

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

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**



ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 1 - Електротехнології

Конспект лекцій

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА
ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 1- Електротехнології

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів 4 та 2 с.т. курсу
освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»

СУМИ – 2025

УДК 621.3.01.001(075.8)

Укладачі: **Савойський О.Ю.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Рясна О.В., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Тесленко О.В., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Н 22 Науково-методичне забезпечення навчального процесу
 конспект лекцій:/ укл.: Савойський О.Ю., Рясна О.В., Тесленко О.В. - Суми, 2025. – 70 с.

У конспекті лекцій: наведений матеріал, який допоможе здобувачам при вивченні питань, що пов'язані з системою електроустановок на підприємствах АПК: вибору систем та їх видів, загальних методик та розрахунків.

Пропонується до вивчення питомий електричний опір провідників, електроконтактний нагрів, розрахунок параметрів джерела живлення установок електроконтактного нагріву, електродний нагрів. матеріалів електродів, допустимі щільність струму на електродах і напруженість електричного поля та розрахунок електродних нагрівальних пристроїв. Розкрито наступні напрямки: вимоги до матеріалів та конструкція нагрівальних елементів, трубчасті нагрівальні елементи, електричний і конструктивний розрахунки нагрівальних елементів, нагрівальні дроти та кабелі та схеми включення і регулювання потужності.

Рецензенти:

Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри «Енергетика та електротехнічні системи» СНАУ;
Лобода В.Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою якості інженерно-технологічного факультету.
 Протокол №4 від «28» січня 2025 року

ЗМІСТ

ТЕМА №1 Техніко-економічні основи використання електроенергії в теплових і технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Ефективність і перспектива електрифікації теплових процесів у сільському господарстві. Техніко-економічне обґрунтування застосування електричної енергії в технологічних процесах.....	6
ТЕМА №2 Електронагрівання опором. Фізичні основи електронагрівання опором. Пряме нагрівання опором. Побічне (непряме) нагрівання опором. Електродугове нагрівання	7
ТЕМА №3 Індукційне нагрівання. Фізичні основи індукційного нагрівання. Принципи та пристрої індукційного нагрівання струмами промислової частоти. Діелектричне нагрівання. Фізичні основи діелектричного нагрівання. Основні напрями та перспективи застосування діелектричного нагрівання в сільському господарстві. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.....	17
ТЕМА №4 Методика визначення розрахункової потужності та вибір теплогенеруючих установок за добовими графіками теплових навантажень під час вільного та вимушеного електроспоживання. Класифікація водонагрівників і котлів.....	11
ТЕМА №5 Елементні водонагрівники періодичної і безперервної дії, електродні нагрівники. Призначення, будова, технічні характеристики, застосування, принципи керування та автоматизації. Електричні водонагрівачі та парові котли. Будова, призначення, принцип дії. Визначення потужності та вибір, принципи керування та автоматизації.....	19
ТЕМА №6 Електротермічне обладнання систем загального електроопалення. Електрокалориферні установки, припливно-витяжні установки, кондиціонери, тепловентилятори, термоакумуючі установки. Будова, застосування, технічні характери, методика розрахунку потужності, їх вибір.....	25
ТЕМА №7 Електронагрівальні установки для теплової обробки та сушіння сільськогосподарських продуктів і кормів. Установки для активного вентилявання зерна та сіна, їх будова, схеми керування. Розрахунок електропідігрівачів повітря.....	27
ТЕМА №8 Електричні холодильні машини та теплові насоси. Компресорні холодильні машини, їх будова, принцип дії, термодинамічний цикл, технічні характеристики, основні енергетичні параметри, схеми керування. Термоелектричне охолодження. Фізичні принципи, енергетичні співвідношення.....	28
ТЕМА №9.....	30
ТЕМА №10. Електрофізичні фактори в природі, їх вплив на рослинний і тваринний світ. Електрофізичні та електрохімічні явища та процеси в біологічних об'єктах. Електротехнологія, визначення та перспективи витку.....	34
ТЕМА №11. Електронно-іонна технологія (ЕІТ), фізичні основи. Електричні сепаратори зерна, будова, класифікація, принцип дії, технічні характеристики. Передпосівна обробка насіння в електричному полі. Осадження часток в електричному полі. Електричні іонізатори повітря. Джерела високої напруги для установок ЕІТ	38
ТЕМА №12 Прякий електронагрів опором ...	40
ТЕМА №13 Непрякий електронагрів опором	49
ТЕМА №14 Індукційний нагрів.....	55
ТЕМА №15. Обробка сильними електричними полями (електронно- іонна технологія).....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

ТЕМА 1. Техніко-економічні основи використання електроенергії в теплових і технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

Ефективність і перспектива електрифікації теплових процесів у сільському господарстві. Техніко-економічне обґрунтування застосування електричної енергії в технологічних процесах.

Стан і проблеми електротермії у сільському господарстві

Сільське господарство – великий споживач теплової енергії: в загальному енергоспоживанні основна частка припадає на теплові процеси. Рациональне теплопостачання сільського господарства є важливою економічною та соціальною задачею. Це пов'язано з особливостями сільськогосподарських підприємств як об'єктів теплопостачання.

Перша особливість полягає в тому, що для сільського господарства характерні низька щільність теплових навантажень і велика розосередженість споживачів. Тому в основному поширені децентралізовані системи теплопостачання від паливних котелень. Однак ці системи мають такі недоліки: великі транспортні витрати на доставку палива; втрати палива при транспортуванні та зберіганні; значні витрати ручної праці на обслуговування малопотужних паливних установок (важко піддаються автоматизації); низький коефіцієнт корисної дії.

Друга особливість сільськогосподарських споживачів теплоти – велика нерівномірність навантаження та малий коефіцієнт використання максимуму (для молочних ферм – 0,25...0,35, для свинарських – 0,55.. 0,75). Нерівномірність теплового навантаження призводить до перевитрат палива в періоди провалів навантаження.

Третя особливість сільськогосподарських споживачів полягає в тому, що для нормальної життєдіяльності тварин, птахів і рослин потрібна оптимальна температура навколишнього повітря. Відхилення температури від оптимальної негативно позначається на протіканні всіх процесів. Особливо шкідливі різкі коливання температури протягом доби.

Перераховані особливості сільськогосподарських підприємств і обумовлені ними труднощі теплопостачання змушують вишукувати інші джерела теплової енергії. Найбільш перспективна для цих цілей електрична енергія. Її використання дозволяє:

- автоматизувати технологічні процеси, за рахунок чого скоротити втрати теплоти на 20...25%; збільшити прирости та знизити витрати кормів (завдяки більш точній підтримці температурного режиму);
- підвищити технічний рівень виробництва, продуктивність і культуру праці;
- зменшити забруднення навколишнього середовища;
- вивільнити велику кількість технічного персоналу, що обслуговує котельні та теплові мережі;
- збільшити надійність системи теплопостачання.

До недавнього часу вважалося, що електронагрів обумовлює перевитрати енергетичних ресурсів через втрати при двократному перетворенні енергії

палива (спершу в електричну на електростанції, а потім в теплову в електротермічній установці). В результаті всебічних досліджень встановлено, що при електронагріванні первинні енергетичні ресурси, навпаки, часто економляться. Так, тільки в 1982 р. завдяки електронагріву в сільському господарстві було зекономлено близько 1,2 млн. т умовного палива. Широке застосування електроенергії для електрифікації теплових процесів стримується потужністю електричних станцій і пропускною спроможністю сільських електричних мереж, які недостатні для виробництва та передачі додаткової енергії, що необхідна електротермічним установкам, а також обмеженою номенклатурою та обсягом виробленого електротермічного обладнання. Слід зазначити, що масштаби використання електричної енергії для теплопостачання змінюються в часі. Для кожного етапу розвитку електротехнічної промисловості, енерго- та електропостачання існує найбільш ефективний (оптимальний) рівень електрифікації теплових процесів у сільському господарстві. Даний рівень для конкретного етапу (відрізка часу) визначають на підставі розрахунку приведених витрат.

Електричну енергію в господарствах застосовують для: нагрівання повітря (в системах припливної вентиляції сільськогосподарських приміщень, в системах рециркуляції овочесховищ, при сушінні сільськогосподарської продукції); нагріві води та генерації пари (для кормоприготування, напування тварин, санітарно-гігієнічної обробки тварин і обладнання, поливу рослин), місцевого обігріву (при вирощуванні молодняку).

Для цих цілей використовують електротермічне обладнання сільськогосподарського призначення, що випускається нашою промисловістю: комбіновані інфрачервоні та ультрафіолетові опромінювальні установки, інфрачервоні опромінювачі, брудери, електроводонагрівачі-термоси, проточні електродні та елементні водонагрівачі, електродні парові котли, електрообігрівальні панелі, килимки, електрокалориферні установки та спеціальний нагрівальний провід. Кількість і потужність електротермічних установок в сільськогосподарському виробництві безперервно збільшуються. Великим потенційним споживачем електронагріву повинні стати рослинництво та плідівництво (обігрів парників і теплиць, термообробка продукції).

ТЕМА 2. Електронагрівання опором. Фізичні основи електронагрівання опором. Пряме нагрівання опором. Побічне (непряме) нагрівання опором. Електродугове нагрівання.

В електротермічних процесах широко використовують електричний нагрів опором, при якому електрична енергія перетворюється в теплову безпосередньо в провідному середовищі або провіднику, що включеному в коло електричного струму. В електротермічних установках (ЕТУ) низькотемпературного нагріву температура нагрівального матеріалу або середовища не перевищує 673...873 К, і теплообмін відбувається в основному за рахунок теплопровідності і конвекції. Такі установки застосовують для нагріву

повітря, води, сушіння сільськогосподарських матеріалів і інших процесів. Установки середньо- і високотемпературного нагріву використовують для загартування, отжига, термічної обробки металів і т.д. У цих установках температура нагрівального матеріалу або середовища може досягати 1473...1523 К, а процеси теплообміну здійснюються за рахунок конвекції і випромінювання. Кількість теплоти, що виділена в нагрівальному матеріалі або середовищі, пропорційна квадрату сили струму I і залежить від опору нагрівального матеріалу R і часу нагріву t :

$$Q = I^2 R t.$$

Електричний нагрів опором – найбільш простий і економічний спосіб перетворення електричної енергії в теплову. За способом виділення та передачі теплової енергії нагрівального середовища або матеріалу розрізняють прямий і непрямий (побічний) нагрів.

Прямий нагрів опором застосовують для електропровідних середовищ і матеріалів. Нагрівання здійснюється за рахунок пропускання електричного струму безпосередньо через нагрівальне середовище або матеріал.

Прямий нагрів опором, у свою чергу, підрозділяється на два способи:

- прямий нагрів металевих тіл, який називається електроконтактним;
- прямий нагрів провідних матеріалів, що володіють іонною провідністю, який називається електродним.

Непрямий (побічний) нагрів опором використовують для провідних і непровідних матеріалів. При даному способі нагрів середовища або матеріалу здійснюється за рахунок теплопровідності, конвекції і випромінювання від спеціальних нагрівальних пристроїв при протіканні по них електричного струму.

Електродуговий нагрів.

Дуговий розряд – це самостійний електричний розряд в газах або парах металу, який характеризується великою щільністю струму та високою температурою каналу розряду. В електротермічних установках збудження дуги відбувається при початковому дотику електродів, до яких підведена напруга. В момент короткого замикання електроди розігріваються. При відведенні електродів за рахунок термоелектронної іонізації газів виникає електрична дуга, що представляє собою сильно іонізуючу суміш газів і парів матеріала анода та катода. Канал дуги за довжиною є неоднорідним і складається з трьох послідовних ділянок (рис. 1).

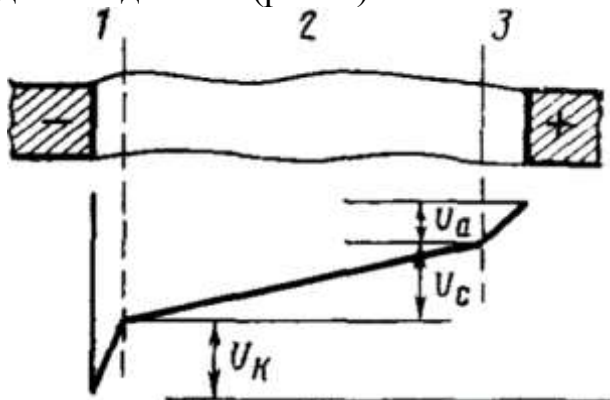


Рис. 1. Область дугового розряду та розподіл напруженості в каналі дуги:

1 – прикатодна ділянка; 2 – основний стовб дуги; 3 – прианодна ділянка

Довжина прикатодної ділянки близько 10^{-6} м. Напруженість його електричного поля становить $10^7...10^8$ В/м. Катодне падіння напруги знаходиться в межах 10...20 В (в залежності від матеріалу електродів, роду струму та стану газу). Температура катода в результаті інтенсивного бомбардування позитивними іонами досягає 2500...2800 К.

Довжина анодної ділянки більше катодної і перевищує 10^{-6} м. Анодне падіння напруги становить 2...6 В. Температура анода вище температури катода і досягає 2700...4500 К.

Напруженість електричного поля в основному стовпі дуги знаходиться в межах 1500...5000 В/м. Температура в каналі цієї ділянки дуги досягає 6000...12000 К, а концентрація іонів в ньому – 10^{24} 1/м³, тобто стовп дуги являє собою плазму з дуже високою питомою електричною провідністю.

Таким чином, горіння електричної дуги супроводжується наступними ефектами, які зумовлюють області її застосування:

- великим виділенням теплоти на електродах. На цьому заснована робота електродугових печей прямого нагріву та техніка електродугового зварювання;
- потужним променистим потоком в оптичному діапазоні спектра електромагнітних коливань. Ця властивість використовується в електродугових печах непрямого нагріву та в газорозрядних джерелах оптичного випромінювання.

Електрична дуга, як споживач електричної енергії, досить повно характеризується статичною вольт-амперною характеристикою $U_d = f(I_d)$ (рис. 2). Її умовно можна розділити на область малих струмів (до 80...100 А); середніх струмів (100...800 А) і область великих (вище 800 А) струмів.

В області малих струмів вольт-амперна характеристика має падаючий вигляд. Це пояснюється тим, що зі збільшенням сили струму площа поперечного перерізу та питома електрична провідність стовпа дуги збільшується швидше, ніж струм. При цьому щільність струму і напруженість електричного поля зменшуються.

В області середніх струмів напруга на дузі практично не залежить від сили струму, оскільки площа поперечного перерізу стовпа збільшується пропорційно струму.

При великих струмах зростання сили струму не супроводжується пропорційним ростом катодної плями (воно зайняло всю площу поверхні катода). Характеристика вольт-амперної дуги виходить зростаючою.

У зварювальній техніці електрична дуга класифікується за родом середовища, в якому відбувається розряд:

- **відкрита дуга**, що горить в повітрі, парах металу та компонентах електродних покриттів;

- закрита дуга, що горить під флюсом в парах металу і флюсу. Флюс – допоміжна речовина для захисту області зварювання металів, також допоміжна речовина для пайки металів;
- дуга, що горить в захисних газах (аргон, гелій, двоокис вуглецю).

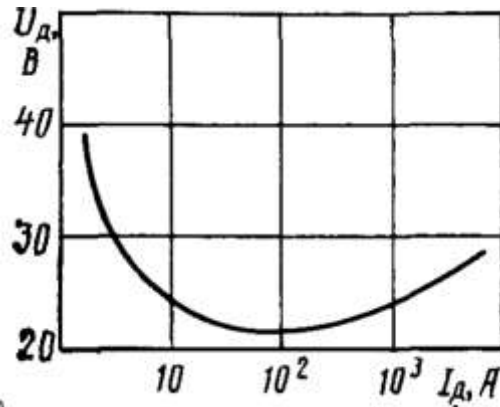


Рис. 2. Статична вольт-амперна характеристика дуги

Вольт-амперна характеристика відкритої дуги має падаючий вигляд, а закритої і захищеною – зростаючий.

Джерело живлення дуги повинно забезпечувати стійке її горіння, стабільність режимів зварювання і безпеку обслуговування установок. Ці вимоги виконуються відповідним вибором параметрів джерела живлення: роду струму, напруги холостого ходу, зовнішньої характеристики, способу регулювання зварювання струмом. Електрична дуга може бути як на постійній, так і на змінній напрузі. Стійкість дуги змінного струму знижується через її угасання при кожному переході струму через нуль. Тому горіння дуги є переривчастим і нестійким. Статична вольт-амперна характеристика дуги на змінному струмі подібна цій характеристиці при постійному струмі.

Напруга запалювання дуги постійного струму становить 30...40 В, а змінного – 50...55 В. Напруга холостого ходу джерела повинна бути більшою за напругу запалювання на 10...50 В. Дуга і джерело живлення утворюють систему, яка буде знаходитися в стійкій рівновазі, якщо при падаючій вольт-амперній характеристиці дуги зовнішня характеристика джерела буде більш крутопадаючою. Стійкість дуги зі зростаючою вольт-амперною характеристикою забезпечується, якщо зовнішня характеристика джерела менш зростаюча. Регулювання зварювального струму необхідно при зварюванні деталей різної товщини. Для цього джерела живлення постачають пристроями ступеневого або плавного регулювання зварювального струму. В якості джерел живлення дуги застосовують зварювальні трансформатори, генератори постійного струму (перетворювачі) і напівпровідникові матеріали.

ТЕМА 3. Індукційне нагрівання. Фізичні основи індукційного нагрівання. Принципи та пристрої індукційного нагрівання струмами промислової частоти. Діелектричне нагрівання. Фізичні основи діелектричного нагрівання. Основні напрями та перспективи застосування діелектричного нагрівання в сільському господарстві. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.

Індукційний нагрів – нагрів струмопровідних тіл за рахунок вихрових струмів, що індуктуються в електромагнітному полі. При цьому електрична енергія перетворюється в теплоту.

Спочатку за допомогою індуктора вона перетворюється в енергію змінного магнітного поля, яка в реле, що розміщене в індуктор, перетворюється в енергію електричного поля. І, нарешті, під дією електричного поля в нагрівальному струмопровідному матеріалі починають рухатись заряди, які при зіттовхуванні з нейтральними атомами та молекулами збільшують їх тепловий рух, тобто енергія електричного поля перетворюється в теплоту.

Щільність струму за перерізом (рос. – «сечение») нагрівального провідного тіла неоднакова. Найбільшого значення вона досягає на поверхні провідника, а по мірі наближення його до центру спадає. Це явище назване поверхневим ефектом. В шарі товщиною $z = \Delta_2$ виділяється 87 % теплової енергії. На відстані $z = \Delta_2$ від поверхні потужність знижується в 7,4 рази, а щільність струму – в 2,7 рази. На інтенсивність і характер нагріву значно впливають частота струму, напруга електричного та магнітного полів. Змінюючи частоту струму, можна отримати необхідний за технологічними умовами характер нагріву та його інтенсивність.

В залежності від призначення та форми нагрівального виробу застосовують циліндричні, овальні, щілинні, стержневі (стрижньові), плоскі та петльові індуктори. Вироби прямокутної форми нагрівають в овальних, плоских і петльових індукторах. Для циліндричних виробів використовують індуктори практично всіх типів.

Циліндричні індуктори (рис. 1) найбільш прості за конструкцією та надійні в експлуатації. Їх загальний ККД достатньо високий. Індуктор має багатовитковий індуктуючий провід з мідної трубки, що створює магнітне поле, струмопровідні шини та контактні колодки для приєднання до джерела живлення, а також пристрій для подачі води, яка охолоджує індуктор. В індукторах для наскрізного (рос. – «сквозного») нагріву виробів використовується теплова ізоляція.

Індукційні нагрівачі типу «багатовитковий індуктор у феромагнітній трубі» (рис. 2) можуть використовуватись у пристроях для обігріву полів, панелей і стін в тваринницьких приміщеннях, для обігріву ґрунту та повітря в парниках і теплицях.

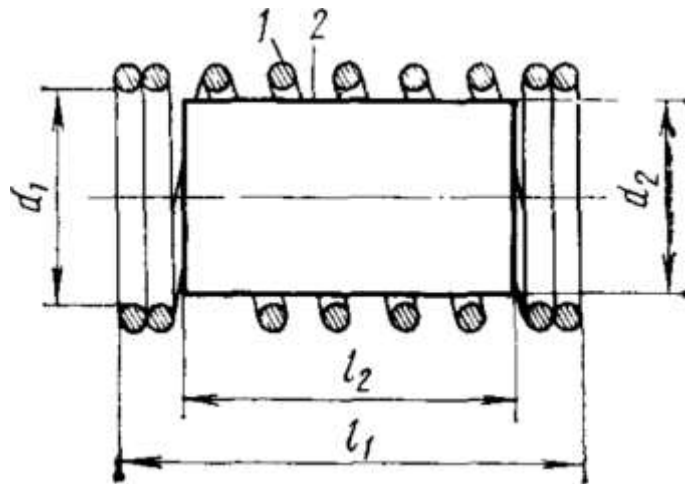


Рис. 1. Циліндричний індуктор: 1 – індуктор; 2 – деталь

Нагрівач (див. рис. 2) представляє собою феромагнітну трубку, усередині якої розташована індукуюча одно- або багатожильна обмотка, що виконана зі стержнів, установлювального провoda або контрольного кабелю. Феромагнітна трубка є одночасно приймачем енергії магнітного поля та генератором теплоти, слугує в якості несучої конструкції і захищає обмотку індуктора від механічних пошкоджень. **Змінний магнітний потік Φ , що створюється індукуючою обмоткою нагрівача, наводить у феромагнітній трубці вихреві струми, які нагрівають її. В трубці виділяється 80-85 % всієї теплової енергії, в індукторі – 15-20 %.** Завдяки послідовному з'єднанню жил обмотки індуктора можуть бути ввімкнені в мережеву напругу. В залежності від матеріалу та діаметру труб, повітряного зазору між обмоткою індуктора та трубкою коефіцієнт потужності нагрівача становить 0,88...0,92.

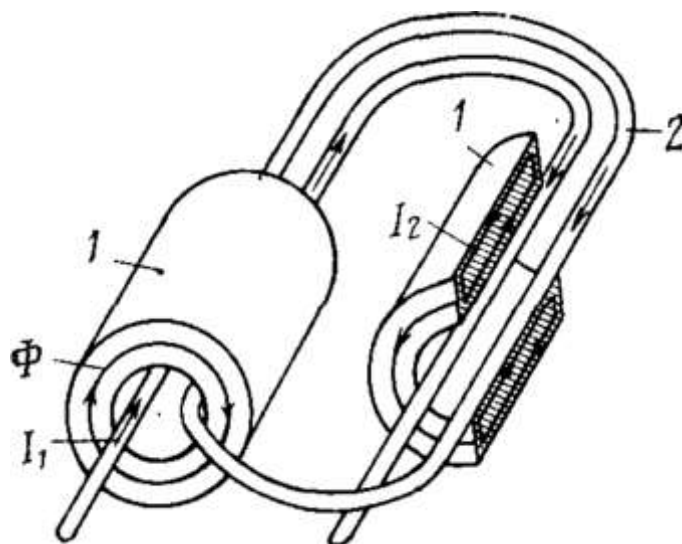


Рис. 2. Багатовитковий індуктор у феромагнітній трубці:
1 – сталева труба; 2 – індукуючий провід

Водонагрівач-трансформатор (рис. 3) виготовлений на магнітній системі трифазного трансформатора. Його первинна обмотка, що виконана мідним проводом, розрахована на мережеву напругу. Вторинна обмотка – це сталеві

труби в вигляді електрично замкнутих накоротко змійовиків, по яким пропускається нагрівальна вода. При протіканні електричного струму по первинній обмотці створюється змінне магнітне поле, силові лінії якого замикаються по осердю-магнітопроводу, перетинають вторинну обмотку і наводять в ній ЕРС. Під дією ЕРС у вторинній обмотці, що замкнута накоротко, протікає струм. Обмотка нагрівається і передає тепло воді, що використовується для її охолодження.

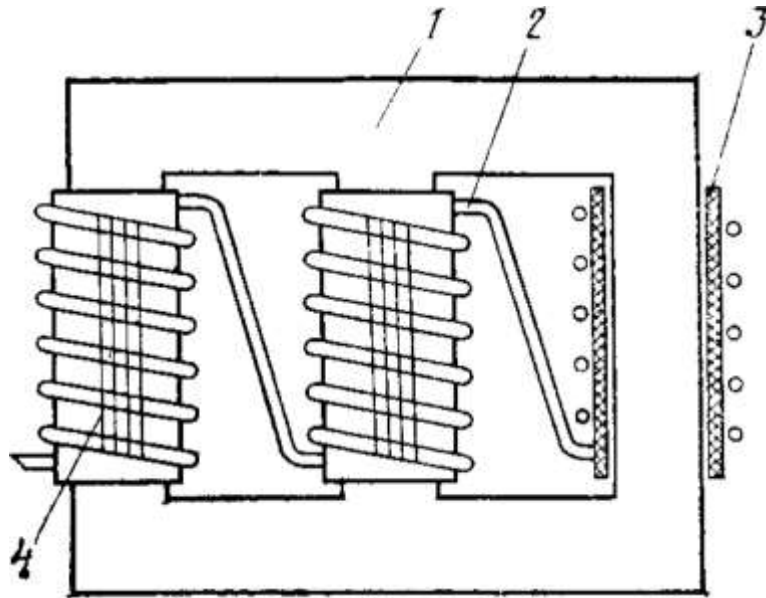


Рис.3. Пристрій із замкнутим магнітопроводом (водонагрівач-трансформатор):
1 – магнітопровід-осердя (рос. – «сердечник»); 2 – вторинна обмотка зі сталевих труб; 3 – первинна обмотка; 4 – шини, що закорочуються

Під **діелектричним нагрівом** розуміють нагрів діелектриків і напівпровідників у змінному електричному полі, під дією якого нагрівальний елемент поляризується. Поляризація – це процес змішування пов'язаних зарядів, що призводить до появи електричного моменту в будь-якого макроскопічного елемента об'єму. Поляризацію поділяють на пружну і релаксаційну: пружна (безінерційна) обумовлює енергію електричного поля, а релаксаційна (інерційна) – теплоту, що виділяється в нагрівальному матеріалі. При релаксаційній поляризації зовнішнім електричним полем створюється робота по подоланню сил внутрішніх зв'язків («тертя») атомів, молекул, заряджених комплексів. половина цієї роботи перетворюється в тепло.

Потужність, що виділяється в діелектрику, зазвичай відносять до одиниці об'єму та обчислюють за формулою:

$$P_V = \Re E_M^2,$$

де $\Re$ – комплексно-спряжена провідність матеріалу; E_M – напруга (напруженість) електричного поля в матеріалі.

Комплексна провідність:

$$\Re = j\omega\epsilon_0\epsilon_r,$$

де ϵ_r – повна комплексна діелектрична проникність.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''.$$

Дійсна частина ϵ' , яка називається діелектричною проникністю, впливає на кількість теплоти, яка може бути запасена в матеріалі. Уявна частина ϵ'' , яка називається фактором втрат, є мірою енергії (теплоти), що розсіюється в матеріалі.

ТЕМА 4. Методика визначення розрахункової потужності та вибір теплогенеруючих установок за добовими графіками теплових навантажень під час вільного та вимушеного електроспоживання. Класифікація водонагрівників і котлів.

Гарячу воду та пар використовують в якості теплоносіїв в системах опелення, в процесах кормоприготування, в захищеному ґрунті для поливу, в майстернях, для задоволення санітарно-гігієнічних потреб і т.д. Тваринниці ферми найбільш великі споживачі гарячої води. На фермах гарячу воду з температурою 353 К (80 °С) використовують для миття посуду, сеператорів, пастеризаторів, молокопроводів, автоцистерн і т.д. Для підмивання вимені коров застосовують воду температурою 313 К (40 °С), а для поїння тварин – температурою 285 К (12 °С).

Зазвичай воду нагрівають до 353...363 К, а потім шляхом додавання холодної (безпосередньо в споживача) доводять її до необхідної температури. Масу гарячої води (або витрати), що необхідна для отримання заданої кількості води (або витрат) $M_{\text{см}}$ температурою $T_{\text{см}}$, визначають за формулою:

$$M_{\text{Г}} = M_{\text{см}} \frac{T_{\text{см}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{Г}} - T_{\text{х}}},$$

де $T_{\text{х}}$ – температура холодної води; $T_{\text{Г}}$ – температура гарячої води.

Витрати теплоти на нагрів води та отримання пара залежать від кліматичного району, в якому розташована ферма, виду тварин і технології їх утримання.

Добовий графік теплових навантажень будують на основі добового графіка витрат води та пара за окремими процесами. Методику побудови таких графіків розглядають у дисципліні «Теплотехніка та застосування теплоти в сільському господарстві». Витрати гарячої води, а отже, і теплоти на тваринницьких фермах різко змінюються на протязі доби (рис. 1).

Змінні теплові навантаження значно ускладнюють умови теплопостачання. Обладнання для нагріву води і генерації пара довгий час працює при мінімальних навантаженнях, що суттєво погіршує його технологічні показники.

В сільському господарстві гарячу воду і пар отримують у вогневих і електричних водонагрівачах і парогенераторах. Електричні водонагрівачі та парогенератори встановлюють безпосередньо у споживачів, що дозволяє відмовитись від трубопроводів, які використовуються при централізованому теплопостачанні від котелень. Це значно зменшує витрати металу та втрати

теплоти, що особливо доцільно на об'єктах з невисокою річною кількістю годин використання обладнання.

Розповсюдженню електричних водонагрівачів і парогенераторів сприяє простота пристроїв, а також легкість в обслуговуванні, постійна готовність до роботи, легкість автоматизації.

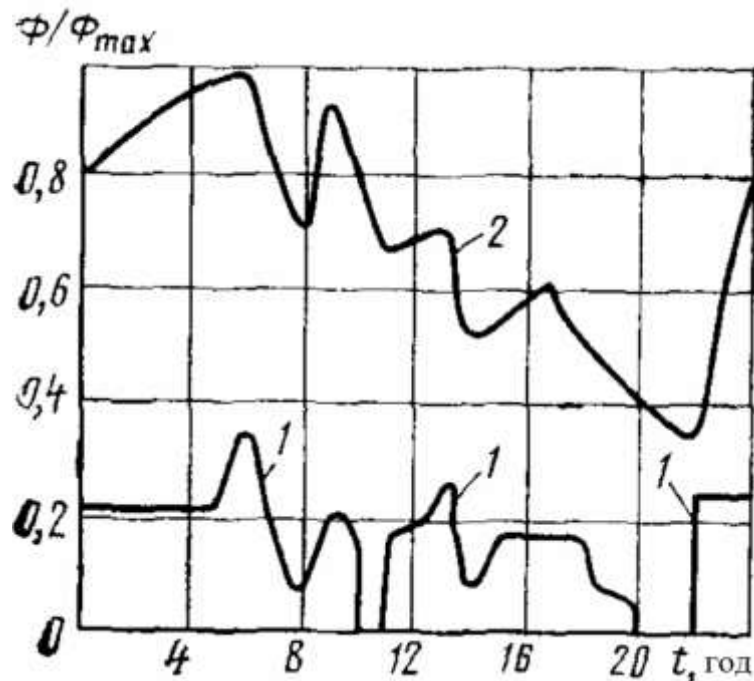


Рис. 1. Добовий графік теплового навантаження ферми КРС Ставропольського краю (зимовий період):

- 1 – тепловий потік для нагріву води та генерації пара;
2 – сумарне теплове навантаження ферми

За принципом дії електричні водонагрівачі поділяються на елементні, електродні та індукційні.

Водонагрівачі бувають проточного та непроточного (аккумуляційного) типу. Проточні апарати дозволяють отримати гарячу воду одразу після вмикання. Проте вони мають більшу встановлену потужність на одиницю теплової енергії. Непроточні апарати мають менші питомі встановлені потужності та можуть вмикатися в години провалів у добових графіках навантажень підстанцій.

Потужність проточного водонагрівача або парогенератора:

$$P_{\text{пр}} = \frac{k_3 \Phi_{\text{м}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{с}}},$$

де k_3 – коефіцієнт запасу; $\Phi_{\text{м}}$ – максимальний тепловий потік на протязі доби, Вт; $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{с}}$ – ККД нагрівача та системи труб.

Потужність водонагрівача аккумуляційного типу:

$$P_{\text{ак}} = \frac{k_3 Q_{\text{доб}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{с}} t_{\text{р}}}.$$

Тут $Q_{\text{доб}}$ – добова кількість теплоти, Дж (знаходять інтегруванням добового графіка теплових навантажень); t_p – сумарний час нагріву на протязі доби, с.

Водонагрівачі (парогенератори) обирають за потужністю, температурою, витратам води (пара) та призначенню. Електродні водонагрівачі в порівнянні з елементними простіші за конструкцією, дешевші, надійніші (не виходять з ладу при вмиканні без води), мають більш високий ККД, можуть бути виконані на значно більші потужності і т.д. Їх недоліки: залежність потужності від складу та температури води; вода забруднюється продуктами електрохімічних реакцій, що відбуваються на електродах; мають підвищену електробезпеку.

Індукційні водонагрівачі прості, надійні та не забруднюють воду. До їх недоліків слід віднести занижені $\cos \phi$ і ККД, а також підвищену матеріалоемність.

ТЕМА 5. Елементні водонагрівники періодичної і безперервної дії, електродні нагрівники. Призначення, будова, технічні характеристики, застосування, принципи керування та автоматизації. Електричні водонагрівачі та парові котли. Будова, призначення, принцип дії. Визначення потужності та вибір, принципи керування та автоматизації.

В сільському господарстві найбільш поширені низьковольтні водонагрівачі типу ЕПЗ, КЕВЗ, КЕВ і парогенератори типу КЕП і КЕПР.

Електродні водонагрівачі. Основні технічні дані електродних водонагрівачів приведені в табл. 1. Електродні водонагрівачі типу ЕПЗ призначені для нагріву води в системах опалення та гарячого водопостачання приміщень сільськогосподарського призначення, а також житлових і громадських споруд. Водонагрівачі для гарячого водопостачання можна використати лише при наявності теплообмінника, в первинний контур якого включений водонагрівач, а з вторинного контуру відбирається гаряча вода.

Таблиця 1. Основні технічні дані електродних водонагрівачів

Тип	Потужність, кВт	Витрати води, л/с	Діапазон регулювання потужності, %	Допустимі границі зміни питомого опору води при 293 К, Ом·м
ЕПЗ-25	25	0,24	10...100	10...50
ЕПЗ-60	60	0,58	10...100	10...50
ЕПЗ-100	100	0,96	10...100	10...50
КЕВЗ-250	250	2,4	20...100	10...50
КЕВЗ-400	400	2,4	20...100	10...50
КЕВЗ-1000	1000	3,5	20...100	10...50

Продовження таблиці 1. Основні технічні дані електродних водонагрівачів

КЕВ-40	40	0,38	25...100	10...70
КЕВ-60	63	0,6	25...100	10...70
КЕВ-100	100	0,96	25...100	10...70
КЕВ-160	160	1,53	25...100	10...70
КЕВ-250	250	2,4	25...100	10...70
КЕВ-400	400	3,8	25...100	10...70
КЕВ-1000	1000	9,5	25...100	10...70

Примітка. У водонагрівачів температура води на вході 343 К, а на виході – 368 К; напруга мережі 380 В.

При такому режимі роботи суттєво простіше підтримувати необхідне значення питомого електричного опору води, легше боротись з корозією та накипоутворенням.

Принципова електрична схема керування водонагрівачем ЕПЗ-100 показана на рис. 1. Схема передбачає: ручний і автоматичний режими роботи (перемикач *SA* відповідно в положення 1 або 2), підтримка заданої температури води (датчик *SK1*), захист установки, якщо температура води перевищує допустиму (датчик *SK2*), відключення водонагрівача при появі в нульовому проводі струму втрат (витіку – рос. «утечек»), що дорівнює 25 % фазного струму (реле *KA*), захист силових і допоміжних кіл від струмів короткого замикання (запобіжники *FU*).

Електроводонагрівачі іншого типу – КЕВ, виготовляються в двох варіантах: з пластинчастими (для води з питомим опором $\rho > 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) і циліндричними (для води з $\rho < 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) електродами.

В залежності від потужності апарата та питомого опору води кількість електродних пластин обирають $3n + 1$, де n – ціле число. Електродні пластини ізолювані одна від одної фторопластовими втулками. Відстань між пластинами регулюють в залежності від питомого електричного опору води. Трифазний струм від мережі підводиться до електродів по трьом провідним каналам (шпилькам), що ізолювані від дна прохідними ізоляторами. Потужність регулюють шляхом обертання штурвала, що встановлений на верхній кришці котла. При цьому пакет електроізоляційних пластин входить або виходить в зазори між електродними пластинами. Для вирівнювання потужності по фазам крайні пластини електродів з'єднані між собою і ізолювані з зовнішньої сторони. Основна частина потужності виділяється в міжелектродних просторах, еквівалентній схемі з'єднання яких є трикутник.

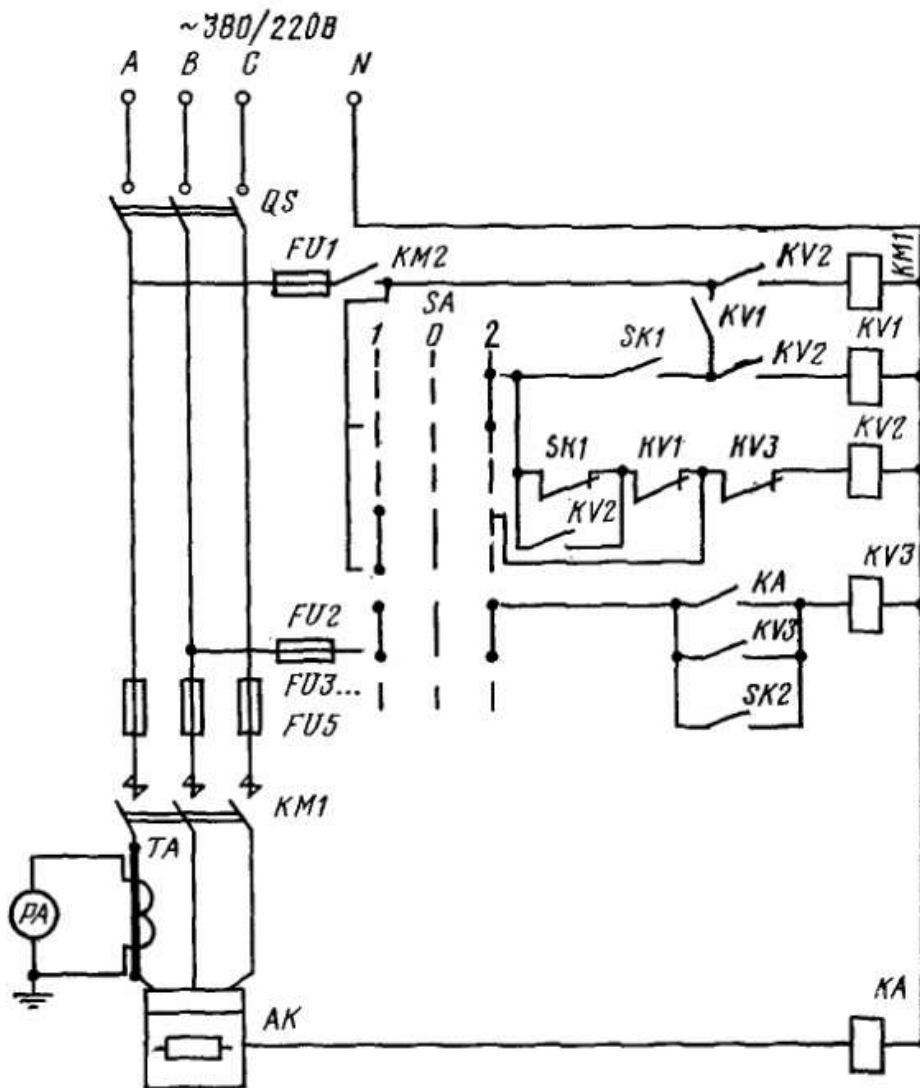


Рис. 1. Принципова електрична схема керування роботою водонагрівача ЕПЗ-100:

QS – рубильник; FU1...FU5 – запобіжники;

SA – універсальний перемикач; KM1 – лінійний контактор;
KV1...KV3 – проміжні реле; KA – реле максимального струму;

TA – трансформатора струму; PA – амперметр;

SK1 – манометричний регулюючий термометр;

SK2 – манометричний аварійний термометр;

KM2 – блок-контакти магнітного пускача двигуна насоса

Електродні парогенератори. Конструктивно електричні парогенератори дещо відрізняються від водонагрівачів. Це зумовлюється тим, що в парогенераторі вода випаровується, а солі, що містяться в ній, залишаються, та в процесі роботи провідність котлової води збільшується, що може призвести до виходу з ладу електродної системи. Тому що в усіх парогенераторах передбачається безперервна або періодична продувка (видалення частини котлової води з підвищеною концентрацією солі).

В усіх конструктивних схемах парогенераторів передбачається автоматичне регулювання потужності (в залежності від навантаження) за рахунок глибини занурення електродів в котлову воду (зміна рівня води).

В сільському господарстві використовуються парогенератори КЕПР і КЕП (табл. 2).

Таблиця 2. Основні технічні дані електродних парогенераторів

Тип	Потужність, кВт	Максимальна продуктивність, кг/год	Максимальна температура, К	Допустимі границі зміни питомого опору води, Ом·м
1КЕП-25	25	30	437,5	16...64
1КЕП-160	160	215	437,5	16...64
1КЕП-250	250	334	437,5	16...64
1КЕП-400	400	550	437,5	16...64
1КЕП-600	600	809	437,5	16...64
КЕПР-160	160	200	437,5	20...70
КЕПР-250	250	350	437,5	20...70

Примітка. Напруга мережі 380 В; максимальний тиск 0,6 МПа.

Елементні водонагрівачі виконуються, як правило, з трубчастими нагрівачами, і тому в порівнянні з електродними вони більш безпечні в експлуатації, не забруднюють воду, мають практично незмінну потужність. Проте вони менш надійні через обмежений строк служби нагрівачів, мають більш високі експлуатаційні витрати. В основному елементні водонагрівачі випускають на невеликі потужності (до 30 кВт) і застосовують для постачання гарячою водою невеликих розрізнених споживачів. Завдяки добрій тепловій ізоляції водонагрівачі з акумулюванням здатні довгий час (до 10 год) зберігати температуру гарячої води, що дозволяє вмикати їх в нічний час, коли навантаження електричних мереж мале.

В сільському господарстві використовуються водонагрівачі типів УАП, САОС, УНС і ВЕТ.

Електроводонагрівачі серії УАП, технічні характеристики яких приведені в табл. 3, мають нагрівач і щит керування.

Таблиця 3. Основні технічні дані водонагрівачів типу УАП

Тип	Номінальна потужність, кВт	Номінальна напруга, В	Число ТЕН*	Корисна зміщувальність, л	Робоча температура	Час нагріву до робочої температури, год
УАП-100/0,4**	2	220	1	100	318	3
УАП-300/0,2**	6	380/220	3	300	289	2
УАП-400/0,9	12	380/220	6	400	363	3
УАП-800/0,9	18	380/220	9	800	363	5
УАП-1600/0,9	30	380/220	15	1600	363	6

* ТЕН-100В 13/2 П220.

** Без теплової ізоляції.

Електрична принципова схема водонагрівача УАП-800 приведена на рис. 2. Схема передбачає захист нагрівачів від струмів короткого замикання (запобіжниками *FU1, FU2*, регулювання температури (датчиками *SK1, SK2*), проміжними реле *KV1* і *KV2*) і світлову сигналізацію о роботі нагрівачів (сигнальними лампами *HL1* і *HL2*).

Водонагрівач може працювати в трьох режимах.

У форсованому режимі ввімкнені верхня II і нижня I зона (вимикачі *SA1* і *SA2* замкнуті). В акумуляційному режимі працює тільки нижня I зона (вимикач *SA1* замкнутий, а *SA2* розімкнутий).

В режимі розігріву 0,25 частина ємності ввімкнена тільки верхня зона (вимикач *SA2* замкнутий, а *SA1* розімкнутий).

Схема керування водонагрівачем УАП-1600 відрізняється від описаної тим, що нагрівачі зони I розділені на дві групи, кожна з яких керується своїм магнітним пускателем.

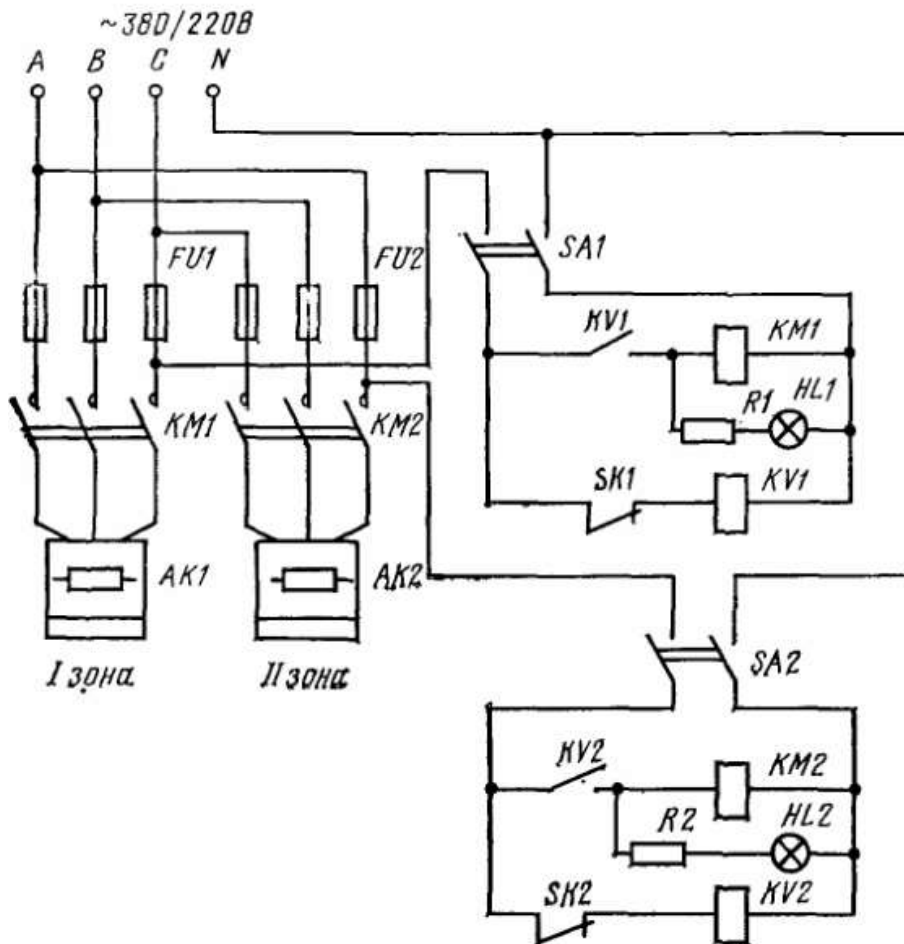


Рис. 2. Принципова електрична схема керування роботою водонагрівача УАП-800:

FU1 і FU2 – запобіжники; *KM1 і KM2* – магнітні пускачі;
AK1 і AK2 – ТЕНи I і II зон; *KV1 і KV2* – проміжні реле;
SA1 і SA2 – вимикачі; *SK1 і SK2* – датчики температури;
HL1 і HL2 – сигнальні лампи

В водонагрівачах УАП-100, УАП-300 і УАП-400 відсутні нагрівачі зони II. Тому, і схема керування містить тільки частину схеми, що зображена на рис. 2, яка вмикається вимикачем *SA1*.

ТЕМА 6. Електротермічне обладнання систем загального електроопалення. Електрокалориферні установки, припливно-витяжні установки, кондиціонери, тепловентилятори, термоакумулючі установки. Будова, застосування, технічні характеристики, методика розрахунку потужності, їх вибір.

Сучасні тваринницькі приміщення обладнують примусовою вентиляцією, яку поділяють на витяжну, припливну та припливно- витяжну.

Для видалення забрудненого повітря, особливо з зон найбільшого накопичення шкідливих речовин, найбільш ефективна витяжна вентиляція. Припливна вентиляція забезпечує інтенсивну подачу зовнішнього свіжого повітря. В зимовий час припливне повітря підігрівається. При розрахунку припливної і витяжної систем вентиляції передбачають перевищення припливу повітря над витяжкою приблизно на 10...20 %. Створюваний таким чином підпір повітря запобігає від проникнення в приміщення сторонніх частинок і хвороботворних мікроорганізмів. Такі міри особливо важливі в приміщеннях для телят, свиней з поросятами та в птахівниках.

Потужність, Вт, опалювальної системи розраховують на основі теплового балансу:

$$\Phi_{\text{оп}} = \Phi_0 + \Phi_{\text{в}} + \Phi_{\text{сл}} + \Phi_{\text{і}} - \Phi_{\text{ж}}.$$

Втрати тепла, Вт, через всі зовнішні огороження:

$$\Phi_0 = \sum_{i=1}^n \Phi_{0i} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta T}{R_i},$$

Φ_{0i} – тепловий потік через окремі огорожувальні конструкції, Вт;

ΔT – різниця температур внутрішнього та зовнішнього повітря.

Розрахунок термічного опору R_i окремих огорожувальних конструкцій проводиться окремо за допомогою спеціалізованої літератури.

Тепловий потік, Вт, що йде на нагрів припливного повітря:

$$\Phi_{\text{в}} = V_t \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} \Delta T,$$

де V_t – об'ємна подача повітря, м³/с; $\rho_{\text{в}}, c_{\text{в}}$ – густина та питома теплоємність повітря.

Тепловий потік $\Phi_{\text{вип}}$, що обумовлений випадковими втратами, становить 10...15 % сумарних тепловтрат $\Phi_0 + \Phi_{\text{в}}$, а потік, що витрачається на випаровування вологи, визначають за формулою:

$$\Phi_{\text{і}} = 2260 m_t 10^3,$$

де m_t – кількість вологи, що випаровується в приміщенні з мокрих поверхонь, кг/с.

Тепловий потік $\Phi_{\text{ж}}$, який виділяється тваринами:

$$\Phi_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n \Phi_{\text{і}} n_i,$$

де Φ_i – тепловий потік, який виділяється однією твариною даного виду, Вт;

n_i – число тварин даного виду в приміщенні.

Для опалення використовують різні енергоносії: тверде та рідке паливо, природний газ або електроенергію.

Відомо багато електричних систем опалення. Їх класифікація приведена на рис. 1.

Центральні системи електроопалення, основний елемент яких електрокотельні, в принципі не відрізняються від звичайних систем з паливними котельнями. В більшості тваринницьких приміщень оптимальний мікроклімат створюють, застосовуючи індивідуальні електричні системи, тобто теплогенеруюче джерело знаходиться в самому приміщенні або безпосередньо в місцях розташування тварин.

Найбільш поширені системи прямого опалення, в яких відсутні пристрої для рекуперації теплоти повітря, що видаляється, а дефіцит теплоти приміщення компенсується за рахунок електроенергії. Вони прості, надійні, проте енергоємні (необхідні трансформатори великих встановлених потужностей).

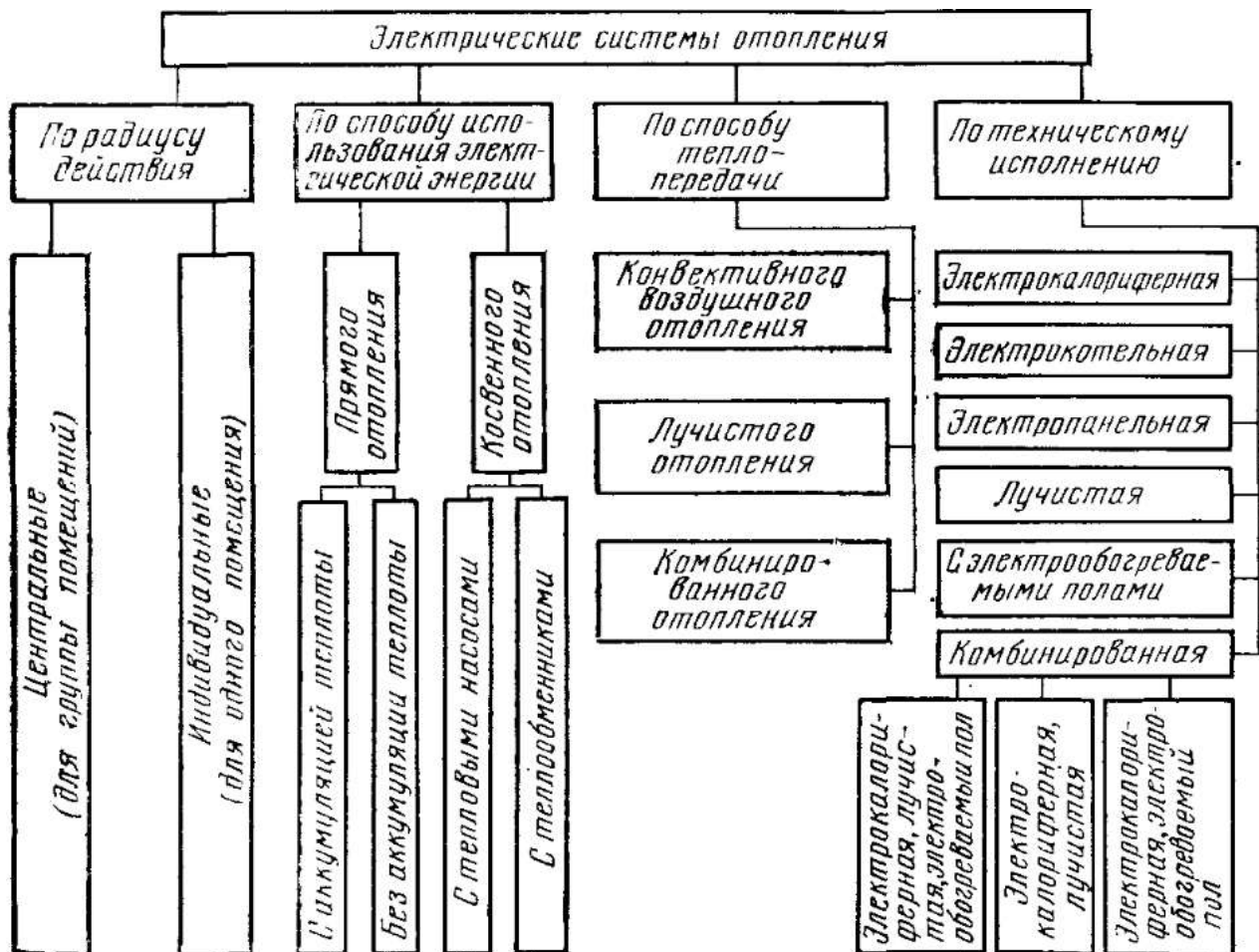


Рис. 1. Класифікація електричних систем опалення

Досліджувані системи непрямого опалення, що засновані на утилізації теплоти, яке видаляється з приміщення. При використанні цих систем витрати електроенергії на опалення будівель знижується в декілька разів.

В сільському виробництві найбільш поширені системи прямого конвективного повітряного опалення з використанням електрокалориферів і комбінованого опалення. При використанні останньої системи температура в усьому приміщенні підтримується на мінімальному рівні за рахунок електрокалорифера, а в місцях перебування тварин підвищується до оптимальної за рахунок установки електроконвекторів, інфрачервоних опромінювачів, електричних панелей або підлог, які обігріваються.

ТЕМА 7. Електронагрівальні установки для теплової обробки та сушіння сільськогосподарських продуктів і кормів. Установки для активного вентилявання зерна та сіна, їх будова, схеми керування. Розрахунок електропідігрівачів повітря.

Корми піддають термообробці (варінню та запарюванню) для поліпшення їх поїдання та засвоювання тваринами.

При термообробці кормів, яка заснована на принципі зовнішнього енергопідведення, теплота усередині матеріалу розповсюджується за рахунок його теплопровідності.

Оскільки теплопровідність сільськогосподарських продуктів мала, процес обробки тривалий. Крім того, через малу теплопровідність продукти нагріваються нерівномірно, що призводить до перегріву частини корму. Через тривалість і нерівномірність нагріву втрачаються поживні речовини та підвищуються витрати енергії на обробку.

Тому більш перспективні електротехнологічні методи обробки корму.

Для термообробки вологих кормів (картопля, коренеплоди, змочена солома, **меляса** (рос. – «меласса»: **кормовая патока**, побочний продукт сахарного производства; **сиропообразная жидкость** тёмно-бурого цвета со специфическим запахом)) і т.д. Дослідженнями встановлено, що при введенні енергії безпосередньо в матеріал процес обробки інтенсифікується, зменшуються втрати теплоти в оточуюче середовище, знижується температура нагріву та за рахунок цього скорочуються витрати енергії на обробку (табл. 1).

Таблиця 1. Тривалість і питомі витрати енергії при різних способах теплової обробки кормів

Процеси	Електродна обробка		Обробка паром	
	тривалість обробки, хв	питомі витрати енергії, МДж/кг	тривалість обробки, хв	питомі витрати енергії, МДж/кг
Запарювання картоплі	5...8	0,32	40...60	0,4...0,44
Термохімічна обробка соломи	15...25	0,5...0,8	120...180	1,0...2,3
Підігрів меляси	1,5...2	0,09...0,1	35	0,165

Електродна обробка кормів можлива лише в тому випадку, якщо електричне поле в оброблюваному матеріалі рівномірне, між електродами та оброблюваним матеріалом надійний контакт, ерозійна стійкість електродів висока та вони не вступають в реакцію з оброблюваним матеріалом.

Електричне та температурне поля в оброблюваному матеріалі залежать від його теплопровідності, часу обробки та форми електродів. Рівномірний розподіл температур, а отже, і енергії за об'ємом матеріалу забезпечується плоскопаралельною системою електродів.

Для надійного контакту з електродами оброблюваний матеріал подрібнюють, зволожують або ущільнюють.

В якості матеріалів для електродів використовують нержавіючу сталь, графіт, титан. Графітові електроди доцільно використовувати при обробці картоплі та коренеплодів; електроди з нержавіючої сталі – для обробки грубих кормів і фуражного (кормового) зерна, електроди з титану – для обробки меляси.

ТЕМА 8. Електричні холодильні машини та теплові насоси.

Компресорні холодильні машини, їх будова, принцип дії, термодинамічний цикл, технічні характеристики, основні енергетичні параметри, схеми керування. Термоелектричне охолодження. Фізичні принципи, енергетичні співвідношення.

Встановлену потужність калорифера можна знизити, якщо утилізувати теплоту, що видаляється з забрудненим повітрям. Для утилізації теплоти використовують теплообмінні апарати і теплові насоси.

Теплообмінні апарати бувають рекуперативні і регенеративні. В рекуперативних теплообмінниках теплота передається від «гарячого» повітря, що видаляється, до припливного холодного через стінку, яка їх розділяє (листова сталь, фольга, скло, пластмаса, лавсанова плівка (полімерна)). В

регенеративних теплообмінних апаратах тепло переносний матеріал – насадка (алюмінієві пластини, щєбінка та ін.) по чергово перебуваючи в контактї то з «гарячим» повітрям, що видаляється, то з припливним холодним, передає теплоту від першого до другого.

Основна причина, що стримує застосування теплообмінних апаратів у системі опалення тваринницьких ферм, – обмерзання теплопередавальних поверхонь при низьких температурах зовнішнього повітря.

З усіх конструкцій рекуперативних теплообмінників найбільш вдала конструкція апарату типу ТСН, що представляє собою пакет (секцію) теплообмінних металевих пластин, розділених перегородками на канали. Через одні канали проганяється холодне припливне повітря, через інші видаляється тепле повітря. Площа всіх пластин секцій 38 м^2 . Одна секція теплообмінника розрахована на подачу 1 м^3 повітря в секунду. В залежності від подачі припливної вентиляції теплообмінник виконується одно- чи багатосекційним.

Основною умовою успішної роботи (без обмерзання) теплообмінника є нерівність:

$$|(\alpha_1 + \alpha_n)(T_1 - 273)| \geq |\alpha_2(T_2 - 273)|,$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі при теплообміні повітря, що видаляється, і припливного повітря без конденсації водяного пара, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

α_n – коефіцієнт тепловіддачі при конденсації водяного пара повітря, що видаляється, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

T_1, T_2 – температура повітря, що видаляється, і припливного повітря, К.

Розроблена електрокалориферна установка сільськогосподарського призначення з регенеративним теплообмінником (рис. 1). Повітря з приміщення підігрівається в калорифері 2 до $303 \dots 308 \text{ К}$ і через вузол 3 перемикає заслінки подається в одну з секцій теплообмінника. Проходячи через насадку теплообмінника (алюмінієві чергу вальні гофровані та гладкі пластини), повітря нагріває її і охолоджений викидається назовні. Одночасно другий вентилятор подає свіже повітря в другу секцію, де він нагрівається від насадки і через вузол перемикає 3 подається в приміщення. Заслінка через $2 \dots 5 \text{ хв}$ перемикається, що забезпечує періодичну зміну напрямку руху повітря в секціях.

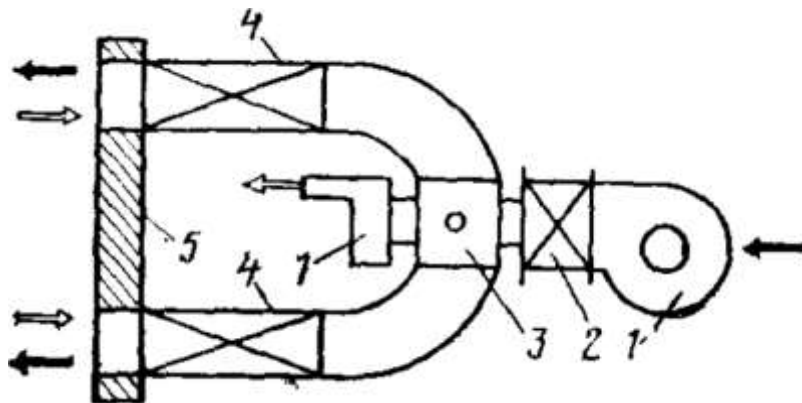


Рис. 1. Схема електрокалориферної установки з утилізацією теплоти:

- 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – вузол перемикає заслінки;
- 4 – секція регенеративного теплообмінника; 5 – стіна приміщення

Теплова потужність установки 40 кВт при встановленій потужності 16 кВт, подача повітря 1 м³/с.

Приміщення можуть обігріватись за допомогою теплових насосів як за рахунок теплоти повітря, що видаляється, так і за рахунок інших джерел теплоти (земля, сонце, вода). Насоси бувають компресорного, абсорбційного та напівпровідникового типів. В основі роботи напівпровідникових теплових насосів лежить ефект Пельтьє, що полягає в тому, що якщо через різномірні матеріали, які спаяні на кінцях, пропустити постійний струм, то один спай нагріється, а інший охолідиться.

Якщо електричне коло, яке складається з великого числа спайв, розташувати так, щоб спай, де відбувається виділення теплоти (нагрів), знаходились в припливному повітроводі, а спай, де поглинається теплота, в витяжному, то при пропусканні електричного струму можна підігріти холодне чисте повітря в припливному повітроводі. В літній час достатньо змінити напрям струму в колі і припливне повітря буде охолоджуватись.

Ефективність роботи теплових насосів оцінюється опалювальним k_0 і холодильним k_x коефіцієнтами:

$$k_0 = Q_T / Q_e; k_x = Q_x / Q_e; k_0 = 1 + k_x,$$

де Q_T – теплота, що отримана в гарячому каналі; Q_x – теплота, що вилучена з холодного каналу; Q_e – електрична енергія, що витрачена на створення різниці температур між спаями.

Теоретично гранично досяжний $k_0 = 30$, а практично його значення не перевищує 4...5.

Вважається, що теплові насоси можна ефективно застосовувати для опалення приміщень в південних районах країни: взимку – в режимі опалення, а влітку – в режимі охолодження.

ТЕМА 9. Електронагрівальні прилади для приготування страв, гарячого водопостачання, опалення, перспективи розвитку, особливості будови та експлуатації.

Соціально-економічні та технічні передумови електрифікації побуту

В сільських домах основним енергоносієм для отримання теплоти є тверде паливо. Його використання потребує значних витрат праці та часу.

Разом з тим централізоване теплопостачання сільських населених пунктів з їх малоповерховою забудовою та присадибними ділянками економічно неефективно через низьке теплове навантаження (приблизно 100 кВт/га).

Разом з тим централізоване теплопостачання сільських населених пунктів з їх малоповерхової забудовою та присадибними ділянками економічно неефективно через низьке теплове навантаження (приблизно 100 кВт/га). Протяжні теплові мережі призведуть до зростання експлуатаційних витрат на їх обслуговування та до додаткових втрат теплоти. Тільки застосування

електричної енергії дозволяє раціонально вирішити проблему теплопостачання сільських житлових будинків.

Основні технічні фактори, що впливають на розвиток системи теплопостачання житлових будинків із застосуванням електроенергії, можна сформулювати наступним чином:

- зростання енергетичної бази країни;
- використання побутовими електроопалювальними приладами надлишкових потужностей електростанцій в нічний час;
- обмежений запас копалин паливних ресурсів і тенденція до подорожчання їх вироблення;
- підвищений попит на електричні опалювальні системи, що забезпечують великий комфорт, високий ступінь чистоти повітряного середовища і можливість плавного регулювання теплового режиму приміщень.

Перераховані чинники обумовлюють хорошу перспективу електрифікації побуту.

Електронагрівальні прилади для приготування страв

Електроприлади, використовувані для приготування їжі, поділяють на чотири великі групи: жарочні шафи, електроплити, електроплитки і спеціалізовані прилади (електрошашличниці, електрокасковороди, електровафельниці, електрокастрюлі, електропароварки та ін.).

Жарочні шафи та електроплити. Жарочні шафи бувають вбудовані та настільні. Вбудований жарочна шафа представляє собою металевий корпус, що має теплоізоляцію. Шар теплоізоляції покритий алюмінієвою фольгою, яка виконує роль екрану. Корпус шафи кріпиться до передньої стінки плити. Шафа закривається дверцями, в яку вмонтовано оглядове скло. Продукт в шафі нагрівається трубчастими нагрівачами. У деяких шафах встановлюють магнетрони і для нагріву використовуються струми надвисокої частоти.

Настільні шафи улаштовані аналогічно (за винятком більш якісної обробки металевого корпусу).

Електроплита – універсальний прилад для приготування їжі. Плити бувають настільні, підлогові та вбудовані. Їжу готують на конфорочній панелі електроплити або в духовці. Основні елементи плити: конфорочна панель з конфорками, панель керування, духовка. Конфорочні панелі виготовляють з чавунними, трубчастими або пірокерамічними конфорками. Конфорка виконує функції нагрівача. Найбільш поширена кругла форма конфорки.

Чавунні конфорки мають два або три спіральних паза, в які укладають електроізоляцію – периклаз – і нагрівальні елементи, що виготовляються у вигляді спіралі з ніхрому (Х20Н80-Н). Наявність у конфорці декількох спіралей дозволяє найбільш просто змінювати її потужність. Трубчасті конфорки виконують з одного, двох або трьох ТЕН. Для підвищення к.к.д. конфорки під ТЕН встановлюють відбивач. У конфорках використовують як однокінцеві двухспіральні, так і двухкінцеві односпіральні ТЕНи. Трубчасті нагрівачі працюють при високих температурах (800...1000 К), постійно піддаються механічним і хімічним діям, тому їх оболонку виконують з нержавіючої сталі.

Пірокерамічні конфорочні панелі – це подальший крок на шляху вдосконалення плит. Вся поверхня конфорочної панелі покрита склокерамікою, яка є стійкою до теплових і механічних впливів, з низьким коефіцієнтом лінійного розширення та малою теплопровідністю.

Інфрачервоні нагрівачі розташовують під керамікою, а місця їх встановлення позначають рисунком. При нагріванні частина настилу вже на відстані 2...5 см від конфорки-рисунка залишається практично холодною. Для зниження втрат під інфрачервоними нагрівачами прокладений шар теплоізоляції. Пірокерамічні конфорочні панелі випускають з двома або чотирма нагрівачами. Під кожною «конфоркою» розташовується датчик терморегулятора. В якості ІЧ-нагрівача використовують: стрічку з ніхрому, намотану на міканіт; спіраль у кераміці; ТЕН; інфрачервоні лампи. Основні технічні характеристики конфорок наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основі технічні дані конфорок

Тип	Діаметр, мм	Потужність, Вт	ККД, %	Час розігріву до робочої температури, хв
Чавунні	145	800, 1000, 1500	69...72	10 (5)
	180	1200, 1500, 2000		
	220	1800, 2000, 2600		
Трубчасті	145	1000, 1200, 1600	75...79	3...4
	180	1500, 1800, 2100		
	200	2000		
Пірокерамічні	145	1000, 1200, 1500	70	6
	180	1800, 2000		

Електроплитки та спеціалізовані прилади. Основний елемент плиток – конфорочна панель і панель керування. На відміну від електроплит конфорочну панель плиток виготовляють в одно- і двоконфорчному варіанті. Електроплитки випускають потужністю 1...2 кВт на напругу 220 В.

Спеціалізовані прилади можна розділити на три групи. Перша група включає прилади, в яких обробка продукту ведеться інфрачервоними променями. До них відносяться електрогрилі, електрошашличниці та електротостери. Друга група включає прилади контактного нагрівання – електросковороди, електровафельниці, електрожаровні. До третьої групи відносяться електрокастрюлі, електропароварки, електрофритюрниці.

Електротермічні прилади для нагріву води

Дані прилади поділяються на дві групи: електроводонагрівачі та переносні прилади для нагрівання і кип'ятіння невеликої кількості води.

Електроводонагрівачі бувають непроточні (теплоакумулювальні) і проточні. За принципом дії побутові електроводонагрівачі не відрізняються від елементних електроводонагрівачів сільськогосподарського призначення. Основні технічні характеристики деяких водонагрівачів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Основні технічні дані електроводонагрівачів

Найменування показників	Значення показників нагрівачів	
	УНС	«Курск»
Встановлена потужність, кВт	1,25	2,00
Робоча температура води, К	358	333
Місткість бака, л	10; 40; 60; 100	—
Об'ємні витрати води, л/с	—	0,65
Час нагріву до робочої температури, год	1; 3,2; 4,8; 7,8	—

До переносних приладів для нагріву та кип'ячення невеликої кількості води відносяться заглибні електрокип'ятильники, електрокувшини, електрочайники та електросамовари.

Електрокип'ятильники – допоміжні прилади для нагрівання води в будь-якому посуді. Конструктивно вони представляють собою трубчастий нагрівач ТЕН, що забезпечений шнуром живлення. Потужні електрокип'ятильники комплектують термовимикачем. Промисловість випускає електрокип'ятильники типу ЕПМ, ЕПО, ЕПОТ потужністю 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,2; 1,6 і 2 кВт. Кип'ятильники розраховані на напругу 220 В.

Електрокувшини, електрочайники, електросамовари призначені для швидкого кип'ятіння невеликої кількості води. Кип'ятити воду в цих приладах більш економічно і зручно, ніж на електроплитках. Конструкція всіх цих приладів приблизно однакова. Відмінності полягають лише у зовнішньому оформленні.

Електротермічні установки для опалення

Побутові електроопалювальні прилади (БЕОП) класифікують:

- за призначенням: для повного покриття опалювального навантаження, покриття пікових навантажень та додаткового опалення в окремих приміщеннях (**доводчики**);
- за способом установки: стаціонарні (**електроконвектори, електрорадіатори, електродні котли, теплоакумулювальні печі, електрообігрівальні підлоги, плінтуси, шпалери**) та переносні (**електротепловентилятори, електрокаміни, інфрачервоні електронагрівачі, електричні мати і ін.**);

- по наявності акумуляції тепла: **акумуляційні**, що забезпечують цілодобове опалювання та ті, що вмикаються під час добових провалів навантаження на 10...15 год; **напівакумуляційні**, що забезпечують опалення протягом 2...4 год при відключенні електричного живлення; без акумуляції тепла – прямого опалення;
- по виду тепловіддачі: вільної конвекції і випромінюванням.

ТЕМА № 10. Електрофізичні фактори в природі, їх вплив на рослинний і тваринний світ. Електрофізичні та електрохімічні явища та процеси в біологічних об'єктах. Електротехнологія, визначення та перспективи розвитку.

Електричний струм на об'єкт обробки може надавати різну дію: теплове, фізико-хімічну, біологічну. Розглянемо процеси, засновані переважно на фізико-хімічному і біологічному дії електричного струму.

Коротка характеристика фізико-хімічної дії електричного струму

Технологічне застосування фізико-хімічної дії струму в сільськогосподарському виробництві базується в основному на наступних процесах і методах, що вивчаються фізичною хімією: електролізі, електрокоагуляції, електроосмос, електродіалізі.

Електроліз – це сукупність окисно-відновних процесів, які відбуваються на електродах, занурених в електроліт, при проходженні через нього постійного електричного струму. Основні області застосування електролізу – отримання різних речовин та нанесення покриттів.

Електрокоагуляція – метод очищення водної системи від зважених найдрібніших частинок домішок шляхом введення в неї коагулянтів (хімічних речовин, що забезпечують переклад зважених часток в осад). Сутність методу, заснованого на отриманні коагулянтів за допомогою електролізу, полягає в анодному розчиненні металу (зазвичай алюмінію або заліза) у водному середовищі з подальшим утворенням відповідного гідроксиду $[Al(OH)_3]$ або $Fe(OH)_3$. Пластівці гідроксиду, практично нерозчинного у воді, своєю поверхнею поглинають зважені частинки і разом з ними випадають в осад.

Електрокоагуляцію застосовують для очищення природних і стічних вод. У електрокоагулятор алюмінієві або залізні пластини-електроди збирають у пакети з міжелектродною відстанню 10...12 мм. Оптимальна щільність струму 10...40 А/м². Переваги електрокоагуляції перед традиційною реагентною коагуляцією: економія реагенту, простота обслуговування, можливість повної автоматизації.

Електроосмос – це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму при накладенні зовнішнього електричного поля. Сутність даного явища, відкритого в 1807 р. російським хіміком Ф. Ф. Рейссом, можна пояснити наступним чином. На кордоні контакту двох фаз (твердої і рідкої) за рахунок перерозподілу електричних зарядів утворюється так званий подвійний електричний шар. Його можна представити у вигляді конденсатора, відстань між обкладинками якого

становить лише кілька молекулярних шарів. Одна з обкладинок такого конденсатора – це заряди на поверхні твердого тіла, інша – заряди в рідині. Якщо вздовж границі контакту докласти різницю електричних потенціалів від зовнішнього джерела, то заряджений шар рідини під дією зовнішнього поля буде прагнути переміститися в бік протилежної (в порівнянні зі знаком заряду цього шару) полюси джерела. За рахунок внутрішнього тертя рух зарядженого шару передається сусіднім верствам незарядженої рідини. Таким чином, виникає рух рідини під дією електричного поля відносно твердої фази.

Електродіаліз – перенесення іонів під дією електричного поля через іоноселективні мембрани. Дані мембрани, виготовлені зі спеціальних іонообмінних матеріалів, містять високу концентрацію нерухомих (фіксованих) іонів, хімічно пов'язаних з каркасом мембрани, і тому пропускають іони тільки одного знака заряду. Основна область застосування електродіалізу – опріснення води.

Сутність електродіалізу розглянемо на прикладі найпростішого електродіалізатора з трьома камерами (рис. 1).

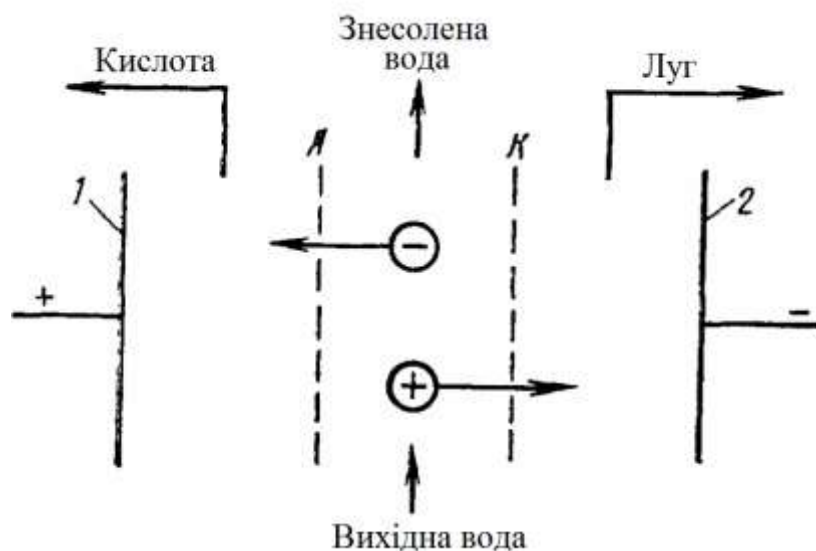


Рис. 1. Схема трикамерного електродіалізатора:
1 – анод; 2 – катод; А – аніонітова мембрана; К – катіонітова мембрана

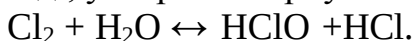
Середня камера відділена від бічних іоноселективними мембранами А і К. У середню камеру подається вихідна опріснювана вода. У бічних камерах розташовані електроди – анод 1 і катод 2, до яких підведена постійна електрична напруга. Катіони (+), що знаходяться в опріснюваній воді розчинених солей рухаються під дією електричного поля в напрямку катода, а аніони (-) рухаються в напрямку анода. Катіонітова мембрана К в електричному полі проникна тільки для катіонів, аніонітова мембрана А – тільки для аніонів. Тому солонна вода в середній камері опріснюється. В анодній камері промивна вода підкисляється, в катодній – підлужається (рос. – «подщелачивается»).

Використання фізико-хімічної дії електричного струму

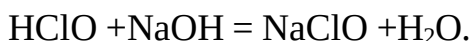
Отримання дезінфікуючими розчину.

На тваринницьких фермах і комплексах воду, молочний посуд, доїльне та інше технологічне обладнання для знезараження обробляють розчинами, що містять хлор. Вони можуть бути отримані шляхом електролізу водного розчину кухонної солі. Для цього використовують установку ЕДР-0,1, що містить ємність, у яку поміщений електролізний апарат.

Перед початком роботи в ємність установки заливають 20 л 5%-ного розчину кухонної солі (1 кг солі на 20 л води). Потім на електроди електролізного апарата подають постійну напруга 24 В від випрямляча ВСА-6К (первинна напруга змінного струму 220 В). Через водний розчин кухонної солі NaCl проходить струм, обумовлений переміщенням іонів Na^+ і H^+ до катода, а іонів Cl^- і OH^- до анода. На катоді в результаті відновлення іонів H^+ виділяється газоподібний водень, а на аноді в результаті окислення іонів Cl^- – газоподібний хлор. Іони Na^+ , з'єднуючись з іонами OH^- , утворюють їдкий натр NaOH; хлор, розчиняючись у воді, утворює хлорнуватисту і соляну кислоти:



Хлорнуватиста кислота взаємодіє з їдким натром і утворюється гіпохлорит натрія NaOCl:



Хлорнуватиста кислота і гіпохлорит натрію, будучи сильними окислювачами, обумовлюють дезінфікуючу дію розчину. Дезінфікуючий розчин готують 1,5...2 год. На отримання 1 кг активного хлору витрачається 8...10 кг кухонної солі і 5,5...7 кВт·год електроенергії. Потужність, споживана установкою, складає 350...600 Вт (на постійному струмі). В порівнянні з використанням готових реагентів (рідкого хлору, хлорного вапна, гіпохлориту кальцію) знезараження за допомогою електролітичного гіпохлориту натрію, одержуваного на місці, дозволяє уникнути труднощів і витрат, пов'язаних з транспортуванням та зберіганням токсичних речовин.

Комплексна очистка та знезараження питної води на пасовищах, фермах і в селищах при добовому споживанні близько 10 м³ може здійснюватися в електрохімічній установці УВ-0,5. Установка включає в себе фільтр-електролізер для електрокоагуляції тонкодисперсних, в тому числі бактеріальних, забруднень; гіпохлоритний електролізер для знезараження води; срібний електролізер для консервування води. Вода після обробки іонами срібла зберігає свої властивості більше місяця. Споживана потужність установки 2,5 кВт.

Опріснення води. В умовах сільськогосподарського виробництва, особливо на пасовищах, для опріснення води застосовують електродіалізні установки (табл. 1).

Таблиця 1. Основні техніко-економічні дані деяких електродіалізних установок сільськогосподарського призначення

Тип установки	Продуктивність, м ³ /год	Вміст солі в воді, г/л		Питомі витрати електроенергії, кВт·год/м ³
		вихідний	опрісненої	
ЕОУ-НППМ-12	0,5	4	0,85	1,5
СЕХО-2	0,15	10	1	7
ЕОСХ-2М	3,5	7	1	2,3

Нанесення гальванічних покриття в ремонтному виробництві. Для відновлення зношених деталей, а також для захисту від корозії відновлюваних і знову виготовлюваних призначені гальванічні покриття. Процес нанесення гальванічних покриттів заснований на явищі електролізу і здійснюється у ванні, заповненій електролітом. Основний компонент електроліту – це з'єднання того металу, який повинен бути осаджений на деталь. У ванну занурюють електроди (анооди) і відновлювані деталі (катооди). При подачі на електроди постійної напруги (2...48 В) позитивно заряджені іони металу осідають на поверхні деталі.

З гальванічних процесів в ремонтному виробництві найбільш поширене хромування і залізнення. Щільність струму при цих процесах становить кілька тисяч ампер на квадратний метр.

Переваги відновлення зношених деталей гальванічними покриттями перед наплавленням полягають в наступному: отримання покриття заданої товщини та одночасне відновлення великої кількості деталей; відсутність термічного або механічного впливу на відновлювану деталь; хороша керованість процесом.

Розсолення ґрунтів. При розсоленні з верхнього шару ґрунту видаляють надлишок шкідливих солей, які пригнічують розвиток культурних рослин і знижують врожайність останніх або роблять його виростання взагалі неможливим.

Поширений метод розсолення ґрунтів – їх промивка прісною водою. В залежності від вмісту токсичних солей капітальні промивки тривають 1...3 роки і на 1 га потрібно 5...30 тис. м³ прісної води.

Інтенсивність розсолення ґрунту можна підвищити, пропускаючи через неї постійний електричний струм певної щільності. При цьому за рахунок електроосмосу підвищується фільтраційна здатність засоленого ґрунту, а в результаті електролізу змінюється рН середовища, що збільшує розчинність солей. Крім того, під дією електричного поля істотно підвищується вологопровідність ґрунту. Ці та інші фактори посилюють витіснення розчинених токсичних солей з верхнього ґрунтового шару в нижні шари, звідки ці солі відводяться дренажною системою.

Багаторічні експерименти в лабораторних та польових умовах, проведені в нашій країні і за кордоном, показали, що при використанні для розсолення

грунтів постійного електричного струму істотно скорочується період меліорації (в кілька разів), зменшуються витрати прісної води (приблизно в 2 рази) і прискорюється господарське освоєння ґрунтів.

У польових умовах електромеліорацію проводять наступним чином. Поле, яке підлягає розсоленню, попередньо готують до промивки, використовуючи звичайну технологію. Потім на виділених ділянках (чеках) монтують електроди (анооди і катоди), в якості яких найчастіше застосовують металеві труби або стрижні діаметром 35...70 мм. Глибина загортання катодів (3...5 м) зазвичай більше, ніж анодів (0,6...1,8 м). Це пояснюється бажанням хоча б частково поєднати напрямок електроосмотичного потоку води, що йде до катоду, з вертикальним напрямом гідравлічної фільтрації, зумовленої дією сили тяжіння. При вертикальному розташуванні електродів анооди і катоди часто розміщують рядами. Відстань між однойменними електродами в ряду становить зазвичай 10...20 м, між рядом катодів і поруч анодів – 20...110 м.

Після заповнення чеків водою лінії однойменних електродів підключають до випрямного пристрою. Необхідна напруга постійного струму становить десятки вольт, щільність струму в ґрунті – 1...10 А/м², витрати електроенергії – 5...20 тис. кВт·год на 1 га.

Після того як розсолення закінчено і поле підсохнуло, демонтують електричну схему, витягають із ґрунту електроди і готують поле до посіву.

ТЕМА №11. Електронно-іонна технологія (ЕІТ), фізичні основи.

Електричні сепаратори зерна, будова, класифікація, принцип дії, технічні характеристики.

Передпосівна обробка насіння в електричному полі.

Осадження часток в електричному полі.

Електричні іонізатори повітря.

Джерела високої напруги для установок ЕІТ.

В сільськогосподарському виробництві застосовують різні види електричних полів на розміщені в них об'єкти: теплове, силове, біологічне.

Силовий вплив електричного поля застосовують в електронно-іонній технології (ЕІТ). ЕІТ – це область електротехнологій, що використовує взаємодію сильних електричних полів з електрично зарядженими частинками твердого або рідкого матеріалу з метою надання ним різних форм упорядкованого та цілеспрямованого руху. Розглянемо деякі особливості ЕІТ.

Діючим електричним фактором, свого роду робочим органом, в апаратах ЕІТ є так звані сильні електричні поля, тобто поля з напруженістю 100 кВ/м. Як правило, застосовують постійні електричні поля: електростатичне і поле коронного розряду.

Об'єктом обробки в апаратах ЕІТ є матеріал, що представляє собою сукупність окремих частинок, розміри яких можуть знаходитись в межах від долі мікрметра до десятка міліметрів і вище (пил, порошок, насіння, волокна і т.д.).

В основі процесу електронно-іонної технології лежать чотири характерні стадії: подача матеріалу, зарядка його частинок, рух заряджених частинок матеріалу в електричному полі, формування готового продукту.

Сільськогосподарська ЕІТ стала оформлюватись в самостійний напрям електротехнологій на початку 50-х років.

В сільському господарстві за допомогою електронно-іонної технології частинки матеріалів можуть розділятися (очистка та сортування насіння, виділення обрушеного проса, насіння пшениці від мішечків твердої головні і т.д.), осаджуватись (осадження повітря від пилу та мікробів, різні види аерозольної обробки: нанесення ядохімікатів на насіння та рослини, електрозабарвлення (електрофарбування) і т.д.) і змішування (наприклад, змішування компонентів комбікормів). Технологічні процеси розділення, осадження та змішування складають основу і промислової ЕІТ. Проте принципова відмінність сільськогосподарської ЕІТ полягає в тому, що в сільському господарстві електричним полем оброблюють об'єкти, що мають найчастіше біологічну природу (наприклад, насіння, бульби (рос.-«клубни») картоплі, черенки, мікробні тіла і т.д.). На такі об'єкти електричне поле чинить не тільки силовий, але й біологічний вплив.

Коронним розрядом, або скорочено короною, називають вид електричного розряду в газі (повітрі), що виникає і різко неоднорідному полі, коли радіус кривизни одного або обох електродів набагато менший між електродної відстані.

Розрізняють корону постійного та змінного струму. Корона постійного струму буває біполярною та уніполярною. При біполярній короні коронуються обидва електроди. Уніполярна корона існує в тому випадку, коли коронується тільки один з двох електродів. Цей електрод, що має малий радіус кривизни, називається коронуючим, а другий – некоронуючим (або осаджувальним).

Спосіб передпосівної обробки насіння електричним струмом і полем високої напруги промислової частоти полягає в тому, що насіння обробляють в конденсаторі, між обкладинками якого створюється поле напруженістю 100...400 кВ/м. Тривалість обробки насіння різних культур 20...180 с. Продуктивність випробування даного метода в різних зонах країни підтвердили його ефективність на багатьох сільськогосподарських культурах. Зокрема, врожайність зернових культур підвищується на 10...15 %, а зеленої маси кукурудзи – до 25 %, якість отриманої продукції поліпшується.

Встановлено, що електризація ґрунтів і кореневої системи рослин слабким електричним струмом (щільністю 0,1...5 А/м²) може надавати стимулюючу дію на рослини (прискорюється дозрівання, підвищується врожайність та інше).

При достатньо великій щільності струму його дія на рослину стає гнітючим, що може бути використано для боротьби з бур'янистою рослинністю. Дослідження в цій області ведуться в багатьох країнах. Загальним для багатьох запропонованих технічних рішень є використання мобільних

пристроїв на базі трактора, від валу відбору потужності якого приводиться в обертання електричний генератор, який підключений до первинної обмотки

підвищувального трансформатора. Висновки вторинної обмотки останнього з'єднують з електродами. Електричний струм проходить через ґрунт та кореневу систему рослин.

ТЕМА №12. Прямий електронагрів опором

12.1 Питомий електричний опір провідників

Залежно від характеру вільних електричних зарядів прийнято розрізняти провідники першого і другого роду. Під дією електричного поля в провідниках першого роду (метали) вільні заряди (електрони) направлено переміщуються. У провідниках другого роду (електроліти) під дією електричного поля переміщуються іони.

Окремі провідники першого і другого роду характеризуються різною здатністю проводити електричний струм.

Щільність електричного струму, A / m^2 , в металевих провідниках

$$j = \gamma E, \quad (70)$$

де γ – коефіцієнт пропорційності, що залежить від концентрації, заряду і маси електрона, довжини його вільного пробігу в металі і швидкості теплового руху, $1 / (Om \cdot m)$; E – напруженість електричного поля, V / m .

Для розчинів електролітів щільність електричного струму також визначається виразом (70), але коефіцієнт γ залежить від концентрації іонів, їх заряду і рухливості.

Коефіцієнт γ пропорційності називається питомою електричною провідністю, а зворотна їй величина $\rho = 1 / \gamma$ – питомим електричним опором провідників.

Опір, Om , провідника, поперечний переріз якого по всій довжині постійне,

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (71)$$

де ρ - питомий електричний опір провідника, Ом-м; l - його довжина, м; S - площа поперечного перерізу, м².

Питомий опір провідникових матеріалів залежить від наявності в них домішок. В електротехніці в якості, провідникових матеріалів використовують головним чином мідь, алюміній, сталь і сплави високого опору. Питомий опір чистих металів менше, ніж металів, що містять домішки. Якщо в мідь додати 0,1, .. 0,2 % заліза, то її питомий опір підвищиться в 1,5 ... 2 рази.

Зі збільшенням температури провідника зростає його опір. Залежність питомого опору від температури може бути виражена формулою

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2 + \gamma\theta^3 + \dots), \quad 72$$

де ρ_{20} – питомий електричний опір при 20 ° С, Ом · м; θ – перевищення температури на 20 ° С; α, β, γ – постійні коефіцієнти.

При невисоких температурах провідникових матеріалів (≤ 300 ° С) можна обмежитися першим членом ряду, приймаючи

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha\theta), \quad 73$$

Питомий опір металевих провідникових матеріалів, найбільш часто використовуваних в електротехнічних пристроях, становить $1,7 \cdot 10^{-8} \dots 1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.

Питомий опір електроліту залежить від ступеня дисоціації, яка визначається відношенням числа дисоційованих молекул до загального їх числа, що знаходиться в розчині. Ступінь дисоціації залежить від природи і концентрації електроліту.

Питомий опір водних розчинів електролітів можна легко знайти експериментально, за допомогою коаксіально розташованих порожнистих металевих циліндрів (Рисунок. 6). Дно зовнішнього циліндра виконано з електроізоляційного матеріалу, а внутрішній простір між електродами заповнений досліджуваным розчином. Циліндри, підключені до джерела змінної напруги, є електродами, що підводять електричну напругу до розчину. Контролюють силу струму, напругу і температуру розчину. Опір, Ом, розчину, укладеного між електродами, розраховують при температурі 20 °

С:

$$R_{20} = U/I,$$

74

де U - напруга, В; I - сила струму, А.

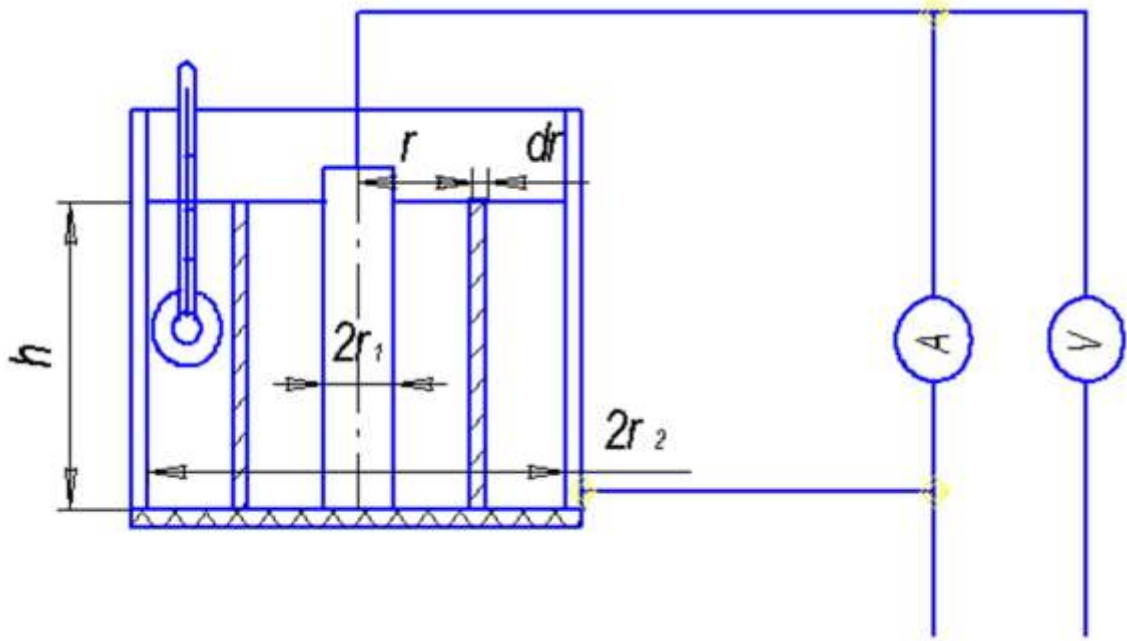


Рисунок. 6.Схема для визначення питомої опору електrolітів

Для того щоб цей опір висловити через питомий опір і конструктивні параметри, визначимо опір, Ом, нескінченно тонкого шару розчину, що знаходиться на відстані r від осі циліндрів

$$dR_{20} = \frac{\rho \cdot 2\pi r \cdot dr}{h}, \quad 75$$

Тут dr - товщина шару, м; r - відстань від осі, м; h - висота циліндрів, м.

Опір всього обсягу розчин

$$R_{20} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho \cdot 2\pi r}{h} dr, \quad 76$$

Прирівнюючи вирази (71) і (73), можна визначити питомий електричний опір

$$R_{20} = \frac{2\pi h \rho}{\frac{r_2^2 - r_1^2}{2}} \quad / \Omega$$

,

77

Або питому електропровідність

$$\kappa_{20} = \frac{\kappa_2 / \kappa_1}{20 h} \quad 78$$

З підвищенням температури збільшується ступінь дисоціації водних розчинів електролітів, і тому зростає їх

електропровідність. Питома електропровідність, Ом / м, при будь-якій температурі:

$$\varrho = \varrho_{20}[1 + \alpha(\varrho - 20)] , \quad 79$$

де ϱ_{20} -питома електропровідність при температурі 20 ° С, Ом / м;

α – коефіцієнт температурного зміни електропровідності (0,025 ... 0,035); t – температура ° С.

Прийнявши $\alpha = 0,025$, формулу (78) можна переписати у вигляді

$$\varrho = \varrho_{20}(\varrho + 20)/40 , \quad 80$$

питомий електричний опір

$$\varrho = 40\varrho_{20}/(\varrho + 20) \quad 81$$

При температурі 20 ° С в залежності від концентрації солей питомий опір води коливається від 2 до 100 Ом · м. Він зменшується при нагріванні відповідно до формули (81), а при закипанні зростає внаслідок утворення в воді повітряних бульбашок.

12.2 Електроконтактний нагрів

Електроконтактний нагрів, пов'язаний з перетворенням електричної енергії в теплоту безпосередньо в металевому виробі, що нагрівається (деталі), застосовують при нагріванні заготовок або деталей з чорних і кольорових металів для подальшої гарячої обробки тиском (кування, штампування, гнуття і т. і.), Для термічної обробки (загартування, відпустка, відпал), а також з метою контактної електричного зварювання тиском.

Принципова схема найпростішої установки електроконтактного нагріву виробів D показана на рисунку Рисунок. 7. Основні елементи схеми: струмопровідні контакти K , через які напруга змінного струму вторинної обмотки трансформатора T підводиться до нагріву виробу, струмопровідних проводах, шини, затискні пристрої і т. і. Для надійного притиснення контактів K . використовують різні пристосування (гідравлічні, пневматичні, електромагнітні та ін.),

що створюють додаткове зусилля F .

Кількість теплоти, що виділяється в одиницю часу, тобто, потужність, Вт,

$$Q = I^2 R \quad Q = U^2 / R \quad 82$$

де R – опір деталі змінному струмі. Ом: U – значення напруги прикладеного до провідника, В.

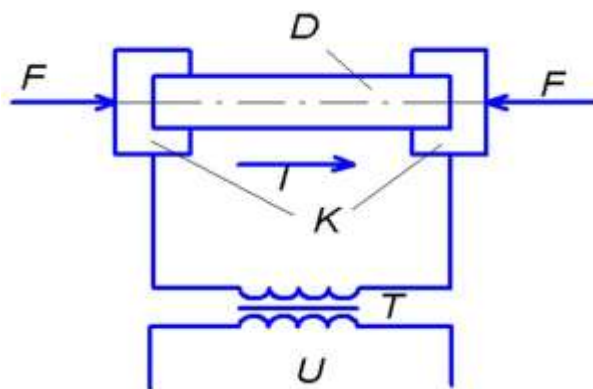


Рисунок. 7. Схема установки електроконтактного нагріву

Так як опір R металевих тіл з високою електропровідністю невеликий, для прямого їх нагрівання потрібні значні струми (сотні і тисячі ампер) при напрузі 5 ... 25 В. Для прямого нагріву застосовують змінний струм завдяки відносній простоті отримання низької напруги від понижувальних трансформаторів.

При протіканні змінного електричного струму по провіднику (металева деталь) проявляється поверхневий ефект, що полягає в нерівномірному розподілі щільності струму по перетину провідника, яка експоненціально зменшується у напрямку до його осі, тобто

$$j_x = j_m e^{-x/z_0} \quad 83$$

де j_x – щільність струму в шарі провідника на відстані x від його поверхні, А / м² ; j_m - щільність струму на поверхні провідника, А / м² ; z_0 - еквівалентна глибина проникнення струму, м.

Максимальне значення щільності струму на поверхні провідника, а в шарі, товщина якого дорівнює еквівалентній

глибиною проникнення, виділяється близько 90% загальної кількості теплоти. Це дозволяє реальний розподіл щільності струму по перетину замінити фіктивним, вважаючи, що електричний струм проникає тільки до глибини z_0 , щільність його на всій цій глибині постійна, а виділяється теплова енергія дорівнює кількості теплоти при реальному струморозподілі.

Еквівалентна глибина проникнення струму – відстань від поверхні провідника, на якому щільність струму в $\epsilon = 2,71$ рази менше, ніж на поверхні. Глибина:

$$z_0 = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad 84$$

Тут ρ – питомий електричний опір провідника, Ом·м; μ_r – відносне значення магнітної проникності провідника; f – частота струму, Гц.

Для $f = 50$ Гц формула (4.15) набуває вигляду

$$z_0 = 71,2 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad 85$$

Таблиця 2. 1

Еквівалентна глибина проникнення електричного струму на трьох частотах для деяких металів і сплавів

Метал або сплав	Питомий опір, Ом·м	Глибина проникнення струму, 10^{-3} м, при частоті		
		50 Гц	10 кГц	1 МГц
Мідь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	9,4	0,66	0,066
Алюміній	$2,8 \cdot 10^{-8}$	12,4	0,84	0,084
Латунь	$(0,07 \dots 0,2) \cdot 10^{-6}$	19,5	1,37	0,137
Сталь ($\mu_r = 200$)	$0,5 \cdot 10^{-6}$	3,3	0,24	0,024

Еквівалентна глибина проникнення електричного струму на трьох частотах для деяких металів і сплавів наведена в таблиці 2.1.

Розглянемо процес нагрівання провідника довжиною l поперечного перерізу S , виготовленого з немагнітного металу і має форму циліндра діаметром d .

Якщо щільність j струму розподіляється однаково по всьому перетину провідника, як при постійному струмі то потужність, що виділяється в ньому,

$$P = j^2 \rho l S \quad 86$$

а при змінному струмі з урахуванням нерівномірного розподілу щільності струму, тобто поверхневого ефекту, потужність

$$P_{\sim} = \int_S j^2 \rho dS \quad 87$$

де dS - елемент поперечного перерізу S провідника.

Коефіцієнт поверхневого ефекту

$$K_{\Pi} = P_{\sim} / P_{=} \quad 88$$

Тут $P_{\sim}$, $P_{=}$ – потужності, що виділяються в провіднику при змінному та постійному струмі.

Взявши до уваги, що

$$P_{\sim} = I_{\sim}^2 R_{\sim} \quad 89$$

$$P_{=} = I_{=}^2 R_{=} \quad 90$$

вираз (88) можна переписати у вигляді

$$I_{\sim} / I_{=} = R_{=} / R_{\sim} = K_{\Pi} \quad 91$$

де $R_{\sim}$, $R_{=}$ – опору провідника на змінному і постійному струмі, Ом; I – сила постійного струму або діюче значення змінного струму.

Потужність, що виділяється в провіднику при змінному струмі,

$$P_{\sim} = I_{=}^2 K_{\Pi}, \quad 92$$

З урахуванням еквівалентної глибини проникнення струму коефіцієнт поверхневого ефекту:

$$K_{\Pi} = R_{=} / R_{\sim} = R_{=} / R_0 \quad 93$$

Тут π/S_{z_0} – площа поперечного перерізу провідника, в якому змінний струм протікає тільки на глибині z_0 від поверхні при постійній щільності струму.

З деяким наближенням можна вважати, що $S_{z_0} = \pi(d - z_0)z_0$, для провідника круглого перетину одиничної довжини:

$$\pi = 4\pi / \pi \pi^2 \quad 94$$

$$\pi_{\Pi} = \frac{\pi \pi^2}{4} / \pi (\pi - \pi_0) \pi_0 \quad 95$$

Таким чином,

$$\eta_{\sim} = \eta^2 \eta / (\eta \eta_0 \eta) \quad 96$$

Для провідників з феромагнітних матеріалів потужність визначити складно, так, як потрібно врахувати перемагнічування матеріалу, а також залежність магнітної проникності від струму, що протікає по провіднику.

Тема 13. Непрямий електронагрів опором

13.1 Вимоги до матеріалів та конструкція нагрівальних елементів

Нагрівальні елементи – основний вузол електротермічного обладнання, що реалізує непрямий нагрів методом опору. Безвідмовна робота елементів багато в чому визначає надійність електротермічних установок і можливість дотримання необхідного технологічного режиму.

Матеріал нагрівачів вибирають в першу чергу в залежності від необхідної робочої температури обладнання та умов роботи нагрівальних елементів. Ці матеріали повинні бути жаростійкі (що не окислюється в умовах високої температури), жароміцні (мають зберігати міцності якості при високих температурах) і технологічні (легко піддаватися обробці при виготовленні установки). Зазначеним вимогам повинні відповідати матеріали всіх конструктивних елементів, що знаходяться в робочому просторі електротермічного обладнання.

До матеріалів нагрівальних елементів також пред'являються специфічні вимоги, обумовлені особливостями їх роботи. Так, питомий електричний опір елементів повинен бути великим, що дозволяє вибрати конструктивні параметри нагрівачів таким чином, щоб їх можна було розмістити в обмеженому обсязі і включати безпосередньо в мережу, не знижуючи напруги. Крім того, їх температурний коефіцієнт опору повинен бути невеликим для того, щоб опір холодного і гарячого нагрівачів і, отже, потужність, споживана установкою з мережі, змінювалася незначно. Фізичні властивості матеріалу нагрівальних елементів

повинні бути постійні, тобто протистояти старінню – збільшення опору з плином часу, що викликає зменшення потужності установки. Сплави хромнікелеві (ніхроми), хромалюмїневі (фехралі) і хромнікельалюмїневі (ніхроми з алюмїнієм) – основні матеріали для нагрівачів непрямого нагріву опором.

Хромнікелевіє сплави в найбільшій мірі відповідають вимогам, що пред'являються до матеріалів нагрівальних елементів. Розрізняють ніхроми подвійні, що містять хром і нікель (X20H80), і потрійні, до складу яких, крім нікелю і хрому, входить залізо (X15H60). Чим більше нікелю в сплаві, тим вище його якість і робоча температура. Максимальна робоча температура подвійного ніхрома X20H80 – 1100°C. У низькотемпературних електротермічних установках досить надійно працюють дешевші подвійні ніхроми, що містять 24 ... 27% хрому і 17 ... 20% нікелю (X25H20 і X23H18).

Вартість хромалюмїневих сплавів в порівнянні з ніхромом нижча, міцність при високих температурах менша, обробляються вони гірше. Для нагрівачів з робочою температурою до 700 ° С застосовують фехраль X13Ю4 – сплав, який містить крім заліза 13 % хрому і 4 % алюмїнію.

Характеристики хромнікельалюмїневих сплавів (наприклад, X15H60Ю3А) в порівнянні з безнікелеві поліпшені (робоча температура до 1100 ° С), і вартість їх нижча за рахунок зменшення вмісту нікелю.

В електротермічних установках з робочою температурою вище 1250 ° С, застосовують неметалічні нагрівачі з карборунда, дисилицида молібдену, графіту або з тугоплавких металів (вольфраму, танталу, ніобію і ін.).

Температурний коефіцієнт опору нагрівачів, виготовлених зі звичайної сталі, великий, жаростійкість і жароміцність невисокі, опір залежить від значення струму, що протікає по нагрівателю. Однак внаслідок дешевизни і недефіцитних їх широко застосовують в низькотемпературних електротермічних пристроях з робочою температурою 300 ... 400 ° С.

Нагрівальні елементи за конструктивним виконанням прийнято розділяти на відкриті, закриті і герметичні.

Відкриті нагрівачі з металевих сплавів виготовляють з дроту або стрічки, згорнутих в спіраль або вигнутих зигзагоподібно (Рисунок 9, а і б). Відкриті спіральні і звивисті нагрівачі кріплять на керамічних жароміцних ізоляторах в робочому просторі електротермічних установок. Тепло від таких нагрівачів передається конвекцією і випромінюванням. Чим вище температура нагрівача, тим більша частина енергії інфрачервоним випромінюванням передається нагрівається матеріалу.

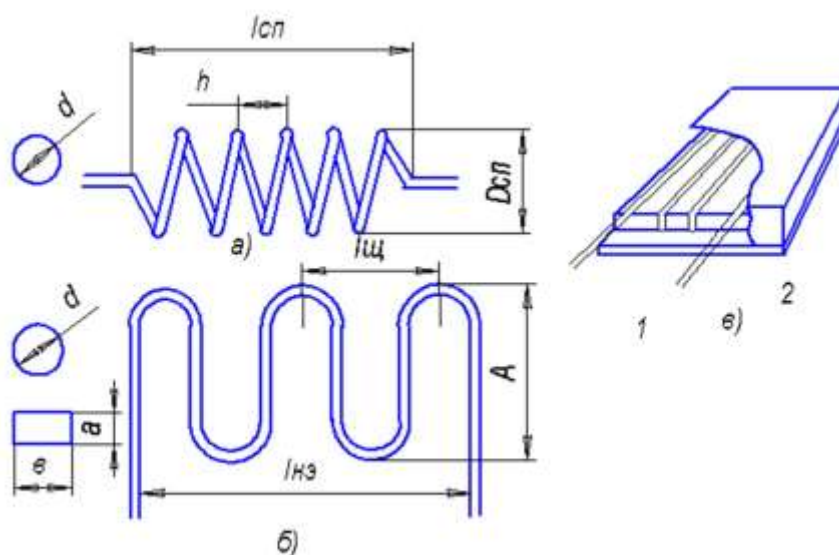


Рисунок 9. Нагрівальні елементи; а і б - відкриті відповідно у вигляді спіралі і звивисті; в - закриті; 1 - нагрівач; 2 - захисний кожух

Крім дротяних нагрівачів в якості джерел інфрачервоного випромінювання в електротермічних установках використовують спеціальні лампи.

У нагрівальних елементах закритого виконання (рис Рисунок 9, в) нагрівач знаходиться в захисному кожусі, що оберігає його від механічного впливу навколишнього середовища. Захищені нагрівальні елементи передають тепло в основному конвекцією.

В електротермічних пристроях відкриті і закриті елементи використовують через їх простоти і невисокої вартості. Однак найбільш поширені в електротермічному обладнанні сільськогосподарського призначення герметичні нагрівальні елементи або тени.

13.2 Трубчасті нагрівальні елементи

Трубчасті нагрівальні елементи (ТЕНи) застосовують для нагріву води, повітря, розчинів електролітів та інших середовищ. Тени можна розміщувати в середовищі, що здатне нагріватися. Вони надійно працюють при вібраціях і ударних навантаженнях, відрізняються електро- і пожежонебезпекою, підвищеним терміном служби.

ТЕН (Рисунок . 10, а) являє собою тонкостінну металеву трубку (оболонку) 1 з наповнювачем, в яку запресована нагрівальна спіраль 2 з дроту з великим питомим електричним опором. В якості наповнювача 4 використовують периклаз – кристалічний оксид магнію або кварцовий пісок з хорошими електроізоляційними і теплопровідними властивостями. Кінці спіралі з'єднані з контактними стрижнями 3, які через ізолятори 5 виходять назовні нагрівача і служать для приєднання до них проводів живильної мережі. Контактні стрижні і прохідні ізолятори надійно герметизують термовлагостойкім лаком.

Матеріал оболонки (мідь, латунь, вуглецева і нержавіюча сталь) визначає механічну міцність тена, його хімічну стійкість і залежить від призначення електрообігрівача. Тени з оболонкою з нержавіючої сталі, що має підвищену жароміцність і корозійну стійкість, застосовують для нагріву агресивних середовищ, а також при роботі з температурою на оболонці тена понад 450°C. Тени з мідною оболонкою використовують при невеликих температурах в середовищах, що викликають корозію інших металів. Наприклад, для підігріву води призначені трубчасті нагрівальні елементи з мідної трубки, покритої оловом, нікелем

або хромом. Сталеві труби використовують для виготовлення ТЕНів, що нагрівають сухе повітря, масло і т. і. при температурі оболонки, що не перевищує $400 \dots 450^{\circ} \text{C}$. Для ТЕНів, які працюють при підвищеній вологості повітря, використовують герметичні нагрівальні елементи.

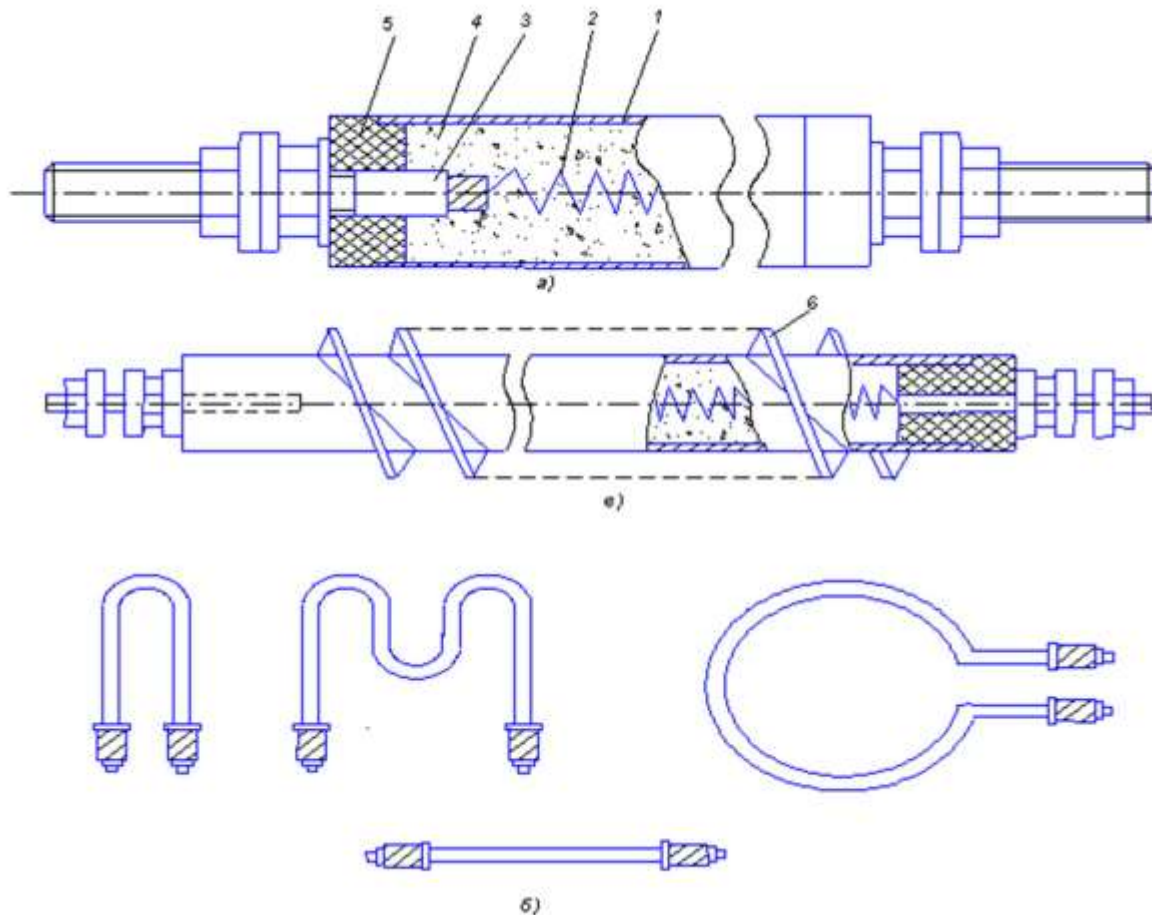


Рисунок . 10. – Герметичні нагрівальні елементи: а - розріз Тена; б - різновиди ТЕНів; в - ТЕН з ребрами; 1 оболонка (трубка); 2 - нагрівальна спіраль; 3 - контактний стрижень; 4 - наповнювач (периклаз); 5 - ізолятор; 6 - ребра

У сільськогосподарському виробництві використовують трубчасті електронагрівачі серій НВ, НВЖ, ТЕН, ЕТ для води, слабких розчинів солей, лугів і кислот; НВС, ТЕН, ЕТ для нагріву повітря до 350°C в установках і приміщеннях; НВСЖ для нагріву повітря до 600°C ; НММ, НММЖ, ТЕН, ЕТ для мінеральних масел і харчових жирів. Позначення Н [1] Ж [2] [3] нагрівачів серії НВ, НВЖ, НВС, НВСЖ, НММ, НММЖ розшифровують наступним

чином: Н – нагрівач; [1] – В – води, ВС – повітря, ММ – масла, Ж – з жароміцної оболонкою; [2] – розвернута довжина, м; [3] – номінальна потужність, кВт. Позначення ТЕН – [1] [2] [3] / [4] [5] [6] розшифровується так: Т – трубчастий; Е – електричний; Н – нагрівач; [1] – розгорнута довжина, см; [2] – умовне позначення довжини контактного виведення; [3] – зовнішній діаметр оболонки (трубки), мм; [4] – номінальна потужність, кВт; [5] – умовне позначення нагрівається середовища; [6] – номінальна напруга, В. Позначення ЕТ – [1] нагрівачів серії ЕТ вказує: Е – електронагрівач; Т – трубчастий; [1] – розгорнута довжина, см.

Для раціонального розміщення ТЕНів в робочій зоні електротермічного обладнання їм надають різну форму (рис.Рисунок . 10, б) і встановлюють за допомогою кріпильних пристроїв (штуцерів, планок та т. П.), з'єднаних з оболонкою зварюванням, пайкою, або обпресуванням.

При нагріванні газоподібних середовищ для збільшення тепловідведення від тенів застосовують ребра 6 (Рисунок . 10, б), що виконується з металу з хорошою теплопровідністю. Це сприяє скороченню габаритних розмірів електротермічних установок і, отже, їх металоемності.

Основний параметр, що характеризує тени, – питома поверхнева потужність P_F , Вт / см²,

$$P_F = P / (D \cdot l_a) \quad 127$$

де P потужність тена, Вт; D – діаметр, см, l_a – активна довжина, см, тена.

Граничне значення P_F Тена визначається умовами роботи, допустимими температурами спіралі, наповнювача і оболонки. Для ТЕНів, що мають сталеву оболонку, ніхромову нагрівальну спіраль і периклаз в якості наповнювача, допустима питома потужність складає від 2 Вт / см² при нагріванні повітря в умовах вільної конвекції до 11 Вт / см² при нагріванні води в умовах змушеної конвекції. Щоб визначити число нагрівачів для конкретних установок, підраховують потрібну потужність, знаходять за формулою (43) загальну потужність $P_{\text{вуст}}$

електротермічною установки і по каталогу для відповідних умов роботи визначають тип ТЕНа та його номінальну потужність P_1 . Число ТЕНів для даної установки

$$n = Q_{\text{уст}} / Q_1 \quad 128$$

Для рівномірного завантаження трифазної мережі число ТЕНів повинно бути кратним трьом.

ТЕМА 14 Індукційний нагрів

14.1 Особливості індукційного нагріву

Індукційний нагрів здійснюється в змінному магнітному полі. Провідники, поміщені в поле, нагріваються вихровими струмами, що наводяться в них за законами електромагнітної індукції.

Інтенсивний нагрів можна отримати лише в магнітних полях високої напруженості і частоти, які створюються спеціальними пристроями – індукторами (індукційними нагрівачами), що живляться від мережі або індивідуальних генераторів струмів високої частоти (рис.Рисунок. 12). Індуктор є як би первинною обмоткою повітряного трансформатора, вторинною обмоткою якого служить тіло, що нагрівається.

Залежно від застосовуваних частот установки індукційного нагріву розділяються таким чином:

- а) низькою (промислової) частоти (50 Гц);
- б) середньої (підвищеної) частоти (до 10 кГц);
- в) високої частоти (понад 10 кГц).

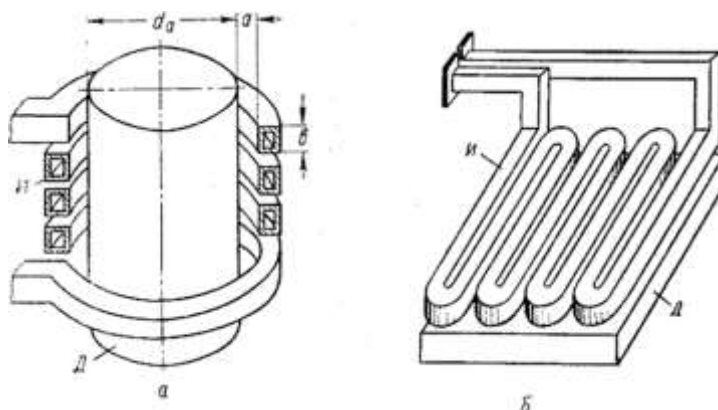


Рисунок. 12. Індуктори:

а - циліндричний; б - петлевий для нагріву плоских деталей; І - індуктор; Д - деталь

Розподіл індукційного нагріву по частотних діапазонах диктується технічними і технологічними міркуваннями. Фізична сутність і загальні кількісні закономірності для всіх частот однакові і ґрунтуються на уявленнях, про поглинання провідним середовищем енергії електромагнітного поля.

Частота робить істотний вплив на інтенсивність і характер нагріву. При частоті 50 Гц і напруженості магнітного поля 3000–5000 А / м питома потужність нагріву не перевищує 10 Вт / см², а при високочастотному (ВЧ) нагріванні потужність досягає сотень і тисяч Вт / см². При цьому розвиваються температури, достатні для плавлення тугоплавких металів.

Разом з тим, чим вище частота, тим менше глибина проникнення струмів в метал і, отже, тонше нагрівається шар, і навпаки. На високих частотах здійснюють поверхневий нагрів. Знижуючи частоту і збільшуючи тим самим глибину проникнення струму, можна здійснити глибинний або навіть наскрізний нагрів, однаковий по всьому перетину тіла. Таким чином, вибираючи частоту, можна отримати необхідний за технологічних умов характер нагріву і його інтенсивність. Можливість нагріву виробів практично на будь-яку товщину – одне з основних переваг індукційного нагріву, який широко використовується для поверхонь загартування деталей і інструменту.

Поверхнєве зміцнення після індукційного нагріву значно підвищує зносостійкість виробів в порівнянні з тепловою обробкою в печах. Індукційний нагрів успішно застосовується також для плавки, термічної обробки, деформації металів і в інших процесах.

14.2 Індуктори (індукційні нагрівачі)

Індуктор – це робочий елемент установки індукційного нагріву. Ефективність нагрівання тим вище, чим ближче вид випускаючої індуктором електромагнітної хвилі до форми поверхні, яка нагрівається. Вид хвилі (плоска, циліндрична та ін.) визначається формою індуктора.

Конструктивне оформлення індукторів залежить від форми тіл, що нагріваються, цілей і умов нагрівання. Найпростіший індуктор є ізолюваним провідником, який поміщений всередину металевої труби, витягнутий або згорнутий в спіраль. При пропусканні по провіднику струму промислової частоти в трубі наводяться вихрові струми, які гріють її. У сільському господарстві були спроби використовувати цей принцип для обігріву ґрунту в закритому ґрунті, сідало для птиці та ін.

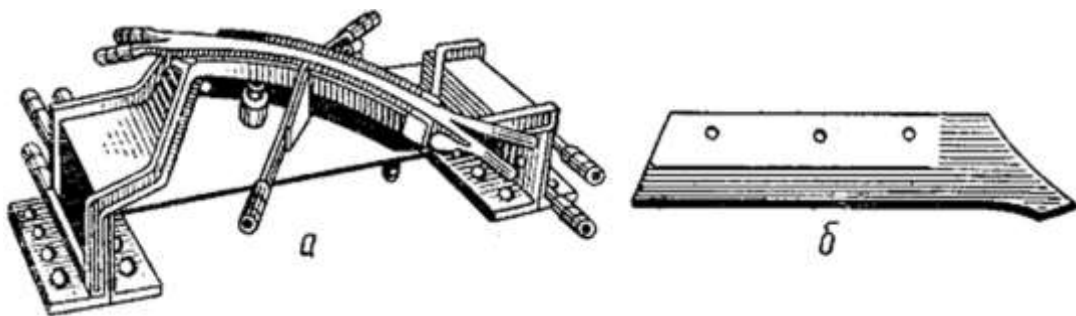


Рисунок. 13. Індуктор для загартування лемешів:

а - індуктор; б - леміш

В індукційних водонагрівачах і пастеризаторах молока (роботи по ним не вийшли поки за рамки експериментальних зразків) індуктори виконують за типом статорів трифазних електродвигунів. Всередину індуктора поміщений металевий посуд циліндричної форми. Магнітне поле, що обертається (або пульсуюче при однофазному виконанні), створюване індуктором, наводить в стінках судини вихрові струми і нагріває їх. Від стінок тепло передається і знаходиться в посудині рідини.

При індукційному сушінні деревини штабель дощок перекладають металевими сітками і поміщають (закочують на спеціальному візку) всередину циліндричного індуктора з

провідників великого перерізу, намотаних на каркас з ізоляційного матеріалу. Дошки нагріваються від металевих сіток, в яких індуктуються вихрові струми.

Наведені приклади пояснюють принцип установок непрямого індукційного нагріву. До недоліків таких установок відносяться низькі енергетичні показники і мала інтенсивність нагріву. Низькочастотний індукційний нагрів досить ефективний при прямому нагріві масивних металевих заготовок і певному співвідношенні між їх розмірами і глибиною проникнення струмів.

Індуктори високочастотних установок виробляють неізольованими, вони складаються з двох основних частин — індукуючого дроту, за допомогою якого створюється змінне магнітне поле, і токоподводів для підключення індукуючого дроту до джерела електричної енергії.

Конструктивне виконання індуктора може бути вельми різноманітним. Для нагріву плоских поверхонь використовуються плоскі індуктори, циліндричних заготовок — циліндричні (соленоїдні) індуктори і т. п. (Рисунок. 12). Індуктори можуть мати складну форму (Рисунок. 13), обумовлену необхідністю концентрації електромагнітної енергії в потрібному напрямку, підведення охолоджуючої і закалочної води та ін.

Для створення полів високої напруженості по індукторам пропускають великі струми, які обчислюються сотнями і тисячами ампер. З метою зниження втрат індуктори виготовляють з можливо малим активним опором. Незважаючи на це, вони все ж інтенсивно нагріваються як власним струмом, так і за рахунок теплопередачі від заготовок, тому їх обладнають примусовим охолодженням. Індуктори зазвичай виконують з мідних трубок круглого або прямокутного перерізу, всередині яких пропускається проточна вода для охолодження

ТЕМА 15 Обробка сильними електричними полями (електронно- іонна технологія)

15.1 Загальні відомості про застосування електричних полів в технологічних процесах

У сільськогосподарському виробництві застосовують різні види впливу електричних полів на вміщені в них об'єкти: теплове, силове, біологічне. Використання теплового впливу електричного поля розглядалося в першій частині цього посібника.

Силовий вплив електричного поля застосовують в електронно-іонній технології (ЕІТ). ЕІТ - це область електротехнології, що використовує взаємодію сильних електричних полів з електрично зарядженими частинками твердого або рідкого матеріалу з метою надання їм різних форм упорядкованого і цілеспрямованого руху. Розглянемо деякі особливості ЕІТ.

Чинним електричним фактором, свого роду робочим органом, в апаратах ЕІТ є так звані сильні електричні поля, тобто поля з напруженістю понад 100 кВ / м. Як правило, застосовують постійні електричні поля: електростатичне і поле коронного розряду.

Об'єктом обробки в апаратах ЕІТ є матеріал, що представляє собою сукупність окремих частинок, розміри яких можуть знаходитися в межах від часток мікрметра до десятка міліметрів і вище (пил, порошок, насіння, волокна і т.д.).

В основі процесів електронно-іонної технології лежать чотири характерні стадії: подача матеріалу, зарядка його частинок, рух заряджених частинок матеріалу в електричному полі, формування готового продукту.

Сільськогосподарська ЕІТ стала оформлятися в самостійний напрям електротехнології починаючи з 50-х років в результаті робіт, проведених в ЧІМЕСХ під керівництвом А. М. Басова.

У сільському господарстві за допомогою електронно-іонної

технології частки матеріалів можуть розділятися (очищення і сортування насіння, відділення обваленого проса, лушпиння від ядра соняшнику, насіння пшениці від мішечків твердої сажки та т. і.), Осідати (очищення повітря від пилу і мікробів, різні види аерозольної обробки: нанесення отрутохімікату на насіння і рослини, електрозабарвлення і т. д.) і змішуватися (наприклад, змішування компонентів комбікормів). Технологічні процеси поділу, осадження і змішування становлять основу і промислової ЕІТ. Однак принципова відмінність сільськогосподарської ЕІТ полягає в тому, що в сільському господарстві електричним полем обробляють об'єкти, що мають найчастіше біологічну природу (наприклад, насіння, бульби картоплі, живці, мікробні тіла і т. д.).

Можливість біологічної дії випливає з того, що в комплекс чинників, під впливом яких зароджувалася і формувалася життя на Землі, входить і власне електричне поле Землі. В результаті тривалої еволюції живі організми придбали сприйнятливості до електричних впливів зовнішнього середовища. Це проявляється в тому, що будь-яка жива клітина має електричним потенціалом, що змінюються в залежності від зовнішніх впливів.

Уже тривалий час в стадії досліджень і розробки знаходяться численні прийоми впливу електричними полями на сільськогосподарські біологічні об'єкти для стимулювання або придушення життєдіяльності останніх. З цих прийомів найбільш вивчені і отримали найбільше застосування в дослідно-виробничому порядку передпосівна і предпосадочная обробка насіннєвого матеріалу і штучна іонізація повітря в сільськогосподарських приміщеннях.

Перш ніж познайомитися з процесами сільськогосподарської ЕІТ, розглянемо використовувані в них основні фізичні явища (коронний розряд, зарядка часток, силова дія електричних полів).

15.2 Коронний розряд

Коронним розрядом, або скорочено короною, називають вид електричного розряду в газі (повітрі), що виникає в різко неоднорідному полі, коли радіус кривизни одного або обох електродів набагато, менше межелектродного відстані.

Розрізняють корону постійного і змінного струму. Корона постійного струму буває біполярної і уніполярної. При біполярній короні коронуючими є обидва електроди. Уніполярна корона існує в тому випадку, коли коронує тільки один з двох електродів. Цей електрод, який має малий радіус кривизни, називається коронуючим, а другий – некоронуючим (або осаджувальним).

Уніполярна корона може бути позитивною і негативною. У першому випадку на коронуючий електрод подається позитивний потенціал, у другому випадку - негативний.

Розглянемо сутність негативною уніполярної корони на прикладі системи електродів "провід - площину" (рис. 7.1, б). При подачі на електроди постійної напруги U в міжелектродному проміжку створюється неоднорідне електричне поле, напруженість якого максимальна на поверхні проводу і спадає в міру наближення до площини.

При відносно малому U сила струму I в ланцюзі електродів практично дорівнює нулю (рис. Рисунок. 63). Якщо підвищувати U , то при деякому його значенні U_0 напруженість електричного поля біля поверхні проводу досягає такого значення E_0 , при якому у поверхні дроту починається іонізація повітря. В іншій частині міжелектродного проміжку напруженість електричного поля недостатня для підтримки процесу іонізації. Електрони, що рухаються від негативно зарядженого проводу до площини, втрачають швидкість через різкий спад напруженості поля і "прилипають" до нейтральних молекул, утворюючи негативні іони.

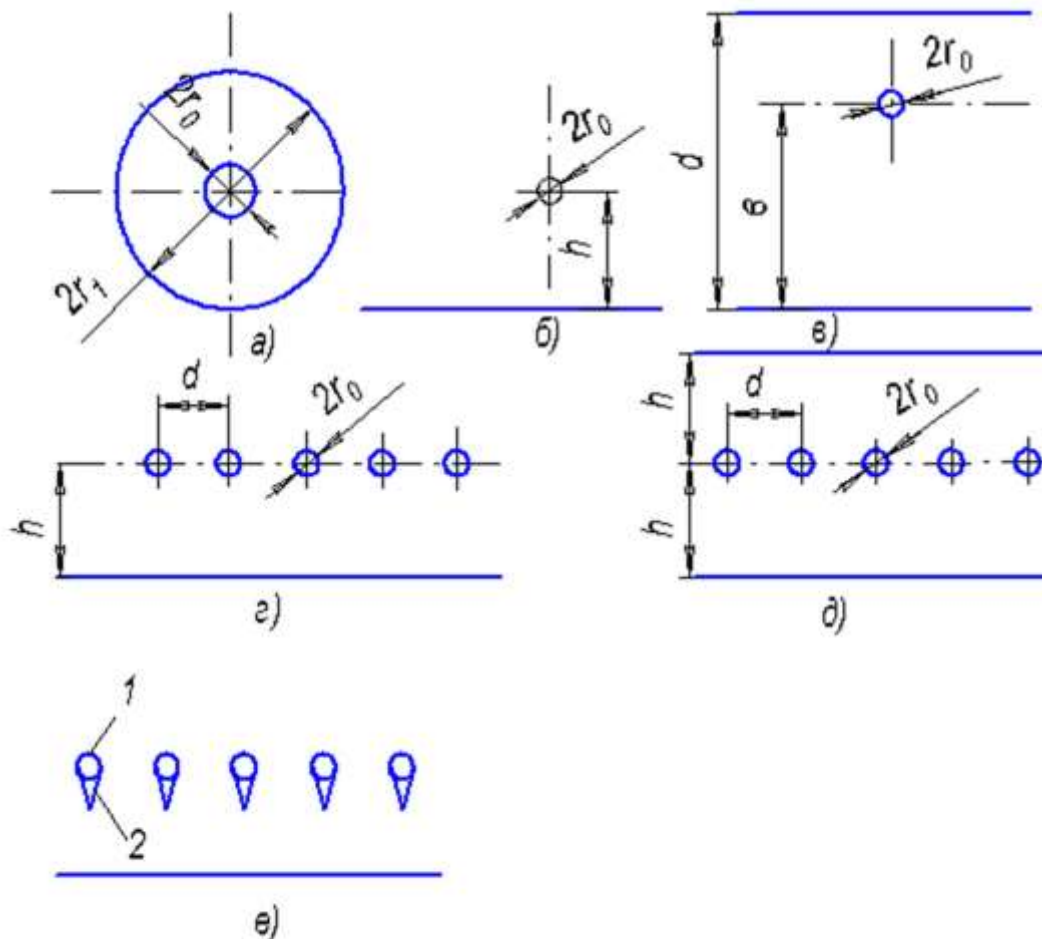


Рисунок. 63. Деякі системи електродів для створення поля коронного розряду: а – провід по осі циліндра; б – провід - площину; в – провід між двома площинами; г – ряд проводів - площину; і-ряд проводів посередині між двома площинами; е-ряд стрижнів з голками-площину; 1 – стрижень; 2 – голка

Ці іони рухаються до площини, створюючи струм короткого розряду. При подальшому підвищенні напруги сила струму корони I збільшується до тих пір, поки при певній напрузі $U_{\text{проб}}$ не наступить пробой проміжку з переходом в дуговий або іскровий розряд.

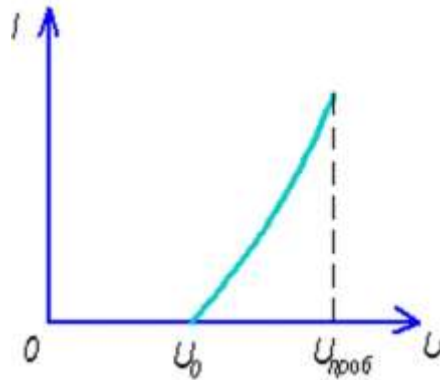


Рисунок. 64. Вольт-амперна характеристика коронного розряду

Таким чином, при уніполярній короні практично весь межелектродний простір заповнений іонами одного знака, що збігається зі знаком потенціалу на коронуючому електроді.

Коронний розряд супроводжується утворенням озону і оксидів азоту, електромагнітним випромінюванням в діапазоні від радіохвиль до УФ-променів і іншими ефектами.

Деякі типові системи електродів для створення коронного розряду показані на малюнку Рисунок. 63.

Розглянемо розрахунок основних параметрів уніполярного коронного розряду для дрітчастих коронуючих електродів.

Початкову напруженість коронного розряду визначають за емпіричною формулою Піка:

$$U_0 = 30,3 \cdot 10^{-5} r_0 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{\delta r_0}} \right), \quad 268$$

де r_0 – радіус коронуючого дроти, м; δ – відносна щільність повітря;

$$\delta = 289 \cdot 10^{-5} p / T \quad 269$$

Тут p – атмосферний тиск, Па; T – температура повітря, К; $\delta = 1$ при $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па і $T = 293$ К.

Початкова напруга, В, коронного розряду

$$U_0 = E_0 r_0 A \quad 270$$

де A – функція геометричних параметрів даної системи електродів (табл. 16.1).

Значення рухливості негативних іонів можна визначати за кривими на малюнку Рисунок. 65. Рухливість позитивних іонів в середньому на 20% нижче рухливості негативних.

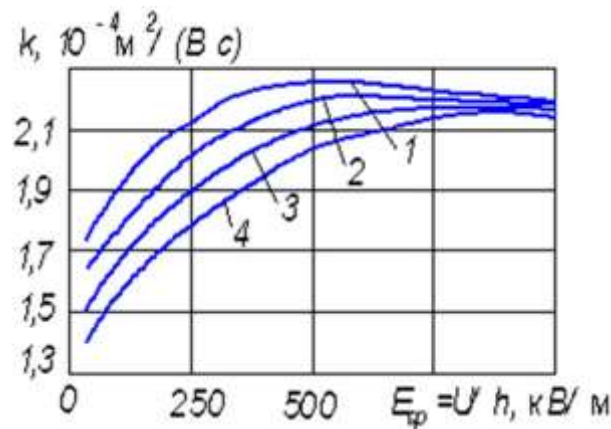


Рисунок. 65. Рухливість негативних іонів в залежності від відстані (h) між коронуючим і некоронуючим електродами:

1 – $h = 5$ см; 2 – $h = 10$ см; 3 – $h = 15$ см; 4 – $h = 20$ см

При розвиненій уніполярній короні напруженість поля, В / м, і об'ємну щільність, Кл / м³, електричного заряду іонів поблизу некоронуючого електрода можна розрахувати за формулами

$$E = E_0 \sqrt{\frac{D}{2L}} \quad 271$$

$$E_0 = E \sqrt{\frac{2L}{D}} \quad 272$$

де D і L – параметри, що залежать від системи електродів.

15.3 Зарядка частинок в електричних полях

Зарядкою часток називають передання їм надлишкового вільного електричного заряду. Основні способи зарядки частинок в електричних полях: іонна, зарядка на електроді в електростатичному полі, поєднання іонної зарядки з зарядкою на електроді.

Іонна зарядка здійснюється за рахунок осадження на поверхні частинки іонів з об'єму газу, що оточує її. Як правило, для іонної зарядки використовують уніполярний коронний розряд, оскільки він дозволяє найбільш просто отримувати високі концентрації іонів однакової полярності. Іонна зарядка в чистому вигляді відбувається, якщо немає контакту частинки з електродами. Якщо частка матеріалу виявляється в поле уніполярного коронного розряду, то частина силових лінії поля перетинає поверхню частинки.

Іони, що рухаються по цим силовим лініям, стикаються з часткою і залишаються на її поверхні, повідомляючи їй надлишковий заряд того ж знака, що і потенціал коронуючого електрода.

Іони, які осідають на частку, створюють своє власне поле, яке відштовхує наближаються до неї чергові іони. Тому з плином часу зарядка припиняється, і частка отримує граничний заряд $Q_{\max 1}$. Для досягнення заряду, практично близького до граничного, зазвичай потрібен час порядку 0,1 с.

Частинки, оброблювані в апаратах ЕІТ, у багатьох випадках мають форму, близьку до двовісного еліпсоїду. Для таких частинок $Q_{\max 1}$ Кл, можна розрахувати за формулами:

при орієнтації великою віссю уздовж поля

$$Q_{\max 1} = \frac{Q_0 \varepsilon_r^2 a^2 b}{1 + (\varepsilon_r - 1) a^2} \quad 273$$

а при орієнтації великою віссю поперек поля

$$Q_{\max 1} = \frac{Q_0 \varepsilon_r^2 a^2 b}{1 + (\varepsilon_r - 1) b^2} \quad 274$$

де a і b – відповідно велика і мала осі еліпсоїда, м; ε_r – відносна діелектрична проникність матеріалу частинки; E – напруженість електричного поля в місці знаходження частки, В / м; d_a і d_b – коефіцієнти деполяризації еліпсоїда, що характеризують ступінь спотворення їм зовнішнього поля в напрямку відповідно великої і малої його

осей. Значення d_a і d_b залежать від коефіцієнта сферичності $k_c = b/a$. Графіки цих залежностей наведені в літературі.

Вираз для граничного заряду діелектричної сферичної частинки може бути отримано з формули (273) або (274), якщо врахувати, що в даному випадку $a = b$ і $d_a = d_b = 1/3$

$$Q_{\text{гггг} 1} = \frac{Q_0 Q^2}{(Q + 2)} \quad 275$$

де a – діаметр сфери, м.

Заряд провідних частинок може бути розрахований за формулами (273), (274), (275).

Переваги іонної зарядки полягають в універсальності (можна заряджати частки будь-яких матеріалів: як проводять, так і ізоляційних) і в можливості заряджати частки, зважені в потоці повітря або газу.

Зарядка на електроді в електростатичному полі (контактна зарядка) здійснюється за рахунок переходу вільного заряду під дією поля з електрода на частку або, навпаки, з частки на електрод. При цьому знак заряду частинки збігається зі знаком потенціалу того електрода, на якому знаходиться частинка. Якщо цей електрод заземлений, зарядку іноді називають індукційною.

Для провідної сферичної частинки діаметром a , м, за умови, що перехідний опір в місці контакту частинки з електродом дорівнює нулю, граничний заряд, Кл, при розглянутому способі зарядки

$$Q_{\text{гггг} 2} = \frac{Q^3}{Q} Q_0 Q^2 \quad 276$$

Непровідні частки на електроді в електростатичному полі практично не заряджаються.

Переваги зарядки на електроді в електростатичному полі полягають у відносно малому споживанні енергії та відсутності побічних газоподібних продуктів (озону і оксидів азоту), властивих коронному розряду.

Поєднання зарядки на електроді з іонним (цей спосіб будемо називати для стислості комбінованою зарядкою) відбувається при знаходженні частки на некоронірующем електроді в поле коронного розряду. В даному випадку частка заряджається одночасно іонами, що рухаються від коронуючого електрода, і контактним способом – від некоронуючого електрода. В результаті частка отримує граничний заряд Q_{max} з знак якого залежить в основному від питомої електричної провідності частинки, перехідного опору контакту "частинка-електрод" і питомої електричної провідності коронного розряду ρ_e поблизу частки. Знак заряду частинок з низькою провідністю збігається зі знаком потенціалу коронуючого електрода, а знак заряду провідних частинок при хорошому їх контакті з металевим некоронуючим електродом може збігатися зі знаком потенціалу некороніруючого електрода.

Граничний заряд частинки при комбінованій зарядці

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{max}1} \beta \quad 277$$

де β - коефіцієнт, який визначається за виразом:

$$\beta = \frac{2\beta + 1 - \sqrt{1 + 4\beta(1 + \beta^2)}}{2\beta} \quad 278$$

Тут $\beta = \rho_e k / 4\epsilon_0$; τ постійна часу зарядки частки на електроді, с. Для полуелліпсоїда, орієнтованого велика піввісь уздовж поля:

$$\beta = \epsilon_0(\gamma^2 + 1 - \gamma) / (\gamma^2) \quad 279$$

де γ – питома електрична провідність частки, См / м.

Негативний або позитивний знак μk свідчить про збіг знака граничного заряду Q_{max} зі знаком потенціалу відповідно некороніруючого або короніруючого електрода.

15.4 Силова дія електричних полів на частинки матеріалів

Частинки матеріалу можуть зазнати впливу різних сил і моменту електричної природи. Розглянемо основні з них.

Сила F_k , Н, викликана дією електричного поля на заряд частинки:

$$F_k = EQ \quad (280)$$

де E – напруженість електричного поля в місці розташування частинки, В / м; Q – заряд частинки, Кл.

Якщо частка знаходиться в полі коронного розряду силу F_k розраховують в такій послідовності: E_o визначають за формулою (268); U_o – по формулі (269) I_j – по формулі (270); E за формулою (271); Q_{max} – по одній з формул (273) ... (277); F_k – за формулою (280).

В апаратах ЕІТ переважно застосовують уні полярну корону негативного знака, так як при ній пробивна напруга істотно вище, ніж при позитивній короні. За рахунок цього досягаються більш високі значення E , Q_{max} і в кінцевому рахунку F_k .

Таблиця 10.1 дає чисельне уявлення про силу F_k в порівнянні з силою тяжіння F_q сферичний діаметр a , виконаних з двох різних матеріалів: матеріалу 1 умовного діелектрика з його і щільністю $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг / м³, матеріалу 2 – умовного провідника з $\epsilon_r = \infty$ і $\rho = 8 \cdot 10^3$ кг / м³.

Таблиця 10. 1

Порівняння сили, викликані дією електричного поля на заряд частинки, з силою тяжіння

Тип матеріалу	а, м	F_k , Н	F_q , Н	F_k / F_q
Матеріал 1	$3 \cdot 10^{-5}$	$12,6 \cdot 10^{-9}$	$0,139 \cdot 10^{-9}$	91
	$3 \cdot 10^{-3}$	$12,6 \cdot 10^{-5}$	$13,9 \cdot 10^{-5}$	0,91
Матеріал 2	$3 \cdot 10^{-5}$	$18,8 \cdot 10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-9}$	17
	$3 \cdot 10^{-3}$	$18,8 \cdot 10^{-5}$	$111 \cdot 10^{-5}$	0,17

Примітка. Дані таблиці отримані розрахунком за таких умов: частки мають граничний заряд $Q_{\max 1}$; $E = 5 \cdot 10^5 \text{ В / м}$

З таблиці випливає, що при досить малих розмірах частинок сила F_k порівнянна з силою F_q і може навіть значно перевершувати останню.

Сила F_z , викликана взаємодією заряду частинки з електродом (сила дзеркального відображення). Нехай в повітрі на відстані h від провідній площині поміщений точковий заряд Q . Цей заряд наводить (індукує) на площині протилежний за знаком заряд $-Q$. Між індукованим зарядом $-Q$ і точковим зарядом Q виникає сила тяжіння F_z , яку називають силою дзеркального відображення. Силу F_z можна визначити за законом Кулона як силу взаємодії двох точкових різнойменних зарядів Q і $-Q$, розташованих на відстані $2h$ один від іншого:

$$F_z = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0(2h)^2} \quad 281$$

Знак "мінус" означає, що сила F_z направлена в сторону електрода.

Сила F_P , викликана неоднорідністю електричного поля. Виникнення цієї сили пов'язано з тим, що частка в електричному полі поляризується (рис.Рисунок. 66). На її кінцях накопичуються різнойменні поляризаційні заряди $+q$ і $-q$, на які з боку електричного поля діють сили, спрямовані в протилежні сторони. У неоднорідному полі зазначені сили не рівні одна одній, так як не рівні напруженості зовнішнього поля E_1 і E_2 в місцях розташування зарядів $+q$ і $-q$. Тому на частку діє результуюча сила F_P , відмінна від нуля. Якщо частка знаходиться в повітряному середовищі, ця сила спрямована в бік зростання напруженості поля.

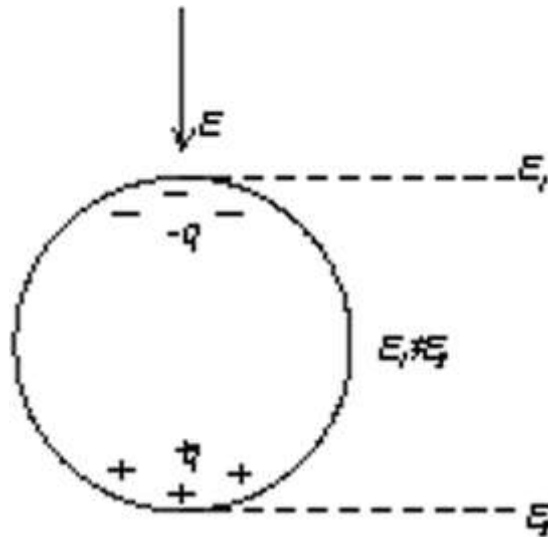


Рисунок. 66. Поляризаційна частка в неоднорідному електричному полі в повітряному середовищі

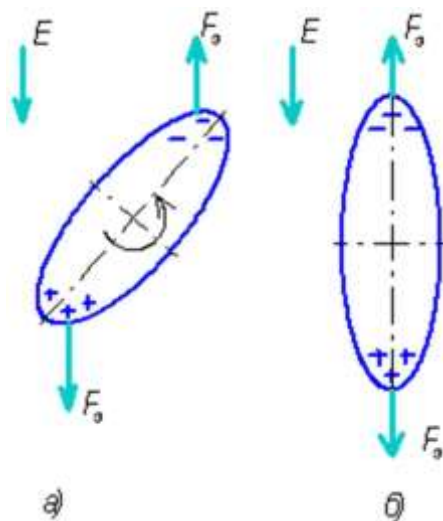


Рисунок. 67. Орієнтація витягнутої частки в електричному полі в повітряному

Сила, H , що діє на діелектричну сферичну частинку діаметром a в повітряному середовищі в неоднорідному електричному полі:

$$H = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 - \epsilon_0 \epsilon_2}{2} \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \nabla E^2 \quad 282$$

Орієнтуючий момент. Якщо велика вісь витягнутої частки, розташованої в електричному полі, становить певний кут з напрямком вектора напруженості E (рис. Рисунок. 67, а), то

сили F_e , що діють з боку поля на різнойменні поляризаційні заряди частинки, створюють обертаючий момент. Під дією цього моменту частка прагне зорієнтуватися великою віссю вздовж напрямку поля. У цьому положенні крутний момент дорівнює нулю (рис. Рисунок. 67,б).

Розглянувши основні фізичні явища в апаратах електронно-іонної технології, перейдемо до вивчення конкретних процесів сільськогосподарської ЕІТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковлев В.Ф. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення. / За заг. ред. проф. В.Ф. Яковлева. // В.Ф. Яковлев, Р.В. Кушлик, О.С. Квітка, Ю.М. Куценко. - Мелітополь, 2010.-106 с.
2. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл./ Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, М.П. Кунденко – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 332 с.
3. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник [Текст] / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. – Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.
4. Терешкевич, Л. Б. Освітлення промислових споруд та житлових будинків: навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. Б. Терешкевич, О. В. Бабенко. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 123 с.
5. Кунденко М. П. Освітлювальні та опромінювальні установки в агропромисловому комплексі [Електронний підручник] / М. П. Кунденко, О. Ю. Єгорова. – АС. № 75245, 2017.
6. Яковлев В. Ф. Електротехнології та електроосвітлення : конспект лекцій (частина 1) для студентів 2 с.т. (4) курсу денної і дистанційної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [Електронне видання] / В.Ф. Яковлев, О. В. Рясна. – Суми : СНАУ, 2020. – 62 с.
- 7.Електроосвітлення та опромінення: методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології та електроосвітлення» для студентів очної та дистанційної форм навчання ОС «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [Електронне видання] / укл. В. Ф. Яковлев, О. В. Рясна. – Суми : СНАУ, 2020. – 48 с.
8. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р. В. Кушлик, В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко, М. П. Кунденко, Ю. М. Федюшко. – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2016. - 332 с.
9. ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ /Конспект лекцій (частина 1) для студентів 2 с.т. (4) курсу денної і дистанційної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /Суми, 2020 рік.- 62 с.
10. Електротехнології та електроосвітлення. Методичні вказівки до лабора-торних робіт для студентів денної та дистанційної форм навчання ОС «Ба-калавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та елект-ромеханіка» / Суми, 2020 рік.- 48 с.
11. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ <http://nip.tsatu.edu.ua>

Савойський Олександр Юрійович
Рясна Ольга Василівна
Тесленко Олена Володимирівна

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 1 – Електротехнології

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. 3,0
