосподарської машини К-590А

### **5.3 Застосування ультразвукових коливань в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва**

*Ультразвук* являє собою акустичні коливання, частота яких перевищує верхню межу чутного звуку (понад 20 000 Гц). Водночас верхня межа частот ультразвуку є умовною.

Ультразвукові коливання мають унікальні властивості, які обумовлюють їх широке застосування в техніці та науці. Основними перевагами є мала довжина хвилі та відносно короткий період коливань, що дозволяє випромінювати ультразвукові хвилі у вигляді імпульсів і забезпечує можливість точного відбору сигналів у середовищі. Також, навіть при незначній амплітуді, ультразвук здатен досягати високих значень енергії.

На рисунку 5.3 представлена спрощена принципова електрична схема ультразвукового генератора.

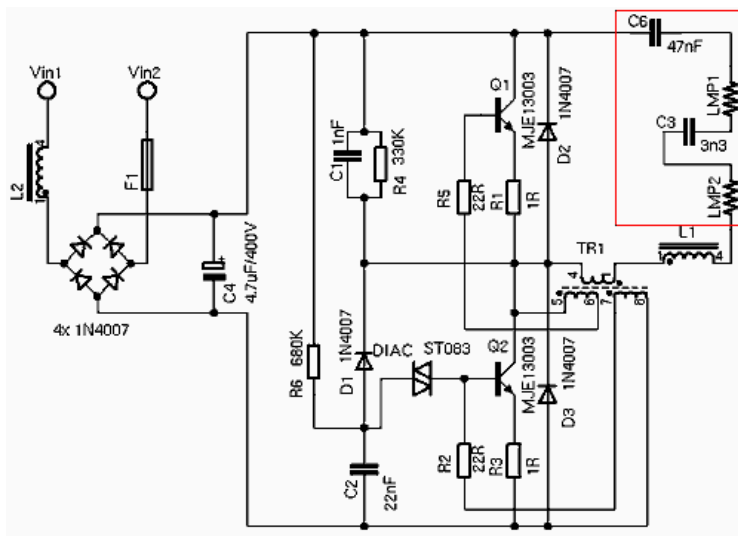


Рисунок 5.3 – Схема електрична принципова  
ультразвукового генератора

Ультразвукове поле спричиняє значні акустичні ефекти, які мають фізичні, хімічні, біологічні та медичні наслідки. Важливим аспектом є те, що при належному захисті ультразвук залишається нечутним для обслуговуючого персоналу, що підвищує комфорт і безпеку роботи.

Перспективи застосування ультразвукових технологій у харчовій промисловості та інших галузях стимулюють необхідність подальшого розвитку і вдосконалення обладнання. Це спрямовано на підвищення ефективності виробничих процесів, зокрема збільшення продуктивності, скорочення витрат енергії, раціональне використання сировини та покращення якості готової продукції.

Напівпровідникові та лампові генератори ультразвукової частоти набули широкого застосування у сучасних технологіях. У подальшому електрична енергія ультразвукової частоти перетворюється в енергію механічних коливань твердих тіл за допомогою електроакустичних перетворювачів, що забезпечує функціонування відповідних систем.

Глибина обробки ґрунту є ключовим параметром в аграрному виробництві, оскільки саме вона значною мірою визначає рівень врожайності на полях. Проте в цій галузі часом виникають порушення. Зокрема, якщо оператор сільськогосподарської техніки недостатньо глибоко обробляє ґрунт, це свідчить про недотримання технологічного процесу. Зазвичай це супроводжується використанням меншої кількості палива, ніж передбачено нормативами, а зекономлений запас часто витрачається в особистих цілях. Інша крайність — надмірне заглиблення інструмента в ґрунт, яке спричиняє перевитрату палива і також порушує технологічний регламент.

На даний момент практично відсутні автоматизовані засоби контролю глибини обробки ґрунту, що створює значні труднощі для аграріїв. Традиційно агрономи здійснюють вимірювання вручну за допомогою спеціальної лінійки, після чого обчислюють середню глибину обробки на полі. Однак такий метод не забезпечує високої точності отриманих даних, що може негативно впливати на ефективність роботи та врожайність.

На сьогоднішній день технологія ультразвукових датчиків дозволяє здійснювати вимірювання глибини обробки ґрунту з високою точністю. Закріплення таких датчиків на причіпному обладнанні дає змогу фіксувати глибину обробки з похибкою, що не перевищує декількох сантиметрів. Зазначені системи вже ефективно впроваджуються у практику багатьох аграрних підприємств.

Крім того, ультразвукові датчики, які забезпечують визначення ступеня заглиблення робочих інструментів, сприяють точнішому контролю процесу виконання агротехнічних операцій. Це в свою чергу дозволяє підвищити точність розрахунків обробленої площі у спеціалізованому програмному модулі TrackControl-AGRO.

Технологія ультразвукового сканування, яка традиційно застосовується для контролю рівня сипучих матеріалів, наразі активно адаптується і тестується в контексті моніторингу зібраного врожаю зернових культур і соняшнику в комбайнах.

Встановлення ультразвукового датчика на бункері комбайна дає можливість управляти процесом моніторингу

рівня зерна та, відповідно, виконувати розрахунок його об'єму. Таке рішення дозволяє отримати детальну інформацію про результати збирання врожаю. У перспективі зазначені дані можуть бути інтегровані для аналізу всієї логістичної ланки — від кількості зерна, зібраного комбайном у полі, до кількісних характеристик, зафіксованих на етапі доставки врожаю на елеватор.

Ультразвукові коливання мають позитивний вплив на обробку насіння та зерна перед їх висівом, що сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва. Зокрема, попередня обробка насіння томатів ультразвуком призводить до збільшення кількісних показників плодів, скорочення періоду дозрівання, а також зростання вмісту вітамінів у врожаї. Для насіння дині та кукурудзи ультразвукові технології забезпечують підвищення врожайності до 40%. Крім того, цей метод може використовуватися для дезінфекції насіння та введення необхідних мікроелементів із рідких розчинів.

У галузі тваринництва ультразвукові коливання знаходять застосування в процесі пастеризації молока через явище кавітації, що спричиняє механічне руйнування бактеріальних клітин.

Сьогодні впроваджуються наступні технології на основі ультразвуку:

1. Обробка молока для гомогенізації та стерилізації.
2. Збільшення термінів зберігання і поліпшення якості замороженого молока.
3. Виробництво високоякісного порошкового молока.
4. Створення емульсій, які використовуються у хлібопеченні.
5. Підвищення бродильної активності дріжджів на 15%.
6. Отримання ароматичних речовин, пюре, а також витяг жиру з печінки.
7. Виділення винного каменю.
8. Екстрагування корисних компонентів із рослинної та тваринної сировини.
9. Скорочення часу виробництва парфумів до 6–8 годин замість традиційного терміну в один рік.

Ультразвукові технології демонструють значні перспективи для покращення ефективності й якості аграрного та харчового виробництва, що робить їх важливим компонентом у сучасній індустрії.

## **5.4 Застосування електричних полів в технологічних процесах сільгоспвиробництва**

Електричні поля використовуються для впливу на заряджені дрібнодисперсні частинки, спрямовуючи їх у впорядкований рух, що необхідний для реалізації ряду технологічних процесів.

У сфері сільського господарства широко поширились методи, пов'язані з очищенням, сортуванням і передпосівною обробкою насіння, осіданням отрутохімікатів, фарбуванням в умовах електричного поля, очищенням повітря тощо. Процеси електричного очищення та сортування насіння здійснюються за допомогою зернових електросепараторів. У порівнянні з механічними машинами такі технології дозволяють отримувати насіння більш високої якості, з покращеними посівними характеристиками, що сприяють підвищенню урожайності.

### **5.4.1 Електросепаратори**

Основою класифікації електричних сепараторів є метод сепарації, характеристики електричного поля, в якому здійснюється розподіл мінеральних часток, а також особливості руху матеріалу через робочу зону.

Метод сепарації визначає електричні властивості, на яких базується процес, тоді як параметри поля та характер руху матеріалу відображають співвідношення основних електричних і механічних сил, що впливають на частинки.

*Електростатичний сепаратор* виконує розділення вихідного матеріалу на компоненти залежно від їхньої електропровідності в електростатичному полі.

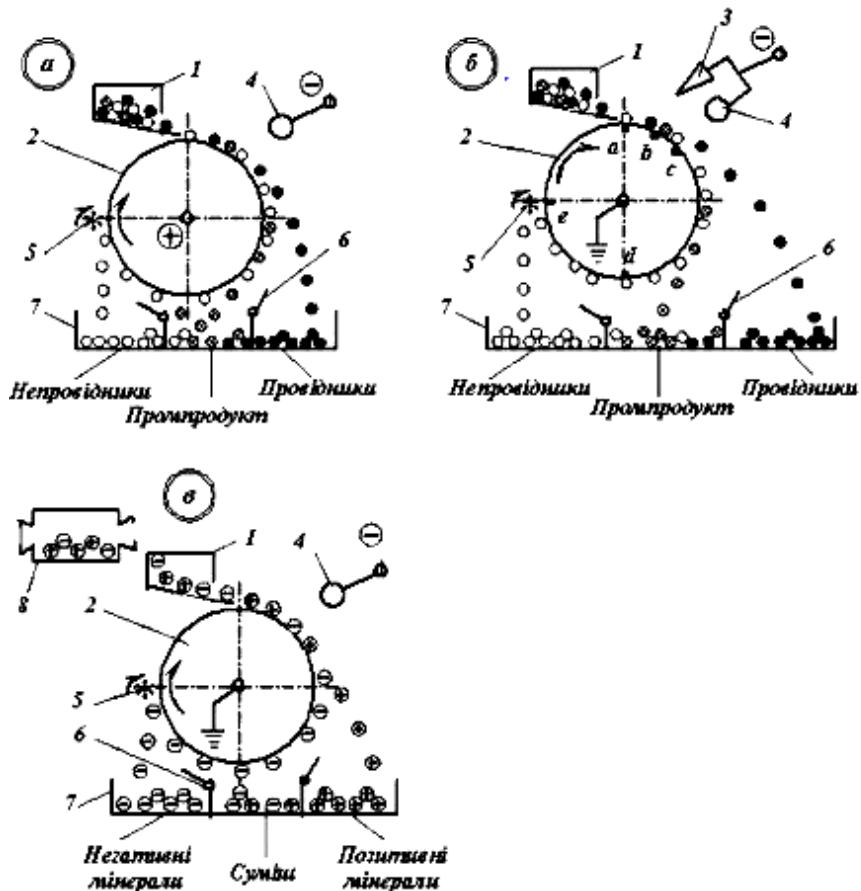


Рисунок 5.4 – Електросепаратори:

*а* – електростатичний сепаратор; *б* – коронно-електростатичний сепаратор; трибо електростатичний сепаратор.

1 – бункер; 2 – осаджувальний електрод (заряджений або заземлений); 3 – коронуючий електрод (гострий); 4 – відхиляючий електрод; 5 – щітка; 6 – шабери; 7 – збірники продуктів; 8 – електризатор.

Наприклад, електросепаратори зерна класифікують за методом заряджання частинок (електростатичні, електро-

коронні, діелектричні тощо) і за конструктивним виконанням (камерні, барабанні, транспортерні, решітчасті). Найпростіший за принципом дії — електрокоронний сепаратор камерного типу. Зерно надходить із бункера у поле коронуючих провідників, де отримує негативний заряд. Коронуючі електроди зазвичай виконуються у вигляді тонких горизонтально натягнутих дротів діаметром 0,2-0,3 мм, до яких подається напруга близько 40-50 кВ.

*Коронно-електростатичний сепаратор* є різновидом електричного сепаратора, що здійснює розподіл вихідного матеріалу на складові залежно від їхньої електропровідності. Цей процес відбувається в умовах поєднання коронного розряду та електростатичного поля.

#### **5.4.2 Електричні іонізатори**

Термін іонізатор міцно увійшов у лексикон виробників і продавців техніки для кліматичного комфорту та побуту. Проте далеко не всі можуть пояснити, що таке іонізація, навіщо потрібні іонізатори повітря та яким чином цей процес впливає на здоров'я людини.

*Іонізація* – це фізичний процес, під час якого електрон відокремлюється від молекул або атомів газу. У результаті з нейтральної молекули утворюються два іони з протилежними зарядами: негативний (до нього приєднується відірваний електрон) і позитивний (що втрачає електрон).

У природі іонізація повітря відбувається природним шляхом під впливом розрядів блискавки, космічного випромінювання, фотосинтезу рослин та інших чинників. Найбільш відчутною вона є у хвойних лісах, у горах чи біля моря, де повітря насичене аероіонами.

Натомість у міських умовах, особливо у квартирах та офісах, концентрація заряджених іонів значно знижується – у 10-15 разів. Це пов'язано з впливом забрудненого повітря, що містить вихлопні гази, промислові викиди та інші шкідливі речовини, а також із дією електромагнітного випромінювання.

Робота іонізатора повітря сприяє підвищенню концентрації негативно заряджених аероіонів у повітрі до

природного рівня. Це активізує роботу еритроцитів у крові людини, а повітрообмін у легенях збільшується приблизно на 10%. Завдяки цим процесам іонізація спричиняє такі позитивні ефекти:

- Покращення якості сну. Використання іонізатора робить сон міцнішим і глибшим, забезпечуючи повноцінний відпочинок організму.

- Зниження втомлюваності та підвищення загального тону. Завдяки кращому насиченню киснем і якісному відпочинку зміцнюється імунітет.

- Прискорення метаболічних процесів, що сприяє легшому перебігу захворювань.

- Нормалізація апетиту.

- Зменшення впливу шкідливих випромінювань, які утворюються внаслідок роботи побутових приладів.

- Очищення повітря від дрібних частинок пилу та алергенів, які притягуються негативно зарядженими аероіонами.

Однак дія аероіонів має і зворотний бік, який може вплинути на людей зі специфічними проблемами здоров'я при тривалому перебуванні у приміщенні з іонізованим повітрям. Основні ризики включають:

- Небезпеку перенасичення повітря озоном, який є природним окисником.

- Прискорення метаболізму, протипоказане людям із підвищеною температурою тіла чи онкологічними захворюваннями, оскільки це може погіршити їхній стан.

Незалежно від конструктивних відмінностей різних типів іонізаторів повітря, у їх будові обов'язково наявні такі ключові елементи:

- дротові або голчасті електроди, розташовані на єдиній основі, між якими виникає електричний розряд;

- перетворювач електричної енергії (випрямляч), що забезпечує отримання постійного струму;

- система управління, яка регулює параметри струму та напруги, необхідні для роботи пристрою;

- механізм автоматичного захисту від різких перепадів напруги в електромережі.

Більшість сучасних моделей оснащені додатковими

компонентами, такими як вентилятор, який сприяє інтенсивній циркуляції повітря і рівномірному розподілу аероіонів по приміщенню. Також часто застосовуються системи механічної фільтрації з різними типами фільтрів, наприклад, вугільними, фотокаталітичними чи HEPA-фільтрами.

Деякі моделі можуть доповнюватися антибактеріальними ультрафіолетовими лампами або іншими функціональними елементами. Іонізатори, які використовуються на промислових підприємствах, характеризуються іншими принципами роботи й технічними особливостями. Вони здатні створювати значно вищу концентрацію негативно заряджених іонів. Для вивільнення електронів у таких пристроях застосовують різні методи, зокрема розділення водяної пари за допомогою електричного розряду на гідроперекис та аероіони (гідроіонізатори), нагрівання дроту (термоіонізатори) або горіння спирту (плазмові іонізатори).



Рисунок 5.5 –Іонізатор Therapy Air Ion

Іонізатори повітря активно використовуються для штучної іонізації в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях. У пташниках і інкубаторах широко застосовуються електрокоронні іонізатори, оснастка яких включає металеві голки

довжиною 10-25 мм, підключені до джерела високої постійної напруги (10-30 кВ). Завдяки цим приладам несучість курей підвищується приблизно на 10%, а також зменшується витрата кормів. Пристрій Therapy Air iOn є відмінним вибором для забезпечення чистоти та безпеки повітря в житлових приміщеннях. Він здійснює фільтрацію, очищення та насичення повітря негативними іонами. Система приладу включає п'ять рівнів фільтрації та генератор негативних іонів, які взаємодіють, забезпечуючи свіжість і високу якість повітря.

Щодо використання радіаційних методів із застосуванням ізотопів, їх дослідження проводяться впродовж десятиліть як вітчизняними, так і міжнародними науковцями з метою визначення реакції рослин на вплив зовнішніх факторів, а також для аналізу метаболічних і фотосинтетичних процесів. Учені відзначили незначне підвищення врожайності під час опромінення насіння та рослин  $\gamma$ -променями. Проте конструктивні аспекти обладнання для обробки насіння іонізуючими випромінюваннями та ізотопами ускладнюють його широке використання в аграрному секторі через підвищений ризик радіоактивного забруднення персоналу, який обслуговує подібні установки.

## **5.5 Фотоенергетичні методи обробки посівного матеріалу**

Фотоенергетичні методи, зокрема лазерна обробка посівного матеріалу та рослин під час вегетації, демонструють значний потенціал. Оптичні квантові генератори відзначаються такими перевагами, як точне налаштування параметрів світлових хвиль, регулювання потужності випромінювання, широкий діапазон концентрації енергії (від мВт/см<sup>2</sup> до мкВт/см<sup>2</sup>), а також здатність впливати на біохімічні та фізіологічні процеси на клітинному рівні, сприяючи їх уповільненню чи прискоренню.

*Лазер* є пристроєм, який генерує або підсилює монохроматичне випромінювання, створюючи вузький пучок світла. Такий пучок може поширюватися на значні відстані без

суттєвого розсіювання та забезпечувати високу густину енергії під час фокусування (до  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup> для високоенергетичних лазерів).

Технологія лазерної обробки посівного матеріалу базується на використанні лазерного випромінювання для покращення властивостей насіння. До її переваг входять дезінфекція, стимуляція росту, підвищення проникності насінневої оболонки та інші процеси, що сприяють збільшенню схожості й врожайності.

Дослідження показали, що обробка насіння овочевих культур лазерним випромінюванням малої інтенсивності (до 0,4 мВт/см<sup>2</sup>) дає змогу підвищити врожайність до 11–12 %. У зернових культур така технологія збільшила схожість на 19 %, а енергію проростання — на 30–31 %. Обробка рослин може здійснюватися шляхом сканування фотосинтетично активних поверхонь, таких як насіння, листя чи стебла.

Основною перевагою цього методу є його екологічність. Рослини, які зазнали впливу лазерного випромінювання, демонструють підвищену стійкість до хвороб, пришвидшене зростання та збільшену врожайність. Промислові лінії для передпосівної обробки насіння, створені на основі лазерних установок із потужністю 90–110 мВт, забезпечують продуктивність до 300–500 кг/год для зернових культур.

Принцип дії:

- Лазерний промінь використовується для безконтактної обробки насіння шляхом впливу на його поверхню.

- Енергія лазера, поглинаючись насінням, може викликати різні зміни, зокрема нагрівання, плавлення або випаровування зовнішнього шару.

- Завдяки регулюванню параметрів лазерного випромінювання (як-от потужність чи тривалість експозиції), можна досягати необхідних ефектів.

Переваги лазерної обробки насіння:

- Дезінфекція. Лазер здатний знищувати патогенні мікроорганізми на поверхні насіння, зменшуючи ймовірність захворювань.

- Стимулювання росту. Лазерне випромінювання активізує проростання насіння, підвищуючи його енергію проростання й

схожість.

- Поліпшення проникності оболонки насіння. Це забезпечує швидке та рівномірне проростання, а також краще поглинання води й поживних речовин.

- Відсутність хімічних залишків. На відміну від традиційних методів, лазерна обробка не залишає хімічного забруднення.

- Висока точність. Такий метод дозволяє здійснювати обробку насіння з максимальною точністю, уникаючи небажаного впливу на інші частини рослини.

- Екологічна безпека. Лазерна обробка не потребує використання будь-яких хімікатів, що робить її екологічно чистою.

Лазерна обробка знаходить широке застосування для різних видів посівного матеріалу, включаючи насіння зернових, овочевих, квіткових культур, а також насіння лісових дерев. Вона може слугувати ефективним доповненням до традиційних методів обробки, сприяючи підвищенню їхньої ефективності та екологічності.

Цей метод обробки насіння перед посівом має потенціал стимулювання схожості насіння у рослинництві.

Основою способу є вдосконалення технології передпосівної стимуляції насіння за допомогою імпульсного лазерного опромінення, яке активно впливає на фітохромну систему насіння.

Ця система відіграє важливу роль в процесі проростання. Суть технології полягає у почерговій подачі лазерних імпульсів у червоному (приблизно 660 нм) та далекому червоному (приблизно 730 нм) спектральних діапазонах оптичного випромінювання, що дозволяє підвищити ефективність стимуляції, скоротити тривалість обробки насіння і знизити енерговитрати.

Використання почергових імпульсів у зазначених спектральних діапазонах сприяє пришвидшенню переходу взаємоперетворюваних форм фітохрому. Це, у свою чергу, активізує процес перенесення специфічних метаболітів, які забезпечують проростання насіння, через мембрани клітинних структур.

Такий підхід значно збільшує ефективність передпосівної стимуляції і оптимізує витрати часу на лазерну обробку насіння.

### **? Контрольні питання**

1. Що означає процес електричного розсолення та знезараження ґрунту і які його основні принципи?
2. Дайте визначення електроплазмолізу рослинної сировини та окресліть його застосування.
3. У чому полягає процес плазмолізу рослинної сировини і яке його значення в агротехніці?
4. Охарактеризуйте принципи магнітного очищення насіння і його ефективність у підготовці сільськогосподарських культур.
5. Які функції виконують ультразвукові коливання у тваринництві та які переваги їх використання?
6. Опишіть технологію електричного очищення і сортування насіння.
7. Опишіть можливість застосування радіаційних методів для опромінення насіння.
8. Які методи належать до групи фотоенергетичних, та як вони впливають на продуктивність і якість сільськогосподарської продукції?

## Розділ 6

# ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ. ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ

*Зварювання* є технологічним процесом, спрямованим на створення нероз'ємних з'єднань матеріалів, таких як метали, сплави та інші однорідні чи різнорідні компоненти. Такий ефект досягається завдяки утворенню атомно-молекулярних зв'язків між частинками заготовок, що з'єднуються.

*Основна інформація про зварювання*  
*Силowe обладнання для зварювання*  
*Інвертори для зварювання*

### 6.1 Основні відомості про зварювання

Основною метою зварювального процесу є забезпечення отримання міцного нероз'ємного з'єднання деталей із заданими фізико-механічними характеристиками. У більшості випадків виконання з'єднання за допомогою зварювання включається до етапу складання і може бути інтегроване безпосередньо в процес вузлового або загального монтажу.

Зварювання належить до числа найбільш прогресивних, економічно виправданих, високопродуктивних і в основному механізованих технологічних процесів. Ця технологія широко використовується практично у всіх сферах машинобудування.

Існує значна кількість різновидів зварювання, що суттєво відрізняються за технікою виконання.

За характером перебігу фізичних процесів формування з'єднання та з урахуванням агрегатного стану металу в зоні зварювання, всі відомі методи класифікуються на дві основні групи:

1. Зварювання плавленням.
2. Зварювання із застосуванням тиску.

У випадку застосування зварювання із тиском, з'єднання деталей досягається за рахунок сумісної дії нагріву та прикладеного тиску. Вибір конкретного методу й режиму зварювання обумовлюється властивостями матеріалу деталей,

їхньою товщиною, геометричною формою, розмірами та експлуатаційними вимогами до виробу.

## 6.2 Електродугове зварювання

Суть процесу електричного дугового зварювання полягає в тому, що кромки заготовок плавляться під дією тепла, яке виділяється зварювальною дугою. Ця дуга утворюється між електродом і крайками заготовок. Найвища температура дуги, яка досягає 4500–6000 °С, спостерігається в її осевій частині.

Для дугового зварювання зазвичай використовують різні види вихідних матеріалів, зокрема сталевий і кольоровий прокат, заготовки для об'ємного та листового штампування, поковки, а також литі деталі. Ручне дугове зварювання активно застосовується майже у всіх галузях техніки. Принципова схема цього процесу зображена на рисунку 6.1.

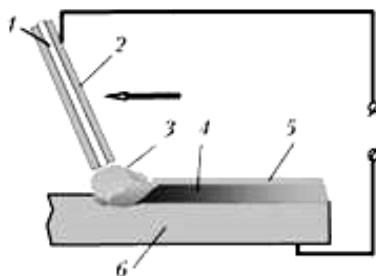


Рисунок 6.1 – Схема зварювання:

1 - електрод; 2 - обмазка; 3 - нейтральний газ; 4 - зварювальна ванна; 5 - шлак; 6 - заготівля

Для живлення зварювальної дуги використовуються спеціальні джерела струму:

- змінного – зварювальні трансформатори, які знижують мережеву напругу з 380-220 В до 55-65 В;
- постійного – генератори та випрямлячі.

В електрозварювальних установках розрізняють кілька видів дуги залежно від середовища, у якому відбувається дуговий розряд:

1. Відкрита – горить у повітрі, насиченому парами матеріалу електрода, деталей, що зварюються, та покриття електрода. Найчастіше використовується для ручного зварювання.

2. Закрита – горить під шаром захисного флюсу без доступу повітря, у середовищі парів матеріалів електрода, деталей та самого флюсу. Застосовується при напівавтоматичному та автоматичному зварюванні під шаром розплавленого флюсу.

3. Захищена – працює в середовищі захисних газів (аргон, вуглекислий газ, гелій, азот, водень тощо). Використовується як у ручному, так і в автоматичному зварюванні; як із плавким електродом, так і з неплавким.

За типом матеріалу і фізичного стану електрода:

– з металевим електродом, що плавиться;

– з неплавким електродом (вугільним, вольфрамовим, керамічним тощо).

Залежно від характеру дії дуги на деталі, що зварюються: пряма; непряма.

Основною характеристикою зварювальної дуги, яка значною мірою визначає вибір джерела живлення та забезпечує умови її надійного запалення і стабільного горіння, є статична вольт-амперна характеристика. Вона являє собою залежність напруги на дузі від сили струму за стабільної довжини дуги:

$$U_d = f(I_d) \text{ при } I_d = \text{const.} \quad (6.1)$$

На рисунку 6.2 представлені приклади трьох типів вольт-амперних статичних характеристик дуги:

- падаюча (рисунок 6.2а), характерна для дуг, які горять у повітрі або захищені газовим середовищем при струмах у діапазоні від кількох ампер до 80 А;

- жорстка (рисунок 6.2б), притаманна дугам, що працюють у повітрі або газовому середовищі зі струмами від 80 до 350 А;

- зростаюча (рисунок 6.2в), яка спостерігається в дугах, що

горять під шаром флюсу з використанням електродів малого діаметра або при зварюванні в середовищі вуглеводневих газів зі струмами понад 350 А.

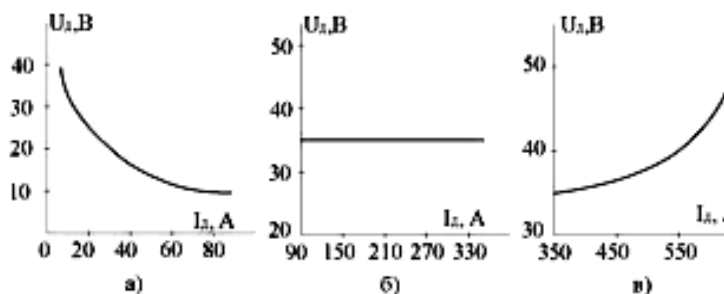


Рисунок 6.2 – Статичні вольт-амперні характеристики електричної дуги:

а) падаюча; б) жорстка; в) зростаюча

### 6.3 Зварювальне силове обладнання

Електрозварювальні установки являють собою комплекс функціонально інтегрованих спеціалізованих електрозварювальних, електротехнічних і механічних компонентів, а також кабельних мереж, електропроводів і струмопроводів, призначених для забезпечення зовнішніх з'єднань між цими елементами.

Установки із багатопостовим джерелом зварювального струму повинні бути обладнані пристроями захисту від перевантаження, такими як автоматичні вимикачі або запобіжники. Крім того, кожна окрема лінія, що веде до зварювального поста, має бути оснащена комутаційними і захисними електричними апаратами, які забезпечують належну безпеку та надійність роботи.

В якості джерела зварювального струму рекомендовано використовувати виключно технічні засоби, спеціально розроблені для цього. До таких засобів належать зварювальні трансформатори, статичні перетворювачі або двигунно-генераторні установки, оснащені електродвигунами чи

двигунами внутрішнього згоряння, які відповідають вимогам чинних нормативних стандартів.

*Зварювальний трансформатор* є пристроєм, що здійснює перетворення змінної напруги електричної мережі у змінну напругу, оптимальну для процесу електрозварювання. Основний функціональний компонент такого трансформатора – це понижувальний трансформатор, який зменшує напругу мережі до значення холостого ходу, що зазвичай становить 50-60 В.

Сила струму в зварювальному трансформаторі може регулюватися шляхом зміни індуктивного опору ланцюга або за допомогою тиристорів через фазове регулювання.

Зварювальні трансформатори поділяються на такі категорії:

- за кількістю робочих місць, що обслуговуються;
- за фазністю напруги в мережі (однофазні чи трифазні);
- за конструкцією пристрою.

У контексті конструкції виділяють наступні типи:

- Моделі з номінальним магнітним розсіюванням. Такі пристрої складаються з трансформатора та дроселя, що застосовується для регулювання напруги.

- Вироби зі збільшеним магнітним розсіюванням. Їхня конструкція є складнішою, містить кілька рухомих обмоток, конденсатори, імпульсні стабілізатори та інші елементи.

*Тиристорні моделі.* Це більш сучасний тип, який поєднує силовий трансформатор і тиристорний фазорегулятор. Порівняно з іншими, тиристорні моделі мають меншу вагу. До основних характеристик зварювальних трансформаторів належать:

- коефіцієнт потужності;
- напруга мережі (первинна напруга);
- вторинна напруга;
- вихідна потужність;
- межі регулювання струму.

*Коефіцієнт потужності* визначається як співвідношення активної потужності до повної потужності, що споживається приладом.

*Активна потужність* витрачається на виконання корисної роботи, тоді як повна потужність є геометричною сумою

активної та реактивної потужностей (за умов синусоїдального струму і напруги).

*Номинальна первинна напруга* трансформатора — це напруга, яку необхідно подати на первинну обмотку, щоб отримати на затискачах вторинної обмотки її номінальне значення у режимі розімкнутого кола. Цей параметр зазначається в технічному паспорті пристрою.

*Номинальна вторинна напруга* — напруга, що з'являється на затискачах вторинної обмотки при розімкнутій обмотці та подачі номінальної первинної напруги на первинну сторону трансформатора.

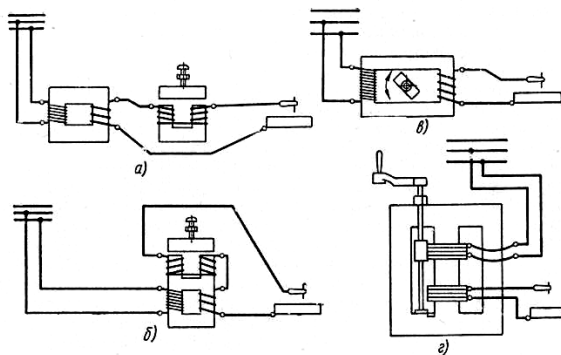


Рисунок 6.3 – Схеми зварювальних трансформаторів:

а) із використанням окремої дросельної котушки у вторинному контурі; б) із дросельною котушкою, яка конструктивно поєднана з трансформатором в одне ціле; в) зі збільшеною індуктивністю без застосування дросельної котушки; г) із рухомою обмоткою (зменшення відстані між первинною та вторинною обмотками трансформатора збільшує зварювальний струм, а збільшення відстані – знижує його).



Рисунок 6.4 –  
Загальний вигляд  
зварювальних  
трансформаторів

*Потужність трансформатора* напруги визначається як максимально допустима удавана потужність, яку він може безперервно забезпечувати за умов номінальної первинної напруги, незалежно від класів точності. При цьому нагрівання всіх його складових не повинно перевищувати межі, встановлені для відповідного класу нагрівостійкості трансформатора.

*Межі регулювання* зварювального струму визначають найменші та найбільші значення струму, допустимі для використання під час зварювання.

## 6.4 Зварювальні інвертори

*Зварювальний інвертор* - це пристрій для зварювання, в якому процес формування вихідної напруги та регулювання зварювального струму відбувається за допомогою електронного інвертора. З початку ХХІ століття він став одним із найпоширеніших зварювальних апаратів, придатних для всіх видів електродугового зварювання металів.

Такий апарат вирізняється високою якістю роботи, ефективністю на рівні 80-90% і більше, а також компактними розмірами та малою вагою (5-8 кг) порівняно з традиційними трансформаторними моделями.

Принцип дії зварювального інвертора включає такі основні етапи:

- подача змінного струму на мережевий випрямляч;
- перетворення струму за допомогою фільтра;
- трансформація випрямленого струму через інвертор у змінний високої частоти;
- зниження напруги за допомогою трансформатора та збільшення сили струму у зварювальному процесі, завершуючи випрямленням струму через частотний вирівнювач.

Змінний струм з промисловою частотою (50 або 60 Гц) надходить до низькочастотного випрямляча, де проходить випрямлення зі згладжуванням конденсаторним фільтром. Потім він спрямовується до високочастотного інвертора (20-50 кГц).

Система управління інвертором забезпечує необхідну

вольт-амперну характеристику пристрою, а також його захист від перевантаження та перегріву.

З інвертора змінний струм високої частоти потрапляє до високочастотного трансформатора, після чого вторинна обмотка трансформатора передає його через силові діоди для подальшого використання у процесі зварювання.

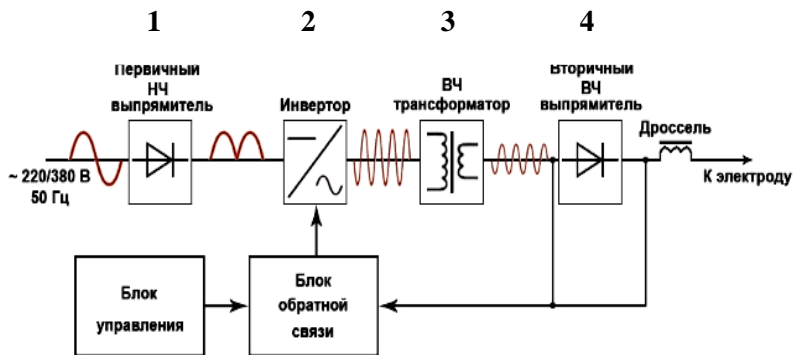


Рисунок 6.5 демонструє блок-схему зварювального інвертора, що складається з наступних елементів:

1 – первинний низькочастотний випрямляч; 2 – інвертор; 3 – імпульсний трансформатор; 4 – вторинний високочастотний випрямляч; 5 – пристрій управління; 6 – пристрій зворотного зв'язку.

Застосування високочастотних технологій дозволяє суттєво зменшити габарити та вагу силового трансформатора, що є однією з ключових переваг таких пристроїв. Популярні моделі здатні працювати в температурному діапазоні від 5 до 40°C.

Максимальні показники зварювального струму становлять 160, 200 або 250 А, що забезпечує можливість якісного зварювання сталевих листів завтовшки до 6–8 мм для моделей на 160 А чи до 10–15 мм для моделей на 250 А.

Також інвертори дозволяють різати метал електродами розміром 3 мм (160 А) або 4 мм (250 А) в режимі повторно-періодичної роботи.

На рисунку 6.6 надано конструктивний приклад розібраного інвертора для детального ознайомлення з його функціональними компонентами.

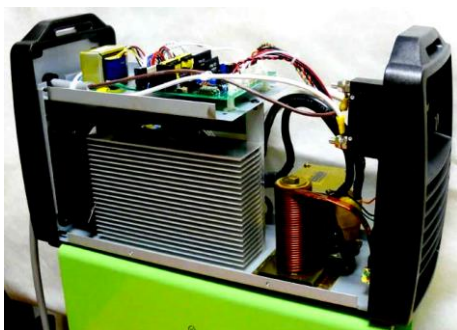


Рисунок 6.6 – Конструктивна база інвертора

### **? Контрольні питання**

1. Зварювання як технологічний процес: основні принципи та особливості.
2. Електродугове зварювання: сутність процесу, його значення та переваги.
3. Які види джерел струму застосовуються для живлення зварювальної дуги: їхні характеристики, класифікація та специфіка використання.
4. Зварювальний трансформатор як ключовий пристрій у системі зварювання: структура та функціональне призначення.
5. Основні характеристики зварювальних трансформаторів: критерії оцінювання ефективності та надійності.
6. Зварювальний інвертор: сучасний пристрій, особливості його конструкції та технічні вигоди.
7. Блок-схема зварювального інвертора: складові елементи, їхня роль та інтеграція в цілісній системі.

## Розділ 7

# ЕЛЕКТРОННО-ІОННІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Базове уявлення про електронно-іонні технології  
Використання електронно-іонних технологій при обробці  
сільськогосподарської продукції*

### 7.1 Основи теорії електронно-іонних технологій

*Електронно-іонні технології* належать до сучасних електротехнологій, у яких вирішальною є дія електростатичного поля високої напруженості на речовину у твердому, рідкому або газоподібному стані.

Основна мета застосування таких технологій полягає у зміні фізичних або хімічних властивостей речовини, що досягається за рахунок спрямованого перерозподілу її складових частин.

Функціонування установок, які реалізують електронно-іонні технології, ґрунтується на використанні низки фізичних явищ, зокрема:

- електрофорезу – процесу переміщення частинок, що перебувають у завислому стані в рідкому або газовому середовищі, під впливом електростатичного поля;
- електросепарації (або електростатичного збагачення) – відокремлення окремих компонентів зі складних сумішей за рахунок дії потужного електростатичного поля на електрично заряджену дисперговану суміш;
- електроосмосу – руху рідини крізь капіляри та пористі матеріали під впливом електростатичного поля. Ці явища забезпечують високий рівень ефективності та точності процесів, що робить електронно-іонні технології перспективними у багатьох галузях науки і промисловості.

У процесі описаних явищ, під впливом електростатичного поля, відбувається переміщення не окремих іонів, а мікрочастинок речовини, які сформовані з порівняно великої кількості молекул.

Для аналізу процесів, що мають місце у електронно-іонній установці, звернемося до рис. 7.1а. На цьому рисунку зображені

два коаксіальні електроди: коронувальний (позначений як 1) та осаджувальний (позначений як 2). Варто зазначити, що діаметр  $d$  коронувального електрода є істотно меншим за діаметр  $D$  осаджувального електрода.

Після підключення цих електродів до джерела живлення на постійному струмі у середовищі, наприклад, в повітрі, утворюється різко неоднорідне електростатичне поле між ними. Графік розподілу напруженості  $E$  електричного поля між електродами подано на рис. 7.1б.

Під впливом такого електростатичного поля відбувається спрямоване переміщення заряджених частинок, що присутні у повітряному проміжку між електродами. Це переміщення створює струм у замкненому електричному колі між джерелом енергії та електродами.

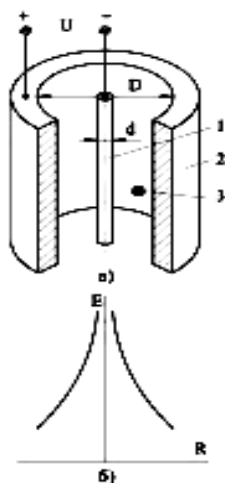


Рисунок 7.1 Принцип роботи електронної установки:

- а) структурна схема системи; б) графік, що демонструє розподіл напруженості електричного поля. На схемі позначені наступні елементи: 1 — коронувальний електрод; 2 — осаджувальний електрод; 3 — частинка твердого тіла.

Сила струму залежить від кількості заряджених частинок у повітряному середовищі, а також від величини напруги,

прикладеної до електродів. Зі збільшенням напруги сила струму також зростає. Оскільки повітря є діелектриком, при низьких значеннях напруги сила струму залишається невеликою. Однак при певному підвищенні напруги між електродами спостерігається явище коронного розряду — це частковий електричний пробій газового середовища між електродами.

Напруженість електричного поля біля коронуючого електрода, при якій у повітряному середовищі формується стійкий коронний розряд, позначена як початкова напруженість  $E_0$ , В/м і визначається за формулою:

$$E_0 = 30,3 \left( 1 + \frac{0,298}{\sqrt{\rho_0 \cdot r}} \right),$$

де  $r$  — це радіус коронувального електрода, вимірний у метрах, а  $\rho_0 = 3,86$  характеризує питому густину повітря.

Через значну неоднорідність електричного поля у міжелектродному проміжку формується дві зони з різними властивостями. Перша зона, що оточує коронувальний електрод, наповнена позитивно й негативно зарядженими іонами та електронами. Друга зона займає простір між коронувальним і осаджувальним електродами, де основну частину носіїв заряду становлять негативно заряджені іони, доповнені меншою кількістю негативно заряджених електронів.

Якщо в газовому просторі між електродами, в межах другої зони, помістити частку, наприклад тверду частинку у завислому стані, вона потрапить під вплив електростатичного поля. Унаслідок цього на поверхні частинки відбувається накопичення заряду негативного знака, спричинене осіданням іонів та електронів. Під впливом електричного поля така заряджена частинка починає рухатися у бік осаджувального електрода, який має позитивний потенціал

## 7.2 Електронно-іонні установки для сепарації зерна

Ключовим фактором отримання високих врожаїв є використання високоякісного посівного матеріалу. Застосування насіння низької якості істотно знижує урожайність і спричиняє

додаткове споживання зерна шляхом завищення норм висіву. У світовій практиці підготовка посівного матеріалу здійснюється спеціалізованими компаніями, які забезпечують доведення зерна до необхідних стандартів та його пакування на високотехнологічних заводах. Такі підприємства спеціалізуються на обробці і зберіганні високоякісного зерна, що належить до високо репродуктивних сортів.

Варто зазначити, що матеріало- та енергоємність цих комплексів, а також їх вартість перевищують аналогічні показники звичайних сепараторів на два порядки, хоча продуктивність заводів є лише приблизно вдвічі вищою.

Методи електросортування зерна базуються на властивості насіння накопичувати заряд залежно від його питомої ваги та хімічного складу, який, у свою чергу, визначається переважно ступенем зрілості зерна. Дослідження підтверджують, що зерно з вищою енергією та здатністю до проростання забезпечує вищу урожайність. Таким чином, при використанні якісного посівного матеріалу норма висіву може бути значно скорочена. Зерно, яке відбраковується під час електроочистки, без відповідної обробки могло б бути висіяне і втрачено, однак завдяки цьому процесу воно може знайти застосування в якості продовольчого або кормового ресурсу.

Критерієм для оцінки якості електросепарації безпосередньо після процесу є маса 1000 зернин. Багаторічні дослідження, проведені в ІМЕСГ, свідчать, що після електросепарації в електростатичному полі маса 1000 зернин збільшується на 4-7%. Водночас агрономічні дослідження показали, що зростання маси 1000 зернин позитивно впливає на врожайність. Наприклад, у випадку сорту пшениці Лютесценс із врожайністю 35,3 ц/га надбавка врожаю від кожного додаткового грама абсолютної маси 1000 зернин становить 1,08 ц/га.

Рівень заряду зерна здебільшого залежить від таких факторів, як діелектрична проникність, провідність, щільність, форма й розміри зернин. Із підвищенням густини та вологості зерна зростає й його діелектрична проникність. В основі процесу розділення зерна та домішок лежать їх фізичні властивості. Електричні сепаратори зерна мають переваги над

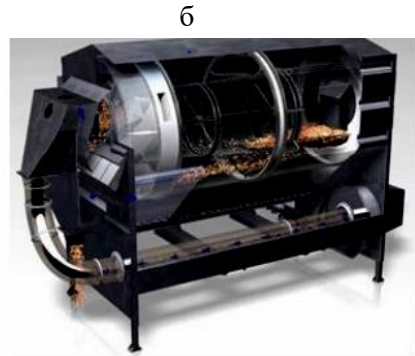
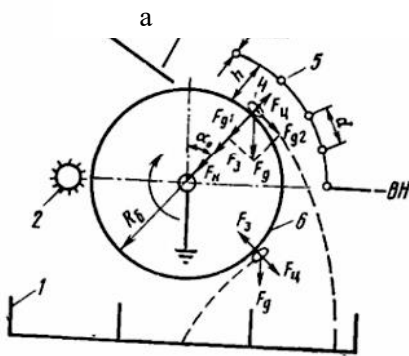
механічними зерноочисними машинами, оскільки забезпечують отримання насіння з кращими посівними характеристиками при знижених енерговитратах.

Електросепаратори зерна класифікують за методом заряджання частинок на електростатичні, електрокоронні та діелектричні, а також за конструктивним виконанням: камерні, барабанні, транспортерні та решітні.

Станом на сьогодні в технології сепарації зерна успішно застосовуються такі основні типи: електрокоронні сепаратори (з іонним заряджанням), електростатичні (із контактним або індукційним заряджанням), комбіновані системи (поєднання двох зазначених методів), а також діелектричні сепаратори.

Залежно від динаміки переміщення зерна в робочому просторі, електросепаратори поділяються на:

- ✓ модифікації з криволінійним транспортуючим електродом;
- ✓ з плоским транспортуючим електродом;
- ✓ сепаратори вільного падіння, що визначають особливості їх роботи.



✓  
Рисунок 7.6 – Коронний барабанний сепаратор  
а) схема сепаратора; б) загальний вигляд: 1 – класифікатор;  
2 – очищувальна щітка; 3 – завантажувальний бункер; 4 – зерно;  
5 – коронувальний електрод; 6 – барабан; сила тяжіння  $F_g$   
(нормальна  $F_{g1}$  і тангенціальна  $F_{g2}$ );  $F_c$  відцентрова сила;  
електричні сили  $F_k$ .

Таким чином, різноманіття типів електросепараторів дозволяє виконувати специфічні завдання у процесі очищення зерна, враховуючи властивості матеріалу та технічні параметри апаратів.

Барабанні сепаратори моделі ЕЗМ-Б-2 демонструють продуктивність до 2 тонн на годину при обробці вівса та до 3,5 тонн на годину під час очищення пшениці для насінневих потреб. Транспортуючі електроди обладнання можуть бути як стаціонарними, так і виконаними у вигляді транспортерів. Такі транспортери, у свою чергу, бувають горизонтальними або похилими, а також поділяються на решітчасті та трієрні.

### **? Контрольні питання**

1. Що таке електронно-іонні технології?
2. Робота електронно-іонних технологічних установок ґрунтується на...
3. Що таке електронно-іонні установки для сепарації зерна?
4. Критерієм оцінки якості електросепарації є...

## Розділ 8

# ОПТИЧНІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

### *Загальна інформація*

*Типи освітлення, що застосовуються у сфері сільського господарства*

*Основні принципи регулювання рівня освітленості*

*Вплив оптичного випромінювання на фізіологію рослин*

### **8.1 Загальна інформація**

Електричне освітлення відіграє надзвичайно важливу роль у різних сферах людської діяльності. Вітчизняна промисловість виробляє понад 2,5 мільярда одиниць ламп, що представлені у широкому асортименті для різноманітних цілей. У сільському господарстві освітлення споживає понад 15% загального обсягу використаної електроенергії. Ефективність освітлення, економія електричної енергії, а також оптимізація матеріальних і трудових ресурсів безпосередньо залежать від якості інженерних рішень, прийнятих на етапі проектування освітлювального та опромінювального обладнання. Правильно організоване електричне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню собівартості продукції, зниженню рівня травматизму, а також забезпечує комфортні умови праці й сприятливе середовище для відпочинку. Основними видами освітлення є робоче, аварійне, чергове та технологічне.

### **8.2 Властивості оптичного випромінювання**

Електромагнітні коливання з довжиною хвилі в діапазоні від 1 нм до 1 мм прийнято називати оптичним випромінюванням. Оптичне випромінювання, довжина хвиль якого становить від 380 до 760 нм, визначається як видиме, оскільки воно сприймається людським оком і викликає відчуття світла.

Під впливом видимого спектра випромінювання в організмі тварин спостерігається підвищення рівня гемоглобіну та кількості еритроцитів у крові. Також активізується робота

окислювальних ферментів, поліпшується обмін азоту і газів. Світлове випромінювання справляє значний вплив на функціонування ендокринної системи та центральну нервову систему.

Ісаак Ньютон розділив видиме світло на сім кольорів, які є такими:

- червоний;
- помаранчевий;
- жовтий;
- зелений;
- блакитний;
- індиго;
- фіолетовий.

Вибір саме числа сім ґрунтувався на переконанні, яке походить із філософії давньогрецьких софістів. Вони вважали, що існує певний зв'язок між кольорами, музичними нотами, космічними об'єктами Сонячної системи та днями тижня.

Людське око відносно слабо розрізняє частоти кольору індиго, що призводить до того, що деякі люди не можуть чітко відрізнити його від блакитного або фіолетового.

У зв'язку з цим після відкриттів Ньютона неодноразово пропонувалося розглядати індиго не як окремий колір, а лише як відтінок фіолетового або блакитного. Однак, у західній традиції індиго досі залишається включеним у спектр видимого світла.

Нижче наведено дані про спектр видимого випромінювання, структуровані в таблиці. Таблиця 8.1

Енергетичні параметри та одиниці вимірювання оптичного випромінювання:

- Світловий потік ( $\Phi$ ) – Вт (Вт);
- Сила випромінювання ( $I$ ) – Вт·ср<sup>-1</sup>;
- Енергетична опроміненість ( $E$ ) – Вт·м<sup>-2</sup>.

Основні фізичні величини та одиниці вимірювання, що характеризують видиме випромінювання, включають:

- світловий потік ( $\Phi$ ), виражений у люменах (лм);
- сила світла ( $I$ ), вимірювана в канделах (кд);
- освітленість ( $E$ ), представлена в люксах (лк);

- яскравість (В), оцінювана в канделах на стерадіан ( $\text{кд}\cdot\text{ср}^{-1}$ );
- світлова віддача ( $\eta$ ), визначена в люменах на ват ( $\text{лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ ).

Таблиця 8.1 – Спектр видимого випромінювання

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
Фіолетовий	380-440	790-680	2,82-3,26
Синій	440-485	680-620	2,56-2,82
Блакитний	485-500	620-600	2,48-2,56
Зелений	500-565	600-530	2,19-2,48
Жовтий	565-590	530-510	2,10-2,19
Помаранчевий	590-625	510-480	1,98-2,10
Червоний	625-740	480-400	1,68-1,98
Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
Фіолетовий	380-440	790-680	2,82-3,26
Синій	440-485	680-620	2,56-2,82
Блакитний	485-500	620-600	2,48-2,56
Зелений	500-565	600-530	2,19-2,48
Жовтий	565-590	530-510	2,10-2,19
Помаранчевий	590-625	510-480	1,98-2,10
Червоний	625-740	480-400	1,68-1,98

### 8.3 Види освітлення

Освітлення може бути різних типів, залежно від джерела світла:

- природне, яке створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом з небосхилу;

- штучне, що генерується електричними джерелами світла;
- комбіноване, яке поєднує недостатнє природне освітлення з додатковим штучним.

Природне освітлення поділяється на:

- бокове, яке забезпечується через вікна в зовнішніх стінах і може бути одностороннім або двостороннім;
- верхнє, реалізоване за допомогою ліхтарів чи отворів у дахах і перекриттях;
- комбіноване, що об'єднує верхнє та бокове освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним або комбінованим. Загальне освітлення передбачає розташування світильників у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою). Воно може бути рівномірним (світильники розподілені по приміщенню рівно) чи локалізованим (з урахуванням розташування робочих зон).

За своїм функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на: робоче; аварійне; евакуаційне; охоронне; чергове.

*Робоче освітлення* виконує важливу функцію забезпечення нормального виробничого процесу, пересування людей, транспорту і є обов'язковим елементом для всіх виробничих приміщень.

*Аварійне освітлення* призначається для забезпечення безперервної роботи у ситуаціях, коли відбувається раптове вимкнення основного освітлення. Така ситуація може спричинити збій у нормальному обслуговуванні обладнання, що створює ризик вибухів, пожеж чи отруєння людей.

*Евакуаційне освітлення* використовується для організації безпечної евакуації людей у разі аварійного знеструмлення робочого освітлення.

Його встановлюють:

- у місцях, де існує небезпека для проходу людей;
- у приміщеннях допоміжних будівель, де одночасно може перебувати понад 100 осіб;
- у проходах; - на сходових клітках.

*Охоронне освітлення* монтують по периметру території, яку контролює охорона в нічні години.

*Чергове освітлення* забезпечує мінімальне освітлення у

неробочий час, зазвичай використовуючи частину світильників інших систем штучного освітлення.

У сільськогосподарських приміщеннях передбачено встановлення як робочого, так і чергового освітлення.

*Робоче освітлення* виконує функцію забезпечення необхідного рівня яскравості для виконання технологічних процесів відповідно до встановлених нормативних вимог.

*Чергове освітлення*, своєю чергою, призначене для здійснення догляду за тваринами та птицею у нічний час. Для досягнення цієї мети близько 10% світильників (у родильному відділенні цей показник зростає до 15%) виділяється в окрему групу.

Світильники розміщуються рівномірно над основними технологічними проходами. Система чергового освітлення, а також освітлення входів до приміщення повинні інтегруватися в окремий контур електричної мережі. Це дає змогу запровадити централізоване управління такими освітлювальними

## **8.4 Загальні принципи нормування освітленості**

Вибір рівня освітленості здійснюється на основі нормативних документів СніП 11-4-79 "Природне і штучне освітлення. Норми проектування".

Під час проектування систем штучного освітлення в пташниках, приміщеннях для тваринництва та громадських будівлях дотримуються відповідних стандартів і нормативів.

У процесі експлуатації освітлювальних установок спостерігається зниження освітленості на робочих зонах. Це зумовлено такими факторами, як зменшення світлового потоку джерел світла через їхній ресурс, а також забрудненням арматури світильників.

Тому при проектуванні необхідно враховувати коефіцієнти запасу, які визначаються рівнем пилу, диму, інших забруднень, особливостями конструкції світильників, типом джерела світла та частотою їх очищення.

## 8.5 Фітобіологічна дія оптичного випромінювання

Енергія оптичного випромінювання здійснює значний вплив на організми, включаючи людей, тварин, рослини, мікроорганізми та інші біологічні об'єкти.

Можна виділити такі основні типи фітобіологічної дії:

*Світлова дія* – це форма впливу забезпечує зорове сприйняття людини, що дозволяє орієнтуватися у просторі.

*Фотосинтетична дія* пов'язана з процесом поглинання видимого та ультрафіолетового випромінювання рослинами, що є основою для біосинтезу органічних речовин.

*Фотоперіодична дія* характеризується впливом чергування та тривалості світлових і темнових фаз, що регулює біологічні ритми організмів.

*Терапевтична дія* – дозоване опромінювання (ультрафіолетове, інфрачервоне та видиме) позитивно впливає на організм людини, тварин і птахів, сприяючи поліпшенню обмінних процесів, підвищенню стійкості до захворювань та загальному зміцненню здоров'я.

*Бактерицидна дія* – забезпечує знищення патогенних мікроорганізмів завдяки впливу оптичного випромінювання.

*Мутагенна дія* тривалий вплив ультрафіолетового випромінювання на рослини і тварин може викликати генетичні зміни спадкового характеру, які зокрема використовуються у селекції для виведення нових сортів і порід.

### ? Контрольні питання

1. Правильно виконане електричне освітлення сприяє підвищенню
2. Робоче освітлення призначене для
3. Чергове освітлення використовується для
4. На які сім кольорів Ньютон розділив світло?
5. Які енергетичні величини і одиниці вимірювання оптичного випромінювання?

## Розділ 9

# ЗАСТОСУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ АГРОВИРОБНИЦТВА

### *Загальна інформація*

*Використання люмінесцентних ламп високого тиску*

*Світлодіодні джерела освітлення*

*Світлодіодні системи для освітлення приміщень у  
птахівництві*

*Освітлення приміщень у тваринництві*

*Освітлення відкритих територій для тваринництва*

*Світлові рішення у сфері рослинництва*

*Інфрачервоні та ультрафіолетові випромінювання у  
тваринництві та птахівництві*

*Основні аспекти освітлення*

*Потреба в регулюванні інтенсивності освітлення*

*Освітлення для індивідуальних робочих місць*

*Системи освітлення для спільних зон перебування людей*

*Обґрунтування заміни традиційних ламп розжарювання на  
сучасні світлодіодні системи*

## 9.1 Загальна інформація

*Використання оптичного випромінювання у технологічних процесах сільського господарства* має вагомий фотоелектричний, фотохімічний та біологічний вплив. Завдяки цьому такі технології широко застосовуються в аграрному виробництві для освітлення приміщень, опромінення рослин у теплицях, подовження світлового дня в пташниках тощо. Оптичні електротехнології знаходять активне застосування в різних галузях народного господарства. Зокрема, технології змінного світлового поля в біотехнічних системах є одним із перспективних напрямів підвищення енергоефективності та впровадження методів енергозбереження.

Вплив видимого випромінювання на організм тварин зумовлює позитивні зміни: зростає вміст гемоглобіну й еритроцитів у крові, збільшується активність окислювальних

ферментів, а також поліпшуються процеси азотного і газообміну. Світлове опромінення позитивно впливає на функціонування ендокринних залоз та центральної нервової системи.

*Тваринництво*, як одна з ключових галузей сільського господарства, займається розведенням сільськогосподарських тварин для отримання продукції тваринництва.

Природне світло сприяє покращенню фізіологічного стану тварин, підвищує їх природну резистентність до захворювань, покращує відтворювальну здатність і продуктивність.

Недостатня кількість світла, особливо у осінньо-зимовий період, суттєво знижує ефективність функціонування тваринницьких комплексів, що неминуче впливає на загальну продуктивність галузі.

Рішенням цієї проблеми є застосування штучного освітлення. Правильно спроектована система освітлення для тваринницького комплексу не лише забезпечує ефективну роботу підприємства в періоди скорочення світлового дня, але й сприяє поліпшенню продуктивності тварин протягом іншого часу року. Крім цього, якість освітлення безпосередньо впливає на комфорт і безпеку робочого середовища як для персоналу, так і для тварин.

При виборі світильників для тваринництва важливо враховувати галузеві особливості: вони мають бути захищені від впливу пилу, вологи і часто хімічно агресивних середовищ.

Використання світлодіодних світильників для освітлення таких комплексів дозволяє значно знижувати витрати на електроенергію, водночас відповідаючи всім необхідним нормативним вимогам.

Освітлення у свинарнику суттєво впливає на поведінку і продуктивність тварин. Тривале перебування під яскравим світлом може викликати у свиней роздратування та підвищену втому, тоді як зниження рівня освітленості сприяє їх більш спокійному стану, зменшуючи чутливість до зовнішніх подразників.

Сучасні технології управління освітленням дають можливість регулювати тривалість світлового дня в штучний спосіб, створюючи оптимальні умови для росту і

продуктивності тварин із урахуванням їх біологічних особливостей.

Ефективне освітлення у курниках та на інших підприємствах птахівничого сектору сприяє підвищенню несучості, прискоренню статевого дозрівання птиці, впливає на споживання і засвоєння кормів, а також визначає особливості фізіологічного розвитку тварин. Освітлювальні пристрої для курника мають бути стійкими до впливу пилу, вологи та хімічно активних середовищ.

Основними характеристиками освітлення, які впливають на життєдіяльність птиці, є рівень освітленості, зміна її параметрів, спектр випромінювання та тривалість світлового дня.

Для забезпечення можливості плавного включення освітлення й регулювання тривалості світлового дня норми освітлення підприємств птахівництва передбачають використання систем управління освітленням.

## **9.2 Застосування люмінесцентних ламп високого тиску**

Люмінесцентна (флуоресцентна) лампа є джерелом світла, в основі якого лежить газорозрядний процес. Її світловий потік формується переважно завдяки світінню люмінофорів, що активуються ультрафіолетовим випромінюванням, створеним електричним розрядом у парах ртуті. Цей тип ламп широко використовується для загального освітлення завдяки високій світловіддачі та тривалому терміну служби, які значно перевищують показники ламп із ниткою розжарювання аналогічного призначення.

Перша концепція для лампи денного світла була закладена Генріхом Гайслером у 1856 році, коли він отримав синювате світіння від трубки, наповненої газом і активованої соленоїдом.

Концептуальний розвиток продовжився на Всесвітній виставці в Чикаго 1893 року, де Томас Едісон вперше продемонстрував люмінесцентне світло. Уже в 1894 році М. Моор створив лампу на основі азоту та вуглекислого газу, яка

випромінювала рожево-біле світло, хоча її популярність була обмеженою.

У 1901 році Пітер Купер Г'юїт представив ртутну лампу з синьо-зеленим світінням, яка виявилася малопритатною для практичного використання через неприродний колір. Однак її конструкція була близька до сучасних стандартів і демонструвала значно вищу ефективність порівняно з попередніми версіями.

Вирішальний прорив стався у 1926 році, коли Едмунд Джермер зі своїми колегами запропонував збільшити тиск у колбах і покривати їх флуоресцентним порошком. Цей матеріал перетворював ультрафіолетове випромінювання від плазми на рівномірне біле світло. Джермер зараз визнається винахідником сучасної лампи денного світла.

Основними недоліками люмінесцентних ламп є труднощі з регулюванням рівня освітленості при їх використанні, нестабільність світлотехнічних характеристик під час експлуатації в умовах пташників, а також наявність у їх складі токсичних речовин. Це призводить до необхідності дотримання відповідних законодавчих норм, які визначають умови зберігання, експлуатації та утилізації відпрацьованих ламп.



Рисунок 9.1 – Люмінесцентна лампа типу ДРЛФ

При вирощуванні рослин у теплицях використовуються лампи типу ДРЛФ, які мають високу фітотвідачу потужністю 400 і 1000 Вт. Вони відрізняються від ламп ДРЛ складом люмінофора та наявністю під його шаром відбиваючого покриття з алюмінієвого напилення.

Колби таких ламп виготовляють із термостійкого скла, яке не пошкоджується навіть при потраплянні крапель води на їх

поверхню. Ефективність цих ламп становить  $90 \text{ мфт} \cdot \text{Вт}^{-1}$ .

Окрім ламп ДРЛФ, для використання в рослинництві також випускають лампи ДРВ 750. Вони обладнані вмонтованим баластом у вигляді вольфрамкової спіралі, розташованої всередині колби. Потужності цих ламп також становлять 400 і 1000 Вт.

### 9.3 Світлодіодне освітлення

Перший світлодіод, що функціонував у видимому спектрі, був розроблений у 1962 році командою на чолі з Ніком Голоняком, американським професором русинського походження, якого часто називають «батьком світлодіодів». Ця подія відбулася у компанії General Electric. На той час світлодіоди мали низьку потужність і випромінювали світло лише на нижчих червоних частотах спектра.

Поява синіх та високоефективних світлодіодів стала значним проривом, що дозволило створити перший «білий» світлодіод. У ньому застосовували люмінофорне покриття, яке частково перетворювало синє світло на зелені й червоні частоти, формуючи світловий потік, який візуально сприймається як білий.

Останнім часом світлодіодні лампи набувають все більшої популярності та широкого застосування. Вони дозволяють скоротити споживання електроенергії до 85% у порівнянні з лампами розжарювання і до 50% у порівнянні з люмінесцентними лампами. Крім того, термін їх експлуатації значно довший.

Серед переваг світлодіодного освітлення також варто виділити можливість регулювання рівня освітленості від нуля до максимальної потужності, отримання світла будь-якого спектра, відсутність токсичних компонентів у складі, а також високу стійкість до зовнішніх негативних впливів. На рисунку 2.2 продемонстровано конструкцію блоку живлення для світлодіодної лампи.

Однією з додаткових переваг цих ламп є їх здатність

забезпечувати рівень освітленості, який дорівнює або перевищує показники інших типів ламп, при цьому характеризуючись значно більшою рівномірністю і мінімальною наявністю зон затінення.



Рисунок 9.2 – Компоненти світлодіодної лампи потужністю 1000 люменів.

Окрім цього, дані лампи повністю виключають ефект мерехтіння, що робить їх більш комфортними для використання. Згідно з оцінками більшості експертів, вони вважаються на сьогодні одними з найбільш перспективних джерел освітлення.

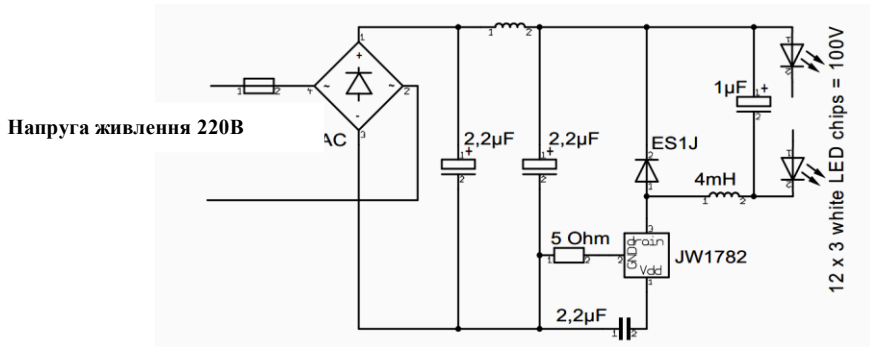


Рисунок 9.3 – Схема живлення світлодіодної лампи

### 9.3.1 Світлодіодне освітлення птахівницьких приміщень

Світлодіодні лампи дозволяють оптимізувати контроль над поведінкою та розвитком птиці, забезпечуючи сприятливі умови для її утримання. Використання червоного світла сприяє зниженню рівня агресії та випадків канібалізму у несучок і племінної птиці, тоді як зелене і блакитне світло позитивно впливають на прирости живої маси у м'ясних видів птиці.

Зазвичай, зелене світло рекомендується застосовувати на ранніх стадіях відгодівлі, а блакитне використовується на пізніх етапах для зменшення надмірної активності птиці.

Інститут птахівництва НААН у співпраці з ТОВ «ТРВК Око» розробив систему світлодіодного освітлення, яка адаптована спеціально для птахівницьких і тваринницьких приміщень. До складу цієї системи входять модулі освітлення з мультиколірними світлодіодами, інтерактивний блок автоматизованого управління, програмне забезпечення та низка додаткового обладнання.

Проведені експериментальні дослідження системи у пташнику для утримання індиків продемонстрували її високий рівень надійності. Система успішно функціонує у широкому діапазоні температур і вологості повітря, а також витримує вплив високого рівня пилу та агресивних газів, характерних для таких умов.

У порівнянні з традиційним освітленням за допомогою ламп розжарювання, розроблена система світлодіодного освітлення дозволила зменшити витрати електроенергії для пташників у 8,2 рази, а у порівнянні з люмінесцентними лампами – у 2,7 рази. Також було відзначено позитивний вплив світлодіодного освітлення на продуктивні характеристики індиків.

Результати досліджень, проведених у Великій Британії та Сполучених Штатах Америки, свідчать про ефективність використання світлодіодних ламп при утриманні курей-несучок. Зокрема, було виявлено, що їх застосування сприяє зниженню рівня канібалізму та підвищенню несучості.

Під час вирощування молодняка такі лампи забезпечували підвищення збереженості птиці на 0,5% і збільшення її живої маси на 4–8%. Крім того, було досягнуто скорочення питомих витрат кормів і підвищення маси птиці, незалежно від умов вирощування. Витрати електроенергії на освітлення при цьому знижувалися у 8–12 разів.

Нині ТОВ ТРВК «Око» (м. Харків) спільно із науковцями ХНТУСГ ім. П. Василенка та Інституту тваринництва НААН розроблено першу вітчизняну систему світлодіодного освітлення, спеціально адаптовану для потреб птахівницьких

КОМПЛЕКСІВ.



Рисунок 9.4 Розташування світильників у системі кліткового утримання курей.

Система освітлення включає світлодіодні світильники, здатні випромінювати світло будь-якого спектру завдяки використанню однакових світлодіодів, що відрізняє їх від традиційних систем. Світильники працюють від напруги 12 В. Вони мають високий рівень захисту від зовнішніх факторів, таких як волога, пил чи агресивні гази, та допускають миття автоматичними мийними машинами типу «Керхер», навіть без необхідності вимикання живлення.

Інтерактивний блок управління освітлювальними модулями забезпечує живлення світильників напругою 12 В та дозволяє регулювати рівень освітленості в діапазоні від 0% до 100% номінальної потужності. Крім того, він підтримує функцію вмикання і вимикання світильників у режимі «світанок-сутінки». Для більш складного управління системою освітлення передбачений спеціальний блок управління, який працює за програмами, створеними за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для персонального комп'ютера.

### **9.3.2 Освітлення тваринницьких приміщень**

Тваринництво є важливою галуззю сільського господарства, яка займається розведенням сільськогосподарських тварин для отримання продукції.

Світло відіграє ключову роль у підтримці здоров'я та продуктивності тварин. Завдяки впливу природного освітлення покращується фізіологічний стан, зростає природна резистентність організму, а також підвищуються відтворні здібності й ефективність тварин.

Особливо гострою проблема недостатнього освітлення стає в осінньо-зимовий період, що неминуче негативно впливає на функціонування тваринницьких комплексів.

Оптимальним рішенням у таких умовах є застосування штучного освітлення. Правильно організована система штучного освітлення не лише допомагає компенсувати скорочення світлового дня, але й створює умови для підвищення продуктивності тварин протягом усього року.

Освітлення тваринницьких ферм за допомогою сучасних джерел світла, зокрема LED-ламп різної потужності, світильників та прожекторів, має низку суттєвих переваг у порівнянні з традиційними системами, які використовують лампи розжарювання або люмінесцентні джерела світла. До основних переваг належать:

- Відсутність ефекту мерехтіння, що сприяє підвищенню комфорту та зменшенню стресу у тварин.
- Висока стійкість до вібрацій і механічних пошкоджень, що є важливим у середовищах з активним рухом і можливою уривчастістю умов експлуатації.
- Екологічна безпечність світлових приладів, що знижує ризик шкідливого впливу на навколишнє середовище.
- Низьковольтні системи живлення забезпечують електробезпеку для персоналу, що працює на фермі.
- Стабільність світлового потоку LED-світильників у процесі тривалої експлуатації гарантує надійність освітлення.
- Можливість багаторазового увімкнення та вимкнення без значного впливу на довговічність світильників.
- Опція оснащення світильників аварійним блоком живлення без додаткових витрат на створення резервної системи освітлення.
- Енергоефективність LED-ламп дозволяє знизити витрати на електроенергію на 30–50%.

На рисунку 9.5 представлено приклад освітленої

світлодіодними лампами тваринницької ферми.



Рисунок 9.5 Тваринницька ферма, оснащена сучасним освітленням за допомогою LED-світильників.

### **9.3.3 Освітлення тваринницьких угідь**

Освітлення тваринницьких угідь відіграє ключову роль у забезпеченні добробуту та продуктивності тварин. Грамотно організоване освітлення здатне позитивно впливати на їхнє здоров'я, поведінку та виробничі показники.

Основною проблемою є те, що утримання тварин у закритих приміщеннях майже повністю позбавляє їх доступу до природного денного світла. Це світло надзвичайно важливе для засвоєння поживних речовин, нормального росту, гармонійного розвитку й репродуктивної функції.

У сільській місцевості тварини мають більше можливостей для вигулу, тоді як приватні фермери зазвичай обмежуються встановленням кількох прожекторів у корівниках, світло яких лише частково імітує сонячне випромінювання. Хоч це певною мірою вирішує проблему, проте подібний підхід все ж недостатній. Організмам потрібні вітаміни А і D для нормального росту і функціонування, а їх синтез безпосередньо залежить від кількості ультрафіолетового випромінювання, яке потрапляє на шкіру.

Недостатність освітлення негативно впливає на розвиток

тварин, що призводить до зменшення надоїв, народжуваності, виробництва м'яса, яєць тощо. Крім того, погіршується і якість продукції, що є неприпустимим.

За даними сучасної науки, для оптимального росту та розвитку тварин необхідно забезпечити їх освітлення протягом щонайменше 16 годин на добу, а краще — 18 годин, частково використовуючи природне освітлення під час прогулянок. Якщо правильно підібраний раціон відповідає за наповнення організму поживними речовинами, то якісне освітлення сприяє їхній ефективній засвоюваності. Сьогодні у кожного годувального місця часто встановлюють світильники спрямованого світла, які мають високу яскравість.

Вважається, що це допомагає насичувати тканини фосфором та кальцієм, необхідними для росту кісток і м'язів — основних аспектів, які очікують від тварин, вирощуваних на забій. Важливою перевагою світлодіодів для сільськогосподарського використання є їхня здатність до регулювання. Світильники оснащуються спеціальними датчиками, що контролюють рівень освітленості та дозволяють коригувати світлову картину відповідно до потреб.

Використовуючи такі системи спільно з регуляторами яскравості (диммерами), можна створювати чітке розмежування між штучним «днем» і «ніччю», а також автоматизувати багато пов'язаних процесів для покращення умов утримання тварин.

#### **9.3.4 Освітлення та рослинництво**

Проблематика ефективності процесу опромінення рослин, тобто оптимізації впливу світлової енергії на їхній розвиток, має вагомим практичне значення.

Це завдання потребує поглибленого розуміння закономірностей, що характеризують взаємодію світла і живих організмів. Іншими словами, необхідно ідентифікувати рослини як специфічні об'єкти світлового впливу.

Зі шкільного курсу біології відомо, що світло є одним із ключових факторів, без якого переважна більшість рослин не може розвиватися.

У сучасних умовах значну увагу привертає використання

світлодіодів (LED). Ці джерела світла здатні не лише забезпечити необхідну довжину хвилі для оптимального розвитку рослин, а й запропонувати раціональніший підхід, порівняно із звичайною інтенсивною освітленістю у теплицях та оранжереях.

Практика показує, що саме застосування LED-елементів є основою підвищення ефективності вирощування рослин, особливо у комерційному масштабі.

Замінюючи традиційні верхні джерела світла, на нижній частині ярусу, розташованого вище, встановлюють лінійні світильники для освітлення ярусу, що знаходиться під ним.

Такий підхід дозволяє більш ефективно використовувати площу теплиці, зменшуючи потребу в оренді додаткових земель для вирощування тієї ж кількості продукції.

Завдяки цьому досягається економія прямих витрат на виробництво.

Для забезпечення таких результатів необхідно мінімізувати вплив несприятливих факторів, до яких належать насамперед шкідники й гризуни.

Отже, комплексний підхід до організації освітлення й захисту рослин відкриває нові перспективи для ефективного агропромислового виробництва.

Рослини в таких умовах освітлюються не стандартні 8–12 годин на добу, а 18–20 годин, або ж світло може не вимикатися зовсім, якщо життєвий цикл культури це дозволяє. Завдяки тому, що в теплицях практично відсутня ніч, багато комах і гризунів втрачають можливість харчуватися під її покровом. Це сприяє вирощуванню більш екологічно чистої продукції без застосування хімікатів та токсичних речовин.

З технічної точки зору організація освітлення для рослин є нескладним завданням. У більшості випадків достатньо комбінувати просте верхнє освітлення із локальним, спрямованим безпосередньо на кожну окрему рослину.

Для квітів і низькорослих кущів зазвичай використовують світильники на прищіпках, які є легкими, мобільними, зручними у налаштуванні та легко підлаштовуються під ріст культури.



Рисунок 9.6 Різновиди світильників, що використовуються в приміщеннях для утримання тварин.

а – світильники, оснащені лампами розжарювання; б – моделі з люмінесцентними лампами; в – світильники, укомплектовані світлодіодними елементами.

У разі вирощування кущів або дерев більших розмірів доцільним є використання потужних освітлювальних приладів, що здатні забезпечити освітлення значної площі. Застосування таких ламп не спричиняє значних труднощів. У випадку великих теплиць із гетерогенною продукцією рекомендовано використовувати зовнішні моделі світильників, встановлені на підвісах. Такі прилади відзначаються вищою стійкістю, тривалішим терміном служби та кращим рівнем захисту порівняно з іншими варіантами, навіть якщо вони мають схоже маркування.



Рисунок 9.7 – Освітлення теплиці

## **9.4 Інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання у тваринництві та птахівництві**

Інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання знаходять широке застосування у сфері тваринництва та птахівництва, зокрема для локального обігріву молодняку та птиці, а також для знезараження повітря і кормів. У сучасній практиці впроваджують системи локального інфрачервоного обігріву у поєднанні із ультрафіолетовим опроміненням, що суттєво підвищує ефективність таких заходів.

Дезінфекція приміщень для утримання тварин за рахунок використання бактерицидного випромінювання забезпечує ліквідацію патогенної мікрофлори та є екологічно безпечним методом. Для реалізації цих процесів у тваринницьких приміщеннях застосовують дзеркальні інфрачервоні лампи розжарювання (ТУ16. ИФМР.675000.006 ТУ-87), які використовуються разом із опромінювальними установками, що працюють при номінальній напрузі 220 В і частоті 50 Гц.

Лампи типу ИКЗ мають потужність 250 або 500 Вт із гарантованим терміном експлуатації не менше 6000 годин. Інфрачервоні лінійні випромінювачі ЛИКИ-220-300 (ТУ11.17МО.304-001 ТУ-85) застосовуються у спеціалізованих опромінювальних установках для створення інтенсивного променевого потоку в інфрачервоному діапазоні спектра. Ультрафіолетове випромінювання забезпечується ртутними бактерицидними лампами (ТУ 16.535.273-75), хвильова довжина яких становить 253,7 нм. Ці лампи живляться від електромереж змінного струму із частотою 50 Гц і випускаються з номінальною потужністю 15, 30 або 60 Вт.

Ультрафіолетове випромінювання є важливою складовою сонячного спектра. Під його впливом в організмі тварин відбувається низка фізіологічних змін, зокрема інтенсифікація обміну азоту, фосфору, кальцію, ліпідів і цукрів, а також підвищення активності окислювально-відновних процесів.

Ультрафіолетове опромінення відіграє ключову роль у профілактиці таких захворювань, як рахіт, остеомаляція та інші патології, що виникають через порушення обміну кальцію і

фосфору в організмі.



Рисунок 9.8 –Випромінювач ЛИКИ-220-300.

Помірна дія ультрафіолетового опромінення сприяє підвищенню природної резистентності організму і продуктивності тварин. Цей вид радіації є потужним адаптогеном, який активно застосовується у практиці тваринництва для забезпечення здоров'я та покращення продуктивних показників сільськогосподарських тварин і птиці.



Рисунок 9.9 – Інфрачервоне випромінювання

Утім, ультрафіолетова радіація має не лише загальнобіологічний вплив на всі системи й органи організму, але й специфічну дію залежно від певного діапазону довжин

хвиль.

Зокрема, короткохвильова ультрафіолетова радіація у діапазоні 275–180 нм (відомий як спектральна область С) виявляє шкідливий вплив на біологічні тканини. Для створення оптимальних мікрокліматичних умов, особливо у випадку догляду за новонародженими тваринами, застосовують спеціальні опромінювальні установки.

Ці пристрої поєднують джерела різного типу випромінювання: лампи видимого світла, інфрачервоного та ультрафіолетового спектрів. Завдяки цьому забезпечується комплексний підхід до підтримання фізіологічного стану тварин і підвищення їхньої життєздатності.

## **9.5 Необхідність в регулюванні інтенсивності освітлення**

Якість та рівень освітленості відіграють суттєву роль у формуванні здоров'я людини, її стресостійкості, а також здатності долати фізичні та інтелектуальні навантаження. До певної міри ці фактори впливають і на представників тваринного світу.

Для регулювання характеристик освітлення було розроблено спеціальні нормативи, які охоплюють наступні показники:

- рівень освітленості, вимірюваний у люксах;
- індекс передачі кольору (Ra), що характеризує відповідність кольорових відтінків при штучному освітленні;
- коефіцієнт пульсації (Кп), який визначає стабільність світлового потоку.

Зазначені нормативи не є обмежувальними, і в окремих обставинах може бути рекомендовано їх підвищення для забезпечення оптимальних умов.

На сучасних виробничих і офісних об'єктах використовуються три основні типи освітлювальних ламп: люмінесцентні, лампи розжарювання та світлодіодні.

Кожен із зазначених видів має свої переваги та недоліки. Лампи розжарювання вирізняються широким спектром випромінювання, який найближче нагадує природне світло.

Завдяки цій властивості, вони найбільш відповідають санітарним нормам щодо показників освітленості.

Через низьку енергоефективність такі лампи стають дедалі менш популярними. Особливо важливо врахувати питання організації освітлення робочих місць на сільськогосподарських виробничих об'єктах. Це стосується, насамперед, працівників, таких як економісти, бухгалтери, агрономи, ветеринари, керівники ферм, вчителі тощо.

Сучасна людина звикла контролювати інтенсивність освітлення: робити його менш яскравим у вечірній час, локально підсвічувати певні предмети або зони приміщення, зокрема ті, де розташовані робочі місця. Регулювання яскравості світлового потоку дозволяє зменшити витрати електроенергії, особливо якщо йдеться про потужних споживачів.

Завдяки знанню правил і алгоритмів регулювання інтенсивності світла можна запровадити автоматизоване або дистанційне управління, що є надзвичайно зручним. Однак у деяких пристроях просте зменшення струму шляхом підвищення опору може бути неприйнятним, оскільки це впливає на зміну спектру білого кольору. Найпоширенішою ситуацією, коли потрібен пристрій для регулювання яскравості (димер), є використання світлодіодів для робочого освітлення.

Термін "димер" походить від англійського слова dim, що означає "затемнювати". Димер створений для плавного регулювання інтенсивності світлової енергії ламп і у більшості випадків слугує приладом для управління рівнем освітленості.

Диміруванням називають процес регулювання яскравості світлового освітлення. Завдяки димеру можна налаштувати освітлення таким чином, щоб воно максимально відповідало потребам та забезпечувало комфорт у різних ситуаціях. Залежно від способу управління, димери поділяються на механічні, електронні, дистанційні та акустичні. У цій роботі основну увагу приділено саме димерам для світлодіодних джерел світла, оскільки ці лампи вважаються найбільш сучасними та ефективними.

Найпростіші моделі димерів виконують лише одну функцію – регулюють інтенсивність світла. Водночас більш сучасні димери мають розширений функціонал і здатні

виконувати такі завдання, як:

- управління освітленням дистанційним способом (за допомогою голосових команд, сприйняття звуків чи через інфрачервоний канал);
- автоматичне увімкнення й вимкнення освітлення в заданий час;
- виконання програмованих сценаріїв роботи освітлення;
- імітація присутності у приміщенні тощо.

Димірування світлодіодних ламп дозволяє значно знизити споживання енергії. Автоматичні димери забезпечують плавне й безперервне регулювання рівня яскравості, а також уникають надмірного навантаження на очі під час швидкого вмикання або вимикання світла. Користувачі можуть самостійно керувати яскравістю освітлення без необхідності додаткових знань чи спеціальних вмінь.

### **9.5.1 Освітлення індивідуального робочого місця**

Для підвищення комфорту та покращення видимості на робочому місці (рис. 9.10) доцільно використовувати настільну лампу як додаткове джерело освітлення. Бажано обрати модель із регулятором інтенсивності світла, що дозволить спрямовувати освітлення безпосередньо на об'єкти, розташовані на столі.



Рисунок 9.9 – Індивідуальне робоче місце

Постає потреба визначити оптимальний тип світильника для створення індивідуального настільного освітлення робочої

зони. У процесі переходу від природного до штучного освітлення (як у нашому випадку) для полегшення адаптації зору рекомендовано використовувати світильники із лампами розжарювання, відповідно до рекомендацій лікаря-офтальмолога.

Зокрема, доцільним є застосування димера з ручним керуванням, вбудованого безпосередньо в конструкцію настільної лампи. На рисунку 9.10 представлено схематичну принципову електричну схему димера з регульованим керуванням.

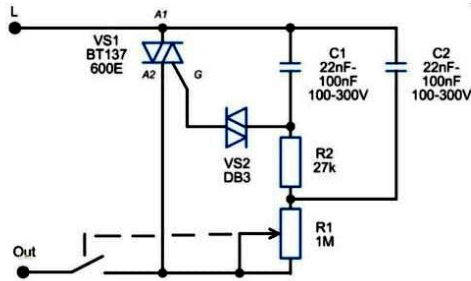


Рисунок 9.10 – Електрична схема димера з ручним керуванням

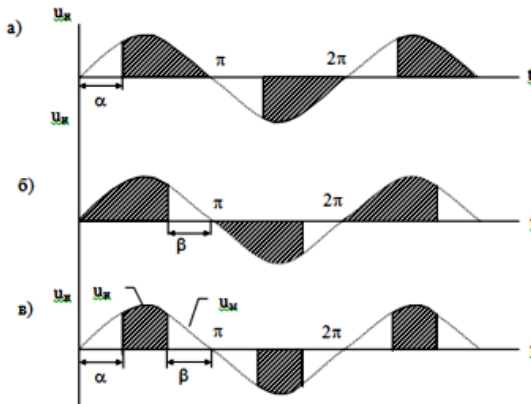


Рисунок 9.11 Епюра роботи фазового димера (процес формування робочої напруги на виході димера).

На рисунку 9.12 показано сучаснішу та вдосконалену схему регулювання яскравості, виконану на інтегральній основі. Її ключовим елементом є мікросхема КР1182ПМ1, яка використовується як фазовий регулятор потужності.

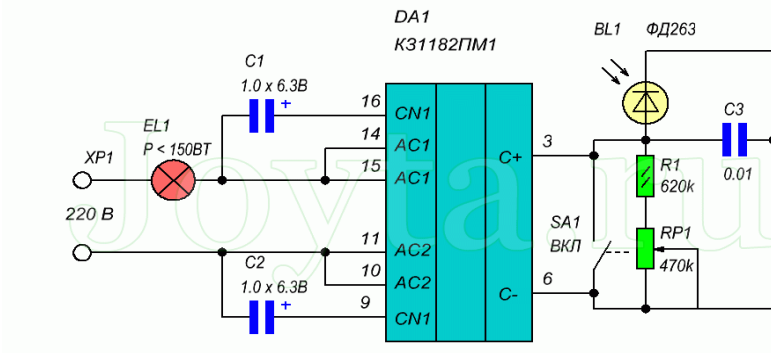


Рисунок 9.12 Електрична схема, що демонструє функціонування регулятора яскравості освітлювальних джерел.

При освітленні фотодіода його опір знижується, що призводить до шунтування ланцюга, утвореного резисторами R1 і RP1, внаслідок чого зменшується потужність, а відповідно і яскравість. У якості датчиків, які формують сигнали для роботи димера, можуть використовуватися фоторезистори, фотодіоди та фототранзистори.

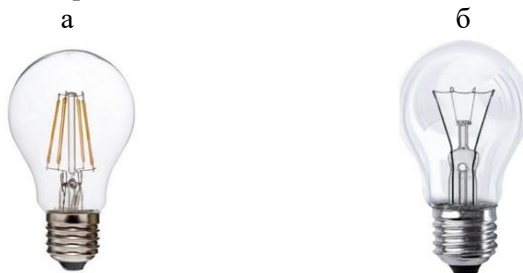


Рисунок 9.13 – Джерела світової енергії:  
а – філаментна лампа; б – лампа розжарювання

Можна також використовувати філаментні лампи, які є

своєрідним типом світлодіодних ламп. Зовні вони дуже схожі на звичайні лампи розжарювання (рис. 9.14,а), але всередині замість вольфрамової нитки знаходяться спеціальні світлодіоди, конструкція яких нагадує нитки розжарювання. Завдяки цьому їх і назвали "filament".

Філаментна лампа значно перевершує лампу розжарювання та є ефективнішою за стандартні світлодіодні лампи. Цей вид освітлення ідеально підходить для використання в будинках, магазинах, кафе, офісах, а також для зовнішнього освітлення, зокрема вулиць.

### **9.5.2 Освітлення групових місць перебування людей**

Для освітлення сільських клубів, бібліотек, медичних амбулаторій та інших об'єктів доцільним є використання світлодіодних світильників. У таких пристроях застосовуються світлодіодні зборки, які можуть функціонувати в поєднанні з автоматичними регуляторами яскравості, забезпечуючи ефективне управління освітленням.

З погляду функціональної здатності, світлодіод може бути лише в одному з двох станів — або випромінювати світло, або залишатися неактивним. Однак існує методика, яка дозволяє регулювати яскравість світла не лише шляхом подання звичайної постійної напруги, а застосовуючи напругу у формі імпульсів із різною тривалістю.

Цей підхід відомий під назвою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Основний принцип ШІМ полягає в регулюванні яскравості через зміну коефіцієнта заповнення імпульсів струму. Формування тривалості високочастотних імпульсів відбувається відповідно до закону, який задається низькочастотним імпульсом.

У цьому процесі струм подається на світлодіод у вигляді імпульсів, які мають лише два можливі стани: нульове значення або номінальну величину, що є оптимальною для роботи світлодіода. Таким чином, світлодіод почергово вмикається і вимикається. Під час тривалого активного стану створюється враження більшої яскравості випромінювання лампи, тоді як коротші періоди активності призводять до зменшення яскравості. Саме це явище ілюструє основний принцип роботи

широкоімпульсною модуляції.

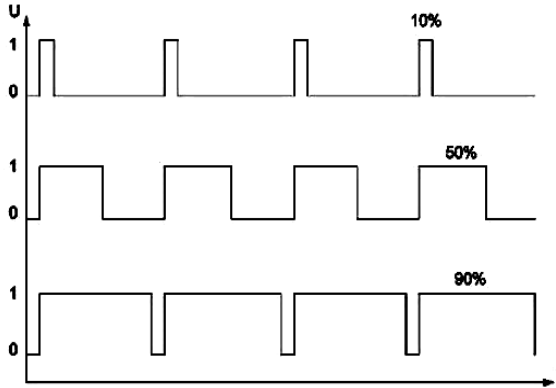


Рисунок 9.14 – Принцип роботи ШІМ

Увімкнення і вимкнення струму через світлодіод здійснюється з досить високою частотою, яка, враховуючи фізіологічні особливості людського зору, повинна бути не меншою за 200 Гц. Інакше може виникати ефект мерехтіння. Середній струм через світлодіод у цьому випадку стає пропорційним коефіцієнту заповнення імпульсів і визначається за формулою:

$$I_{DIM-LED} = K_{DIM} \times I_{LED}, \quad (9.2)$$

$I_{DIM-LED}$  – представляє середній струм через світлодіод,  $K_{DIM}$  – коефіцієнт заповнення імпульсів ШІМ, а  $I_{LED}$  – позначає номінальний струм світлодіода, який задається вибором величини опору.

Колірна температура визначає колір випромінювання світлодіода і зазначається у технічній документації. Вона характеризується діапазоном значень, який може змінюватися залежно від величини прямого струму, температури переходу та з часом через старіння пристрою. Чим нижчою є колірна температура світлодіода, тим ближче його випромінювання до червоно-жовтого відтінку, який називають «теплим». Вищі значення колірної температури відповідають блакитно-зеленим

відтінкам, які називають «холодними».

Для кольорових світлодіодів замість колірної температури часто вказують домінуючу довжину хвилі, яка також може змінюватися аналогічно до колірної температури. У багатьох сучасних драйверах світлодіодів передбачений спеціальний вхід DIM, що дозволяє подавати імпульси ШІМ у широкому діапазоні частот і амплітуд.

Такий вхід забезпечує простий спосіб взаємодії з зовнішніми логічними схемами, дозволяючи миттєво вмикати чи вимикати вихід перетворювача без жодних затримок для повторного запуску драйвера, не впливаючи при цьому на роботу інших елементів мікросхеми. Завдяки висновкам для керування виходом і використанню допоміжної логіки можливо реалізувати цілу низку додаткових функцій.

## **9.6 Основні вимоги до можливості енергозбереження в системах освітлення**

До основних вимог належать:

Максимальне використання природного освітлення, що дозволяє заощадити до 50 % електроенергії в громадських будівлях.

Використання електронних високочастотних баластів у люмінесцентних системах освітлення, які дають змогу зменшити споживання електроенергії на 30 %.

Встановлення автоматичних вимикачів освітлення з налаштуванням за параметрами, такими як:

- рівень природного освітлення; - кількість людей у приміщенні;

- час доби тощо (економія складає 10-40 %). Застосування вимикачів для зонного керування кількома джерелами світла.

Регулярне очищення вікон у виробничих будівлях і приміщеннях (не менше двох разів на рік), що дозволяє зменшити тривалість роботи ламп при двозмінному графіку на 15 % у зимовий період та на 50-70 % влітку.

Для підвищення ефективності використання природного та штучного освітлення приміщення доцільно фарбувати в світлі

відтінки. Це сприяє економії електроенергії на 5-10%.

Слід своєчасно замінювати стартери у люмінесцентних лампах. Під час роботи з несправними контактами стартера (коли видно лише слабе світіння на кінцях ламп) втрати потужності можуть зростати у 2,5 рази.

Можлива економія також досягається шляхом зниження рівня напруги на 10-15% від номінального значення, залежно від типу ламп, яка може становити до 13-53%. Однак ця рекомендація має обмежене застосування.

Використання комбінованого освітлення (загального та локалізованого разом) замість виключно загального освітлення дозволяє знизити споживання електроенергії.

### **9.6.1 Обґрунтування доцільності заміни ламп розжарювання на світлодіодні**

Точність розрахунків освітлення значною мірою залежить від складності задачі, однак у більшості випадків доцільно застосовувати метод розрахунку освітлення за коефіцієнтом використання світлового потоку, описаний нижче.

Варто зазначити, що на кількість світильників впливає не лише інтенсивність світлового потоку, який випромінюється цими приладами, але й характер розподілу випромінюваного світла.

Розглянемо приклад розрахунку необхідної інтенсивності освітлення для робочих місць та кількості світлодіодних ламп, що забезпечать належне освітлення приміщення площею 48 м<sup>2</sup>.

Задана висота стелі становить 3,5 метра. Для рівномірного розподілу світлового потоку було встановлено 12 джерел світла у вигляді плафонів грушоподібної форми.

Кожен плафон оснащено лампами розжарювання потужністю 100 Вт, що в сукупності забезпечує загальну потужність освітлювальних приладів у приміщенні на рівні 1200 Вт (1,2 кВт).

Світловий потік однієї лампи розжарювання з потужністю 100 Вт становить приблизно 1350 люменів. Для організації

освітлення плафони були розміщені на стелі у вигляді матриці: чотири ряди по три світильники в кожному ряду. Відстань від поверхні стелі до підвіски плафонів складає 0,5 метра, що є важливим параметром для подальших розрахунків. Враховуючи висоту приміщення та відстань підвіски, коефіцієнт поправки становить 1,2.

Для спрощення розрахунків рівня освітленості використовується одиниця вимірювання люкс (лк), що визначається окремо для кожного приміщення. Для додаткової зручності ці дані систематизовано та подано в Додатку А. Згідно з чинними нормативами, стандартний рівень освітленості встановлено на рівні 400 лк.

Загальна інтенсивність джерел світла повинна бути розрахована як добуток трьох основних параметрів, а саме:

1. Нормативного рівня освітленості, зазначеного для конкретного типу приміщення;
2. Площі та об'єму приміщення;
3. Коригувального коефіцієнта, що залежить від висоти стелі відносно рівня підлоги.

$$\Phi = E \cdot S \cdot K_n, \quad (9.2)$$

Де  $E$  представляє значення освітленості на 1 м<sup>2</sup> приміщення, яке складає 400 Лк;  $S$  визначає загальну площу приміщення, що дорівнює 48 м<sup>2</sup>;  $K_n$  є коефіцієнтом поправки, який враховує висоту стелі і має значення 1,2.

У цьому випадку:

$$\Phi = 400 \cdot 48 \cdot 1,2 = 23400 \text{ Лм.}$$

Для досягнення необхідного рівня освітлення потрібно джерело світла, здатне забезпечити світловий потік у розмірі 23400 люмен. Відповідно, кожен окремий світильник має генерувати світловий потік ( $\Phi_c$ ), який буде визначатися в залежності від кількості світильників, з урахуванням рівномірного розподілу загального потоку.

$$\Phi_c = \Phi / n_{св.} = 23400 / 12 = 1950 \text{ Лл.}$$

Цей світловий потік забезпечується світлодіодною лампою Maxus LED 1-LED-5610 A80 20W 4100K 220V E27. Для досягнення потрібного результату знадобиться 12 штук таких ламп.

Технічні характеристики моделі LED-5610 A80 20W наведені в таблиці 9.1. Загальна споживана потужність складе 240 Вт, тоді як при використанні ламп розжарювання ця величина становила б 1200 Вт.

Таким чином, можна розрахувати коефіцієнт ефективності ( $K_e$ ):

$$K_e = P_{л.р.} / P_{LED} = 1200/240 = 5. \quad (9.3)$$

Даний коефіцієнт ефективності вказує на рівень енергозбереження при використанні невідновлюваних джерел енергії.

Таблиця 9.1 – Технічні характеристики LED-5610 A80 20W

Країна виробник	Китай
Напруга	220В
Температура світла	4100 К
Тип	LED-лампа (світлодіодна)
Тип цоколя	E27
Виробник	Maxus
Висота	15,3 см
Світловий потік	1900 лм

Водночас доцільним є заміна застарілих світильників на сучасні світлодіодні панелі моделі 36Вт PANEL-B2B-595 6400K, що мають світловий потік 3060 Лм. Загальна кількість таких панелей буде розрахована наступним чином:

$$N_{пан.} = \Phi / \Phi_{пан.} = 23400/360 = 6,5 \text{ шт.}$$

Обираємо 7 штук. Загальна споживана потужність становить 252 Вт. Ця заміна повністю еквівалентна, однак світлодіодна панель забезпечує кращий рівень розсіювання

світла, що є надзвичайно важливим з медичної точки зору.

## **? Контрольні питання**

1. Як якість та рівень освітленості впливають на функціональні характеристики організмів і навколишнього середовища?
2. Якими спеціальними нормами регламентуються ключові параметри освітлення, такі як інтенсивність, спектральна якість та рівень енергозбереження?
3. У чому полягає основна роль димера як регулятора технологічних чи біологічних процесів?
4. Які можливості забезпечує використання димера для налаштування систем освітлення?
5. Які особливості конструкції та роботи філаментної лампи можна виокремити?
6. З якою метою використовується широтно-імпульсна модуляція у сфері освітлення?
7. Якими методами можна визначити параметри світлового потоку, враховуючи сучасні стандарти?
8. Що визначає коефіцієнт ефективності освітлювальних приладів?
9. Як розподіляються ультрафіолетові випромінювання на три спектральні області для біологічного застосування?
10. У чому полягає специфіка фотобіологічної дії оптичного випромінювання на організми?
11. Які зміни у складі крові тварин спричиняє дія видимого випромінювання?
12. На які критерії слід звернути увагу при виборі світильників для тваринництва?
13. Які переваги пропонує використання світлодіодних ламп у сучасному освітленні?
14. Якими характеристиками володіє інфрачервоний лінійний випромінювач типу ЛИКИ-220-300?
15. Як інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання застосовуються в галузях тваринництва і птахівництва для покращення продуктивності або умов утримання тварин?

## ГЛОСАРІЙ

*Вимірювальний прилад* — це пристрій для вимірювання, який забезпечує візуальне відображення вимірної інформації.

*Вентиляція* являє собою організований повітрообмін, створений для забезпечення сприятливих умов повітряного середовища, які позитивно впливають на здоров'я людей і тварин.

*Випарник* — це теплообмінний апарат, що використовується для охолодження середовища, такого як повітря або розсіл. Зазвичай випарником слугує трубчаста батарея з гладкою або ребристою поверхнею, яку встановлюють у зоні охолодження.

*Випрямлення* — процес перетворення змінного струму в постійний. Евакуаційне освітлення призначене для полегшення евакуації людей із приміщень у разі аварійного вимкнення основної системи освітлення.

*Генератором постійного струму* — це обертова електромашина, яка перетворює механічну енергію на електричну енергію постійного струму.

*Двигун* — це пристрій, що трансформує електричну енергію в механічну.

*Аварійне освітлення* являє собою систему освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи у випадках раптового припинення функціонування основного робочого освітлення, що може спричинити порушення нормального функціонування обладнання чи виробничого процесу.

*Асинхронний двигун* — це електродвигун змінного струму, принцип дії якого базується на використанні магнітного поля, генерованого струмом в обмотках статора. Частота обертання ротора цього двигуна не збігається з частотою обертання магнітного поля статора, що й зумовлює його назву "асинхронний".

*Багатодвигунний привод* — це механізм, де рух окремих компонентів забезпечується за допомогою декількох двигунів. Прикладами такого типу приводу є конвеєрні системи, підйомні

машини чи механізми повороту потужних екскаваторів.

*Бактерицидна дія* означає здатність знищувати бактеріальні клітини, що знаходяться у середовищі.

*Джерело живлення* являє собою компонент електричного кола, в якому сконцентрована електрорушійна сила.

*Димер* — пристрій, назва якого походить від англійського слова "dim" із значенням “затемнювати”, призначений для плавного регулювання рівня яскравості світлової енергії лампи.

*Дистанційна іонізація* характеризується здатністю діяти в радіусі до 20 метрів від апарату. Утворення електричних зарядів у молекулах повітря забезпечується радіохвилями, частота яких становить 20-30 кГц.

*Діелектрики* — це речовини, які забезпечують великий опір проходженню електричного струму; чим вище опір, тим кращою є якість діелектрика. До них належать такі матеріали, як повітря, гума, слюда, скло, ебоніт, фарфор тощо.

*Діелектричне електронагрівання* здійснюється змінним електричним полем і застосовується для нагрівання речовин, які мають властивості діелектриків або напівпровідників.

*Допустимі мікрокліматичні умови* визначають поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому й систематичному впливі можуть викликати тимчасові зміни теплового стану організму людини, що швидко проходять і нормалізуються.

*Дистанційна іонізація* це створення іонів у межах радіусу до 20 метрів від пристрою.

*Електрична машина* — це електромеханічний пристрій, який перетворює механічну енергію на електричну, електричну на механічну або ж електричну енергію одного виду чи параметрів на електричну енергію іншого виду або з іншими характеристиками.

*Електрична мережа* є взаємопов'язаною системою, призначеною для передачі та розподілу електроенергії від постачальника до кінцевого споживача.

*Електротехніка* — галузь науки й техніки, яка займається застосуванням електричних і магнітних явищ у процесах перетворення енергії, отримання й змін складу хімічних речовин, а також у виробництві та обробці матеріалів; охоплює

питання отримання й використання електроенергії.

*Електропривод* являє собою електромеханічну систему, призначену для забезпечення руху виконавчих механізмів робочих машин із заданими параметрами, необхідними для виконання їх основних функцій.

*Електростатичний сепаратор* (англійською: electrostatic separator, німецькою: elektrostatischer Abscheider) — це пристрій, який розділяє вихідний матеріал на компоненти в залежності від їхньої електропровідності в електростатичному полі.

*Електротехнологія* є наукою, що досліджує теоретичні основи та практичне застосування перетворення електричної енергії в теплову, хімічну, механічну та інші форми енергії.

*Електронно-іонні технології* базуються на використанні впливу високонапруженого електростатичного поля на речовини у твердому, рідкому або газоподібному стані, з метою змінення їх фізичних чи хімічних властивостей. Це досягається переважно за рахунок контрольованого розподілу складових часток цих речовин.

*Електроліз* визначається як сукупність окислювально-відновних процесів на електродах, занурених у електроліт, при проходженні через нього постійного електричного струму. Він застосовується головним чином для отримання різноманітних речовин і нанесення захисних або декоративних покриттів.

*Ємнісний фільтр* є конденсатором, що підключається паралельно навантаженню і служить для поліпшення роботи електричних кіл.

*Іонізатори повітря*, або аероіонізатори/аероіоніфікатори, це пристрої, що додають у повітря аероіони, забезпечуючи його іонізацію для покращення якості та складу атмосфери.

*Іонізація* в електролітах відбувається внаслідок розчинення, яке супроводжується розпадом молекул розчиненої речовини на іони (електролітична дисоціація).

*Іонізація в газах* здійснюється через відрив одного чи кількох електронів від атома або молекули під впливом зовнішніх чинників.

*Іонізація в твердих тілах* відбувається шляхом переходу електронів з валентної зони або домішкових рівнів у зону

провідності. Цей процес може бути викликаний світлом (фотоіонізація), електронним ударом (ударна іонізація), тепловим рухом (термоіонізація), дією електричного поля тощо.

*Іонне нагрівання* базується на виділенні теплоти в тілесному об'ємі під дією потоку іонів, що утворюються при електричному заряді у вакуумі. Такий метод застосовують у хіміко-термічних процесах обробки металів.

*Інфрачервоне випромінювання* (ІЧ) є видом електромагнітного випромінювання, що охоплює спектральний діапазон між червоною межею видимого світла з довжиною хвилі  $\lambda = 700$  нм (частота приблизно 430 ТГц) і мікрохвильовим випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda \sim 1$  мм (частота близько 300 ТГц).

*Засіб вимірювань* (ЗВ) – це технічний пристрій, призначений для виконання процедур вимірювань. Він забезпечує задані метрологічні характеристики, відтворює або зберігає одиницю фізичної величини, стабільність розміру якої забезпечується у межах певної похибки при заданому часовому інтервалі.

*Закон Ома* формулює пропорційність сили струму в електричному провіднику до прикладеної напруги за певних умов. Він є фундаментальним принципом у галузі електротехніки, що описує взаємозв'язок між напругою, струмом і опором.

*Зварювальні трансформатори* – це електротехнічні пристрої, які функціонують як одно- або трифазні понижувальні трансформатори, забезпечуючи вторинну напругу холостого ходу в межах 60–120 В. Вони є найпоширенішими джерелами живлення для електрозварювального обладнання, що працює на змінному струмі. Широке застосування цих трансформаторів зумовлене їхньою простою конструкцією, зручністю в обслуговуванні та високою надійністю в експлуатації.

*Комп'ютер* визначається як програмно-керований електронний пристрій, призначений для збору, обробки, зберігання та передачі інформації.

*Коефіцієнт трансформації* трансформатора виражає відношення напруг між його первинною і вторинною обмотками

в умовах холостого ходу, тобто за відсутності зовнішнього навантаження.

*Конденсатор* – це теплообмінний апарат, основне завдання якого полягає у охолодженні та переході пара холодильного агента з газоподібної фази в рідку. У цьому пристрої процес конденсації забезпечується охолодженням пари за допомогою води або повітря.

*Лазерне нагрівання* базується на застосуванні енергії потужного концентрованого світлового променя. Технологічні характеристики цього методу значною мірою перевершуються з властивостями електронного нагрівання, зокрема щодо точності, можливості локалізації впливу й керуваності тепловим процесом.

*Лазер* (акронім від англійського Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, тобто «посилення світла вимушеним випромінюванням») – це пристрій для генерації або підсилення монохроматичного світлового випромінювання. Він здатний створювати вузький і добре скоординований пучок світла, який може поширюватись на значні відстані практично без розсіювання. Лазери також характеризуються високою густиною енергії випромінювання при фокусуванні, яка для високоенергетичних зразків сягає значень до  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

*Зварювальний трансформатор* є пристроєм, який перетворює змінну напругу вхідної електромережі у змінну напругу, необхідну для електрозварювання.

*Лінія електропередачі* (ЛЕП) – це складова частина електричної мережі, що призначена для транспортування електричної енергії.

*Люмінесцентна (флуоресцентна) лампа* представляє собою джерело світла денного типу, яке працює за принципом газорозрядної дії. Світловий потік такої лампи зумовлений переважно люмінесценцією люмінофорів, викликаною ультрафіолетовим випромінюванням, що генерується електричним розрядом у парах ртуті. Її часто застосовують у сферах виробництва, зберігання та транспортування продуктів харчування.

**Машинні способи охолодження** – це використання холодильних механізмів компресійного чи абсорбційного типу. Цей метод базується на здатності певних рідин (холодоагентів) кипіти при низьких температурах, поглинаючи при цьому тепло з навколишнього середовища. Утворена пара конденсується назад у рідину, передаючи тепло зовнішньому середовищу.

**Міра фізичної величини** – це засіб вимірювальної техніки, призначений для відтворення та зберігання одного або кількох знаних значень фізичної величини.

**МікроЕОМ (microcomputer)** – це обчислювальна машина малих розмірів, розроблена на основі мікропроцесора. Існують різні категорії мікроЕОМ: вбудовані та персональні, настільні та портативні, професійні та побутові.

**Мікроклімат** є сукупністю фізичних параметрів повітряного середовища, що включає температуру, швидкість руху повітря, його вологість і барометричний тиск, температуру поверхонь навколо людини, а також рівень інтенсивності інфрачервоного випромінювання.

**Молотилка** є сільськогосподарською машиною, основною функцією якої є здійснення обмолоту зернових та інших культур. Процес обмолоту передбачає відокремлення зерна від колосків, качанів, стебел та інших аграрних структур рослин.

**Молотилка** включає тривалий вплив на біологічні об'єкти, зокрема рослини та тварини, ультрафіолетовим випромінюванням, що спричиняє спадкові зміни. Це явище часто використовується для селекції нових сортів.

**Напівпровідниковий діод** представляє напівпровідниковий пристрій, котрий містить один випрямний електричний перехід і два зовнішні контакти.

**Напівпровідниковий фотодіод** є специфічним типом напівпровідникового діода, у якого значення зворотного струму змінюється залежно від рівня освітленості.

**Нагрівальні елементи карбонові** представляють собою трубчасті інфрачервоні випромінювачі у довгохвильовому діапазоні. Вони оснащені спіраллю із вуглецевого матеріалу, яка виконує нагрівальну функцію. Трубка може мати кілька стандартних форм, а потужність випромінювачів варіює у

межах від 200 до 3000 Вт.

*Потенціал* визначається як робота, необхідна для переміщення електричного заряду з певної точки до точки з нульовим потенціалом.

*Повітряна лінія електропередачі* слугує для передачі електроенергії через проводи, які зафіксовано в повітрі на опорах із використанням ізоляторів та спеціалізованої арматури.

*Потужність трансформатора напруги* характеризує максимальну видиму потужність, яку цей трансформатор здатний тривало передавати за умови номінальної первинної напруги. При цьому його перегрів знаходиться в межах, допустимих згідно з класом термостійкості обладнання.

*Охолодження* є процесом відведення тепла від фізичного об'єкта, що, зазвичай, супроводжується зниженням температури чи зміною агрегатного стану. Воно поділяється на природне та штучне.

*Робоче освітлення* забезпечує комфортні умови для виконання виробничих завдань, дозволяє організувати переміщення персоналу чи техніки й обов'язкове для усіх приміщень виробничого призначення.

*Симістор* або симетричний тріодний тиристор (англ. TRIAC – triode for alternating current) є напівпровідниковим пристроєм, що належить до класу тиристорів і використовується для комутації у колах змінного струму.

*Світлова дія* виражається через здібність зорової системи людини сприймати простір та орієнтуватися в ньому.

*Світлодіод* – це тип напівпровідникового пристрою, який здійснює пряме перетворення електричної енергії у світлову.

*Сонячна електростанція (СЕС)* являє собою інженерну споруду, функціональною метою якої є перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну енергію.

*Термоелектричне нагрівання* базується на ефекті Пельтьє і є непрямим видом тепловиділення. Його суть полягає в тому, що при проходженні постійного електричного струму через перехід (спай) напівпровідникових матеріалів, окрім теплоти Джоуля-Ленца, на р-п переході відбувається виділення тепла у

разі прямого напрямку струму (від елемента р до елемента n). У зворотному ж напрямку проходження струму відбувається поглинання тепла, тобто охолодження. Таким чином, у термоелектричних батареях виникають чергування гарячих спаїв, де виділяється тепло, та холодних, де забезпечується охолодження.

*Тиристор* є напівпровідниковим перемикаючим приладом, який проводить струм лише в одному напрямку.

*Транзистор* (від англійських «transfer» – переносити та «resistor» – опір) – це напівпровідниковий елемент електронної техніки, що дозволяє регулювати струм через нього за допомогою напруги, прикладеної до окремого додаткового електрода.

*Трансформатор* – статичний електромагнітний пристрій, призначений для перетворення змінного струму в одній системі (первинній) на змінний струм в іншій системі (вторинній).

*Трифазна система* – це система трьох електрорушійних сил (ЕРС), рівних за величиною та зміщених за фазою одна відносно одної на  $120^\circ$ . Така система називається симетричною трифазною. У кожний момент часу сума миттєвих значень фазних ЕРС дорівнює нулю.

*Терапевтична дія* опромінення – це процес впливу дозованої кількості ультрафіолетового (УФ), інфрачервоного (ІЧ) освітлення та видимого випромінювання на людей, тварин чи птицю. Така дія сприяє покращенню обміну речовин, підвищенню опірності організму та зменшенню ймовірності виникнення захворювань.

*Ультразвук* представляє собою періодичні пружні механічні коливання з частотою від  $10^4$  до  $10^{10}$  Гц, що перевищує верхню межу чутливості людського вуха. Ультразвукові коливання генеруються за допомогою спеціальних вібраторів або перетворювачів і поширюються в середовищі у вигляді ультразвукових хвиль, забезпечуючи перенесення енергії.

*Філаментна лампа* є специфічним видом світлодіодних ламп, які зовнішньо нагадують традиційні лампи розжарювання. Однак у їхній конструкції замість вольфрамової нитки

використовуються світлодіоди особливої форми, що створюють ефект ниток розжарювання.

*Фотосинтез* – процес, у якому рослини поглинають видиме світло та ультрафіолетове випромінювання.

*Фотоперіодична дія* визначається чергуванням періодів освітлення та темряви, а також їхньою тривалістю.

*Холодильні машини* – пристрої, що забезпечують безперервне відведення тепла від середовища або об'єкта, який потрібно охолодити.

*Штучне охолодження* – це зниження температури тіла до рівня, нижчого за температуру навколишнього середовища, для чого необхідні витрати енергії.

## ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Загірняк М. В. Невзлін Б. І. Електричні машини: Підручник. – 2-ге вид. перероб. і доп. К.:Знання, 2009. 400 с.

2. Електричні машини : Навч. посіб. для студ. базового рівня підготовки за напрямком "Електромеханіка" / М. А. Яцун; Держ. ун-т "Львів. політехніка". Л. 1999. 427 с. Бібліогр.: 55 назв.

3. Півняк Г. Г. Електричні машини: навч. посіб. / Г. Г. Півняк та ін.; Національний гірничий ун-т. Д. : НГУ, 2003. 328 с.

4. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи: Навч. посіб. для студ. електромех. спец. вищ. навч. закл. України / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик; Нац. ун-т «Львів. політехніка». Л. 2002. 277 с.

5. Кожушко Г. М. Проблеми ртутного забруднення навколишнього середовища відходами розрядних ламп / Г. М. Кожушко, Л. В. Дугніст, С. Г. Кислиця // Світлотехніка та електроенергетика. 2013. № 1. С. 37–43.

6. УДК 621.384.4:581.141 Електрофізичні методи передпосівної обробки насіння Л.С. Червінський, О.І. Романенко.

7. Войцицький А.П. Мартинчук П.П. Електротехніка і електроніка: підручник. – Житомир: ЖНАЕУ, 236с.

8. Електричне освітлення та опромінення. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u37/23.pdf>

9. Види нагрівальних елементів за формою і типом. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<https://ten24.com.ua/ua/blog/vidy-nagrevatelnykh-elementov-po-forme-i-tipu/>

10. Пристрій і застосування індукційного обігрівача для будинку. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://budivnik.in.ua/prystrij-i-zastosuvannya>

11. Автоматизація обігріву парників. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://studfile.net/preview/-5797625/page:90/>

12. Машини і обладнання для тваринництва. [Електронний

ресурс] Режим доступу: [http://rodak.if.ua/mot/teoria/tema\\_8.htm](http://rodak.if.ua/mot/teoria/tema_8.htm)

13. Освітлення тваринницьких приміщень, ферм.

Електронний ресурс] Режим доступу:

<https://vatra.in.ua/info/statti/osvitlennia-tvarynnyskykh-prymishchen-ferm/>

14. Клімат 45. [Електронний ресурс] // Офіційний сайт.– Режим доступу: <http://agroclimat.com/vo-5,6-24>. АМС-PLUS – потужний блок управління тунельною та шахтною вентиляцією. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://centralsys.eu/amc-plus\\_uk/](http://centralsys.eu/amc-plus_uk/)

15. Автоматизація годівлі тварин. [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://buklib.net/books/35526 klimat-45](https://buklib.net/books/35526_klimat-45)

16. Іонізатори повітря – функції, дія, правила використання. [Електронний ресурс] Режим доступу:

17. <https://ufoshop.net.ua/ua/ionizatory-vozduxa-funksii-dejstvie-karakteristiki-i-pravila-ispolzovaniya>

18. Електротехнології в АПК : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 272 с.

19. Матвійчук В. А. Рубаненко О.Є. Стаднійчук І.П. М 33 Електротехнології в АПК : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 272 с.

<http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/25272.pdf>

20. Мельничук В.В , Муляр О.Д. Тимків В.В. Войцицький А.П. Електротехнологія: навчальний посібник. Житомир. Електрифікація сільського господарства. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-18860>

21. Сонячна енергетика для фермерів у аграрному секторі. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.sig.energy/sonyachna-energetyka-dlya-fermeriv-u-agrarnomu-sektori/>

22. І.І.Мартиненко , В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко , І.М. Болбот, П.В. Олійник Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник. – К. 2008. – 330 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/17-proektuvannja-system-elektryfikaciyi-ta-avtomatyzaciyi-apk-1.pdf>

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АГРАРНИМ СПОЖИВАЧАМ	7
1.1 Загальні відомості	7
1.2 Електрифікація і автоматизація сільського господарства	8
1.3 Електричні мережі	9
1.4 Трансформаторні підстанції	13
1.5 Резервні джерела електроенергії	17
1.6 Альтернативна енергетика на службі аграрного виробництва	19
1.7 Підвищення надійності електропостачання	21
РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	23
2.1 Загальні відомості	23
2.2 Класифікація електроприводів у сільському господарстві	25
2.3 Вимоги до експлуатації електроприводів в сільському господарстві	28
2.4 Автоматизація годування та напування свійських тварин і птахів	30
2.4.1 Автоматизація годування тварин	31
2.4.2 Система управління електродвигуном дробарки	32
2.4.3 Система управління електродвигуном кормороздавача	35
2.5 Доїльні агрегати	37
2.5.1 Доїльний агрегат ДАС-2В	38
2.5.2 Доїльні зали «Карусель» URN-STYLEС HBR	39
2.5.3 Автоматизований доїльний агрегат УДА-100	41
2.6 Загальні рекомендації підвищення енергоефективності електропривода	43
РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВА ОБРОБКА СІЛЬХОЗПРОДУКЦІЇ	45
3.1 Загальні відомості	45

3.2 Перетворення електричної енергії в теплову	46
3.2.1 Класифікація ЕНУ	47
3.2.2 Дугове електронагрівання	50
3.2.3 Індукційне електронагрівання	50
3.2.4 Діелектричне електронагрівання	51
3.2.5 Термоелектричне нагрівання	52
3.2.6 Електронне та лазерне нагрівання	53
3.2.7 Індукційні пристрої нагріву	55
3.3 Проточні електродні водонагрівачі	57
3.4 Методи та засоби електрообігрівання парників і теплиць	61
3.5 Інфрачервоне випромінювання для сушіння та теплової обробки с/г матеріалів	64
3.6 Енергозбереження в системах тепlopостачання	69
<b>РОЗДІЛ 4. МІКРОКЛІМАТ</b>	71
4.1 Загальні відомості	71
4.2 Формування мікроклімату в приміщеннях для утримання свійських тварин	73
4.2.1 Вентиляція. Вентиляційне обладнання	74
4.2.2 Вентиляційна установка “Клімат 4”	78
4.2.3 Вентиляційна установка “Клімат 45М-ОЗ”	78
4.2.4 Електрообладнання систем мікроклімату в сховищах сільськогосподарської продукції	80
4.3 Перспективні напрями забезпечення мікроклімату	84
4.4 Іонізація повітря	86
4.4.1 Іонізатори повітря	88
4.5 Енергозбереження в системах вентиляції і кондиціонування	92
<b>РОЗДІЛ 5. ОБРОБКА ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ С/Г МАТЕРІАЛІВ ФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ</b>	94
5.1 Обробка с/г матеріалів електричним струмом	95
5.2 Магнітне очищення насіння культурних рослин від насіння бур'янів	98
5.3 Застосування ультразвукових коливань в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва	101

5.4 Застосування електричних полів в технологічних процесах сільгоспвиробництва	105
5.4.1 Електросепаратори	105
5.4.2 Електричні іонізатори	107
5.5 Фотоенергетичні методи обробки посівного матеріалу	110
РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ. ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ	114
6.1. Основні відомості про зварювання	114
6.2. Електродугове зварювання	115
6.3. Зварювальне силове обладнання	117
6.4 Зварювальні інвертори	120
РОЗДІЛ 7. ЕЛЕКТРОННО-ІОННІ ТЕХНОЛОГІЇ	123
7.1 Основи теорії електронно-іонних технологій	123
7.2 Електронно-іонні установки для сепарації зерна	125
РОЗДІЛ 8. ОПТИЧНІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ	129
8.1 Загальна відомості	129
8.2 Властивості оптичного випромінювання	129
8.3 Види освітлення	132
8.4 Загальні принципи нормування освітленості	133
8.5 Фітобіологічна дія оптичного випромінювання	134
РОЗДІЛ 9. ЗАСТОСУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ С/Г ВИРОБНИЦТВА	135
9.1 Загальна відомості	135
9.2 Застосування люмінесцентних ламп високого тиску	137
9.3 Світлодіодне освітлення	139
9.3.1 Світлодіодне освітлення птахівницьких приміщень	140
9.3.2 Освітлення тваринницьких приміщень	142
9.3.3 Освітлення тваринницьких угідь	144
9.3.4 Освітлення та рослинництво	145
9.4 Інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання у тваринництві і птахівництві	148
9.5 Необхідність в регулюванні інтенсивності	150

освітлення	
9.5.1 Освітлення індивідуального робочого місця	152
9.5.2 Освітлення групових місць перебування людей	155
9.6 Основні вимоги до можливості енергозбереження системах освітлення	157
9.7 Обґрунтування доцільності заміни ламп розжарювання на світлодіодні	158
ГЛОСАРІЙ	162
ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА	171
ЗМІСТ	173

**Навчальне видання**

Роман Антонович Залевський  
Анатолій Павлович Войцицький  
Любов Миколаївна Безверха  
Веніамін Володимирович Мельничук

# **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**ПІДРУЧНИК**

Оригінал-макет – Залевський Р.А.  
Дизайн обкладинки – Войцицький А.П.

Надруковано з оригінал-макета авторів  
Підписано до друку 16.12.2025.  
Формат 60х90/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний.  
Ум. друк. арк. 11,5.  
Наклад 300. Зам. № 3978.



**Віддруковано в ПП «Рута»**  
10014, Україна,  
М. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17 а,  
тел. 0679621687  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК №3671 від 14.01.2010  
E-mail: ruta-bond@ukr.net

