

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ЦЕНТР  
ПО ПІДГОТОВЦІ МОЛОДШИХ СПЕЦІАЛІСТІВ**

# **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК  
ІЗ КОНТРОЛЬНИМИ ЗАВДАННЯМИ**

**ДЛЯ СТУДЕНТІВ АГРАРНИХ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ  
ЗАКЛАДІВ I–II РІВНІВ АКРЕДИТАЦІЇ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
5.091903 “ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ І АВТОМАТИЗАЦІЯ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА”**

**2007**

## УДК 621.314

Укладач                    Кашенко П.С., викладач-методист Таращанського агротехнічного коледжу

Рецензенти:            Шкаровський О.В., старший викладач Таращанського агротехнічного коледжу;

Дяченко Ю.П., завідувач відділення Роменського коледжу Сумського НАУ;

Устименко О.А., викладач Хорольського агротехнічного коледжу Полтавської ДАА

Редактор                Світельська С.Ф.

Відповідальний  
за випуск              Гач М.Г.

Викладено фізичні основи та закономірності перетворення електричної енергії в теплову, методи безпосереднього використання електричної енергії в технологічних процесах, методи розрахунку та вибору електротехнологічних установок і пристроїв, будова, принцип дії і застосування сучасного електротехнологічного обладнання сільськогосподарського призначення, принципи керування й автоматизації, правила експлуатації і безпечного обслуговування.

---

---

## ПЕРЕДМОВА

Останнім часом спостерігається не тільки кількісне зростання електрообладнання в сільськогосподарському виробництві, а й глибокі якісні зміни.

Крім електропривода, все більше електричної енергії перетворюється в теплову, променисту, енергію електричного й магнітного полів, які використовуються для здійснення технологічних процесів.

Аналіз структури енергетичного балансу сільського господарства засвідчує, що на теплові процеси припадає більше 60% всієї спожитої енергії. Під час вибору раціональних способів забезпечення сільськогосподарських підприємств тепловою енергією необхідно враховувати специфічні особливості сільського господарства, зокрема, велику територіальну розпорошеність споживачів, невелику щільність теплового навантаження, сезонний фактор споживання теплоти та інші фактори.

Використання електроенергії для теплових процесів поряд з технічними перевагами, порівняно з традиційними паливними джерелами нагрівання, дає значний економічний ефект. Електронагрівні установки характеризуються простотою обслуговування, високим рівнем автоматизації, вони краще задовольняють зоотехнічні вимоги і легко узгоджуються з відповідними сільськогосподарськими машинами.

Крім того, використання у сільському господарстві електронагрівних установок дає значний технологічний ефект, який проявляється у кращому збереженні молодняка, підвищенні продуктивності тварин та економії кормів за рахунок підтримання оптимального температурного режиму в приміщеннях.

Широке застосування в сільськогосподарському виробництві знайшли електричні огорожі, установки для магнітної очистки кормів і насіння, магнітної обробки води, іонізатори повітря в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях та інкубаторах; отримують все більше поширення вискоелективні електричні сепаратори зерна, електричні способи передпосівної обробки зерна, знищення бур'янів і шкідників, пристрої обробки сільськогосподарських матеріалів і продуктів електричним струмом, електрофізичні методи обробки металів під час ремонтних робіт.

---

---

Надійна та економічна робота електротехнологічних установок значно залежить від якості їх монтажу та рівня технічної експлуатації і ремонту.

Зростають вимоги до підготовки молодших спеціалістів-електриків. Вони повинні досконало знати електротехнологічні установки, вміти їх грамотно експлуатувати.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні **знати**: принципи перетворення електричної енергії в теплову; способи електронагріву і їх раціональне застосування в сільськогосподарському виробництві; технологічні властивості електричного струму, електричних і магнітних полів, інших проявів електрики з метою їх використання для інтенсифікації технологічних процесів, підвищення виходу і зниження собівартості сільськогосподарської продукції; будову, принцип дії, методики розрахунку і вибору електротехнологічних установок і пристроїв; перспективні напрямки використання методів електротехнології в технологічних процесах.

**Уміти**: виконувати інженерні розрахунки й вибрати електротехнологічні установки і пристрої, задавати їм необхідний режим роботи, визначати й усувати несправності; розробляти і складати електричні схеми керування електротехнологічними установками; здійснювати техніко-економічне обґрунтування застосування методів електротехнології в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

Під електротехнологією розуміють дві великі групи процесів об'єднаних термінами “Електротермія” і “Електронно-іонна технологія”.

**Електротермія** включає процеси, в яких використання електричної енергії пов'язане з її перетворенням у теплову.

**Електронно-іонна технологія** охоплює технологічні та біологічні процеси, в яких електричну енергію у вигляді електричного струму, електромагнітних полів та інших форм електрики використовують для безпосереднього впливу на предмети праці без попереднього, як правило, перетворення її в інші види.

Мета вивчення дисципліни – це ознайомлення з науково-технічними основами електротехнології сільськогосподарського виробництва та освоєння інженерних методів вирішення завдань з раціонального використання.

Основні завдання дисципліни:

- вивчення і засвоєння фізичних основ і кількісних закономірностей перетворення електричної енергії в теплову, методів

---

---

безпосереднього використання електричної енергії в технологічних процесах;

- оволодіння інженерними методами розрахунку і вибору електротехнологічних установок і пристроїв;
- набуття знань з будови, принципу дії і застосування сучасного електротехнологічного обладнання сільськогосподарського призначення, ознайомлення з принципами керування й автоматизації, правилами експлуатації і безпечного обслуговування.

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур і забезпечення населення України продовольством – стратегічний напрямок сільськогосподарського виробництва.

Його вирішенню можуть сприяти три взаємозв'язаних між собою фактори:

- традиційне підвищення врожайності шляхом застосування високої агротехніки, використання добрив, зрошення, хімічних і біологічних засобів захисту рослин, гербіцидів;
- боротьба із складськими шкідниками хлібних запасів (ними знищується в країні до 30% зерна під час зберігання);
- знищення фітопатогенів – збудників небезпечних захворювань насіння.

Реалізувати в повній мірі перераховані складові для підвищення урожайності і збереження зернових ресурсів нині в Україні є неможливим через їх трудо-, енергомісткість, складність застосування, нестачу коштів та інші об'єктивні причини.

Тому актуальною є розробка нових економічних, ефективних і екологічних технологій, направлених на підвищення врожайності агрокультур, знищення шкідників і хвороб зерна під час зберігання.

Літературні джерела, численні дослідження вчених і накопичений практичний досвід засвідчують, що одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання **мікрохвильової енергії**.

## **1. ЕЛЕКТРОНАГРІВНІ УСТАНОВКИ**

### ***1.1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА***

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

---

---

 Прочитайте

Л–4, с. 254–256.

 Теоретичні відомості

Широке впровадження систем і методів електротехнології, особливо електротеплопостачання, обмежується низкою об'єктивних факторів, основними з яких є висока вартість і великі потреби в електроенергії на теплові процеси. Зростання цін на енергоносії в останні роки позначилося на вартості виробництва продукції тваринництва: підвищилась ціна 2,7–4,0% до 14–20%. Тому перевід теплових процесів на електроенергію потребує належного техніко-економічного обґрунтування.

Одним із напрямків ефективного використання палива є оптимальна децентралізація систем теплопостачання. За різними оцінками 15–20% виробленого тепла втрачається на шляху від джерела до споживача при централізованому теплопостачанні.

До процесів, в яких технологія виробництва вимагає застосування електричних джерел теплової енергії, належать: інкубація яєць, обігрівання молодняку тварин і птиці, одержання пари та гарячої води для технологічних потреб, теплова обробка кормів, обігрівання ґрунту в тепличних господарствах, підігрівання повітря у системах вентиляції, охолодження сільськогосподарської продукції для збільшення строку зберігання, електрозварювання тощо.

Для порівняння енергетичної цінності різних видів палива введено поняття *умовне паливо*, а також *паливний еквівалент*.

*Умовне паливо* – це таке паливо, теплота згоряння якого становить

$$Q_H^p = 29,93 \text{ МДж/кг.}$$

Коефіцієнти перерахунку значень енергоресурсів в умовні: природний газ – 1,15 м<sup>3</sup>; кокс – 0,99 кг; антрацитний штиб – 0,83; електроенергія – 0,365 кВт-год; бензин – 1,52 кг; дизельне пальне – 1,45 кг.

Для перерахунку натурального палива в умовне користуються формулою

$$B_{ум} = \frac{B_H Q_H^p}{29,33}, \quad (1.1.1)$$

де  $B_{ум}$  – умовне паливо, кг;

$B_H$  – натуральне паливо, кг;

---

---

$Q_H^P$  – нижча теплота згоряння, натурального палива, МДж/кг.

Для газоподібного палива перерахунок здійснюється за формулою

$$V_{\text{УМ}} = V_H Q_H^P / 7000 \times 10^3, \quad (1.1.2)$$

де  $V_H$  – кількість газоподібного палива, 1000 м<sup>3</sup>.

Паливним еквівалентом називають число, яке показує, скільки умовного палива міститься в одному кілограмі дійсного палива

$$\varepsilon = \frac{Q_H^P}{29,33} \quad (1.1.3)$$

Паливні еквіваленти: вугілля – 0,91–0,93; торф – 0,35; мазут – 1,35; дрова – 0,35.

Вибір енергоносіїв (варіантів теплопостачання) здійснюють шляхом техніко-економічного порівняння варіантів, які можуть забезпечити задані параметри теплопостачання. Основним критерієм порівняння варіантів є зведені витрати. Оптимальним визнається варіант, за яким зведені витрати мінімальні.

Зведені витрати кожного варіанта визначають за формулою

$$Z = E_n K + E_6, \quad (1.1.4)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень,  $E_n = 0,15$ ;

$K$  – сумарні капіталовкладення у виробничі фонди, грн.;

$E_6$  – річні експлуатаційні витрати, грн.

Сумарні капіталовкладення у виробничі фонди, грн.

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_B + K_M + K_{TM} + K_{AK}, \quad (1.1.5)$$

де  $K_{OB}$  – вартість основного та допоміжного обладнання;

$K_{TP}$  – витрати на зберігання й транспортування обладнання (близько 11% вартості основного і допоміжного обладнання);

$K_B$  – вартість будівельних робіт;

$K_M$  – вартість монтажу обладнання (приблизно 25% вартості основного й допоміжного обладнання);

$K_{TM}$  – вартість зовнішніх теплових мереж;

$K_{AK}$  – вартість акумулюючих ємностей теплової енергії під час роботи установки за вимушеним графіком (приймається 40% вартості основного і допоміжного обладнання).

Вказані капітальні витрати можна визначити користуючись кошторисами до типових проектів, цінниками, прейскурантами та іншою нормативною документацією.

Річні експлуатаційні витрати визначають за формулою

$$E_B = B_A + B_{\text{ПР}} + B_3 + B_{EH} + B_{IH}, \text{ грн.}, \quad (1.1.6)$$

---

---

де  $B_A$  – витрати на амортизаційні відрахування;  
 $B_{IP}$  – витрати на поточний ремонт ( в середньому 20% витрат на амортизацію);

$B_3$  – витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу;

$B_{EH}$  – витрати на енергоносії та електричну енергію;

$B_{IH}$  – загальногосподарські інші витрати (приблизно 30% від суми ( $B_A + B_{IP} + B_3$ )).

Річні витрати палива можна визначити також за формулою

$$B_{yII} = \frac{Q}{29,33\eta_H^{CP}}, \quad (1.1.7)$$

електроенергії (кВт-год у рік)

$$W = \frac{Q}{3,6 \times 10^{-3} \eta_H^{CP}}, \quad (1.1.8)$$

де  $Q$  – річна потреба в теплоті, ГДж в рік;  $3,6 \times 10^{-3}$  ГДж/кВт-год ;

$\eta_H^{CP}$  – середньорічний експлуатаційний коефіцієнт корисної дії використання енергоресурсів.

$$\eta_H^{CP} = \eta_{mp.з} \eta_{mzy} \eta_{mm} \eta_{peg}, \quad (1.1.9)$$

де  $\eta_{mp.з}$  – втрати енергоносія під час транспортування та зберігання;

$\eta_{mzy}$  – середньорічний експлуатаційний ККД теплогенеруючої установки;

$\eta_{mm}$  – втрати в тепломережі (0,8–0,9);

$\eta_{peg}$  – втрати за рахунок недостатньої точності регулювання подачі теплоти окремим споживачам.

За наближених розрахунків приймають  $\eta_{mp.з} = 0,8$ ;  $\eta_{peg} = 0,8$ ;

$\eta_{mzy}$  – приймають за заводським паспортним обладнаннями.

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Чим викликане обмежене використання електронагрівних установок у сільському господарстві?

2. Назвіть процеси, в яких технологія виробництва вимагає застосування електричних джерел теплової енергії.

3. Що таке умовне паливо?

4. Що називається паливним еквівалентом?

5. Що таке критерії порівняння варіантів тепlopостачання?

---

---

6. З чого складаються сумарні капіталовкладення джерел теплопостачання?

7. Що таке експлуатаційні витрати джерел теплопостачання?

### Тести

1. Переваги електронагрівальних установок перед іншими тепловими установками:

а) низький коефіцієнт використання енергоресурсів, великі капіталовкладення й експлуатаційні витрати;

б) простота обслуговування, високий рівень автоматизації і точності підтримання температури, екологічна чистота;

в) високий коефіцієнт використання енергоресурсів, великі затрати праці.

2. Одним із напрямків ефективного використання палива є ....

а) децентралізація систем теплопостачання;

б) централізація систем теплопостачання;

в) застосування палива з високим паливним еквівалентом.

3. Умовне паливо – це таке паливо...

а) теплота згоряння якого становить  $Q_H^P = 69,93$  МДж/кг;

б) теплота згоряння якого становить  $Q_H^P = 19,93$  МДж/кг;

в) теплота згоряння якого становить  $Q_H^P = 29,93$  МДж/кг.

4. Для перерахунку натурального палива в умовне користуються формулою

$$\text{а) } B_{\text{ум}} = \frac{B_H \times 29,33}{Q_H^P}; \quad \text{б) } B_{\text{ум}} = \frac{B_H \times Q_H^P}{29,33}, \quad \text{в) } W = \frac{Q}{3,6 \times 10^{-3} \eta_H^{\text{CP}}}.$$

5. Паливним еквівалентом називають число, яке показує ...

а) скільки палива необхідно витратити на нагрівання 1 кг матеріалу;

б) скільки умовного палива міститься в 1 кг дійсного палива;

в) скільки теплоти необхідно витратити для підвищення температури тіла на 1 °С.

6. Зведені витрати кожного варіанта визначають за формулою

а)  $Z = E_H E_v + K$ ; б)  $Z = E_H + K E_v$ ; в)  $Z = E_H K + E_v$ .

7. Річні витрати палива можна визначити за формулою

$$\text{а) } B_{\text{уп}} = \frac{Q}{29,33 \eta_H^{\text{CP}}}; \quad \text{б) } W = \frac{Q}{3,6 \times 10^{-3} \eta_H^{\text{CP}}}, \quad \text{в) } \varepsilon = \frac{Q_H^P}{29,33}.$$

---

---

8. Річні витрати електроенергії (кВт-год у рік) можна визначити за формулою

$$\text{а) } \varepsilon = \frac{Q_H^p}{29,33}; \quad \text{б) } B_{\text{вп}} = \frac{Q}{29,33\eta_H^{cp}}; \quad \text{в) } W = \frac{Q}{3,6 \times 10^{-3} \eta_H^{cp}}.$$

9. Річні експлуатаційні витрати, грн., визначаються за формулою

$$\text{а) } K = K_{OB} + K_{TP} + K_B + K_M + K_{TM} + K_{AK};$$

$$\text{б) } Z = E_H K + E_{\phi};$$

$$\text{в) } E_B = B_A + B_{PP} + B_3 + B_{EH} + B_{IH}.$$

10. Капітальні витрати, грн., визначаються за формулою

$$\text{а) } Z = E_H K + E_{\phi};$$

$$\text{б) } E_B = B_A + B_{PP} + B_3 + B_{EH} + B_{IH};$$

$$\text{в) } K = K_{OB} + K_{TP} + K_B + K_M + K_{TM} + K_{AK}.$$

11. Електротермія охоплює процеси, в яких ...

а) використання електричної енергії пов'язане з її перетворенням у механічну енергію;

б) використання електричної енергії пов'язане з її перетворенням у теплову й оптичну енергію;

в) електричну енергію в вигляді електричного струму, електромагнітних полів та інших форм електрики використовують для безпосереднього впливу на предмети праці без попереднього (як правило) перетворення її в інші види.

12. Електронно-іонна технологія охоплює технологічні й біологічні процеси, в яких ...

а) використання електричної енергії пов'язане з її перетворенням у теплову й оптичну енергію;

б) електричну енергію в вигляді електричного струму, електромагнітних полів й інших форм електрики використовують для безпосереднього впливу на предмети праці без попереднього (як правило) перетворення її в інші види;

в) використання електричної енергії пов'язане з її перетворенням у механічну енергію.

 **Виконайте**

### Практичне заняття

Техніко-економічне обґрунтування застосування електронагрівальних установок.

---

---

## **1.2. СПОСОБИ ТА ПРИСТРОЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВУ**

Загальні принципи перетворення електричної енергії в теплову. Класифікація електронагрівних установок за способом нагріву та іншими ознаками. Тепловий та електричний розрахунок електронагрівних установок.

### **Електронагрівання опором**

**Пряме** нагрівання опором. Електроконтактне нагрівання. Електродне нагрівання. Особливості, переваги й недоліки. Електрична провідність води. Електродні системи та їх розрахунок. Регулювання потужності.

**Побічне** нагрівання опором. Електричні нагрівники опору. Матеріали для нагрівальних елементів. Методи розрахунку відкритих нагрівників. Трубочасті електронагрівники (ТЕНи), будова, принцип дії, структура позначень, застосування. Розрахунок і вибір ТЕНів. Нагрівальні проводи та кабелі, призначення, технічні характеристики, застосування.

**Електродугове нагрівання.** Фізична природа і властивості електричної дуги. Повна й ефективна потужність, статична вольт-амперна характеристика.

Застосування в сільськогосподарському виробництві. Електрозварювальне обладнання. Вимоги до джерел живлення для дугового зварювання. Основні параметри та характеристики джерел. Умови стійкого горіння зварювальної дуги.

Зварювальні трансформатори. Осцилятори. Випрямлячі та генератори для дугового зварювання.

**Індукційне нагрівання.** Фізичні основи індукційного нагрівання. Принципи та пристрої індукційного нагріву струмами промислової частоти. Індукційний нагрів струмами середньої та високої частоти. Особливості високочастотного нагріву. Індуктори. Питома поверхнева потужність індукційного нагріву, глибина проникнення струму, ККД і коефіцієнт потужності системи “індуктор-виріб”. Застосування індукційного нагріву в сільському господарстві.

**Діелектричне нагрівання.** Фізичні основи діелектричного нагрівання.

Питома потужність, що виділяється в діелектрику. Основні напрямки та перспективи застосування діелектричного нагрівання в сільському господарстві.

---

---

Джерела живлення установок індукційного й діелектричного нагрівання.



Прочитайте

Л–2, с. 17–149; Л–4, с. 256–288.



Теоретичні відомості

### *Загальні принципи перетворення електричної енергії в теплову*

Під час електричного нагрівання тіл електрична енергія перетворюється в теплову. Відбувається цей процес так: у матеріалі, що нагрівається, створюють електричне поле. Якщо матеріал є провідником, то його безпосередньо вмикають в електричну мережу. Під дією поля вільні заряди (електрони, іони) починають рухатись. При цьому вони зустрічають опір з боку нейтральних атомів і молекул та зарядів протилежного знака. На подолання опору заряди витрачають енергію, яка виділяється в речовині у вигляді теплоти.

У матеріалах з поганою електропровідністю (діелектриках) під впливом електричного поля заряди, зв'язані міжмолекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Зміщення зв'язаних зарядів під дією електричного поля називають **поляризацією**. Якщо електричне поле змінне, то відбувається безперервне зміщення зарядів. Енергія електричного поля, яка витрачається на поляризацію молекул непровідникових матеріалів, виділяється у вигляді теплоти.

Якщо провідник помістити в індуктор, то під дією електромагнітного поля навколо провідника створюється електричне поле. Вільні заряди починають рухатись. При цьому, як уже було описано вище, в речовині виділяється теплота.

Розрізняють *прямий і побічний* способи електронагрівання. При прямому способі енергія електричного поля перетворюється на теплову безпосередньо в речовині, що нагрівається. При побічному способі електронагрівання енергія електричного поля перетворюється в теплову в спеціальних нагрівальних пристроях, а потім теплова енергія передається речовині, що нагрівається.

---

---

### ***Класифікація електронагрівальних установок за способами нагріву та іншими признаками***

Електротеплові установки класифікують за родом і частотою струму, напругою, способом перетворення енергії, температурою, способом передачі теплової енергії, принципом роботи тощо.

За родом струму розрізняють електронагрівальні установки постійного та змінного струмів, за частотою струму – електронагрівальні установки низької (промислової частоти – 50 Гц), середньої (до 10 кГц) та високої частоти (понад 10 кГц).

За напругою розрізняють електронагрівальні установки напругою до 1000 В і понад 1000 В.

Залежно від способу перетворення електричної енергії на теплову розрізняють електронагрівальні установки з такими способами електронагрівання: опором, електричною дугою, індукційним, діелектричним, електронним, квантовим (інфрачервоний і лазерний).

За способом передачі теплової енергії електронагрівальні установки поділяють на установки прямого й побічного електро-нагрівання.

Розрізняють електронагрівальні установки низькотемпературні (температура середовища, матеріалу чи виробу не перевищує 400°C) і високотемпературні (з температурою понад 400°C). Низькотемпературні установки використовують для нагрівання води, повітря, нафтопродуктів, обігрівання приміщень, теплової обробки харчових продуктів тощо.

За принципом роботи розрізняють установки періодичної та безперервної дії.

В установках періодичної дії матеріал, що нагрівають, спочатку завантажують, потім нагрівають до певної температури і вивантажують.

В установках безперервної дії матеріал, що нагрівають, безперервно проходить через установку і нагрівається за період перебування в ній від початкової до необхідної температури.

### ***Тепловий та електричний розрахунок електронагрівальних установок***

Розрахунку електротермічних установок передуює вибір способу перетворення електричної енергії в теплову, який визначається, головним чином, технологічним призначенням обладнання.

Для розрахунку установок періодичної дії необхідні такі вихідні дані: кількість матеріалу, що підлягає нагріванню, його теплофізичні

характеристики, початкова та кінцева температури нагрівання, тривалість нагрівання, характеристика мережі живлення. Для установок безперервної дії замість кількості матеріалу й тривалості нагрівання задають продуктивність.

Під час розрахунку електронагрівальних установок визначають їх теплові та електричні параметри, які забезпечують найкращі технологічні, експлуатаційні й економічні показники роботи установки. Під час теплового розрахунку визначають втрати теплоти на нагрівання і плавлення чи випаровування, втрати теплоти в зовнішнє середовище, тепловий коефіцієнт корисної дії, загальну потужність установки та її конструктивні параметри.

Теплова ізоляція електронагрівальної установки призначена для зниження втрат теплоти в оточуюче середовище. Вона повинна мати достатню механічну міцність, малу теплопровідність, низьку вартість, витримувати високі температури.

Встановлену потужність електронагрівальної установки, кВт, визначають за формулами:

- при нагріванні матеріалів в установках періодичної дії

$$P_y = \frac{K_3 mc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta T}, \quad (1.2.1)$$

- при нагріванні матеріалів в установках безперервної дії

$$P_y = \frac{K_3 Gc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta}, \quad (1.2.2)$$

- при плавленні та випаровуванні

$$P_y = \frac{K_3 G[c(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta}, \quad (1.2.3)$$

де  $m$  – маса матеріалу, що нагрівається, кг;

$G$  – продуктивність установки, кг-год<sup>-1</sup>;

$c$  – середня за період нагрівання питома теплоємність матеріалу, що нагрівається, кДж·кг<sup>-1</sup>·град<sup>-1</sup>;

$\theta_1, \theta_2$  – початкова й кінцева температура матеріалу, що нагрівається, град;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує старіння нагрівальних елементів і можливе зниження електричної напруги (приймають 1,1–1,3);

$a$  – питома теплота фазового перетворення (питома теплота плавлення, випаровування, кДж кг<sup>-1</sup>);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії електронагрівальної установки (ККД), який включає електричний ККД ( $\eta_e$ ) і тепловий ККД ( $\eta_T$ ).

Електричний ККД в основному залежить від способу електронагрівання. Під час електронагрівання опором він близький до одиниці. Теж саме можна сказати про установки електродугового нагріву, якщо не враховувати втрати в джерелах живлення електричної енергії. В установках індукційного нагрівання  $\eta_e=0,5-0,7$ , що пояснюється втратами електричної енергії в джерелах живлення, трансформаторі, індукторі, які входять до складу установки. Ще нижчий ККД в установках діелектричного нагрівання,  $\eta_e=0,4-0,5$ .

Тепловий ККД – це відношення ефективно спожитої енергії (витрати на підвищення температури матеріалу, який нагрівають) до загальної кількості виробленої теплової енергії.

У практичних розрахунках тепловий ККД визначають за формулою

$$\eta_T = \frac{P_{кор}}{P_{кор} + \Delta P_{от} + \Delta P_K}, \quad (1.2.4)$$

де  $P_{кор}$  – корисно спожита потужність, кВт;

$\Delta P_{от}, \Delta P_K$  – відповідно втрати потужності в навколишнє середовище і на нагрівання конструкцій, кВт.

Наближено можна прийняти  $\eta = 0,95-0,98$  для теплоізольованих установок безперервної дії і  $0,7-0,95$  для установок періодичної дії.

*Електричний розрахунок* електронагрівальних установок полягає у виборі способу нагрівання, напруги і частоти струму, розробці електричної схеми з'єднання і способу регулювання потужності та визначенні основних геометричних розмірів і робочої температури нагрівних елементів.

### ***Електронагрівання опором***

Цей спосіб нагрівання може бути прямим або побічним. Пряме електронагрівання опором буває двох видів: електроконтактне – нагрівання провідників першого виду та електродне – нагрівання провідників другого виду.

Провідники першого виду (метали, сплави, графіт) мають електронну провідність, а провідники другого виду (недистильована вода, молоко, соковиті та вологі корми тощо) – іонну провідність.

У твердих і рідких провідниках під час проходження електричного струму виділяється теплота, кількість якої визначається за законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (1.2.5)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, Дж;

$I$  – сила струму, А,  $R$  – електричний опір, Ом;  
 $t$  – час, с.  
 Потужність (Вт), що виділяється в провідникові

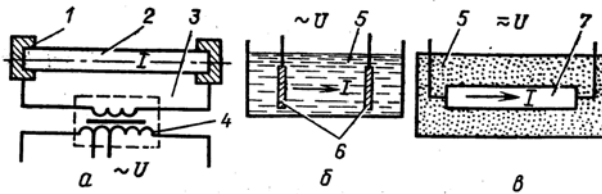
$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}, \quad (1.2.6)$$

Під час прямого електродного нагрівання матеріал, який нагрівають, вміщують між електродами, на які подають напругу.

В установках побічного нагрівання основною частиною електронагрівального пристрою є нагрівальний елемент.

*Електроконтактний нагрів* (рис. 1 а). Тіло 2 (труба, стержень) вмикають у вторинне коло понижувального трансформатора 4. Якщо опір тіла малий, то по ньому буде протікати великий струм і він швидко нагріє тіло. Струм до тіла підводять за допомогою масивних мідних зажимів 1.

Електроконтактний нагрів застосовують для нагрівання заготовок або деталей з чорних і кольорових металів для їх подальшої термічної обробки, а також контактного електричного зварювання під тиском.



**Рис. 1. Принципи нагрівання опором:**

- а – електроконтактний; б – електродний; в – елементний; 1 – зажим;  
 2 – тіло, що нагрівається; 3 – провідники живлення; 4 – нагрівальний трансформатор; 5 – середовище, що нагрівається; 6 – електроди;  
 7 – нагрівник

### *Електродне нагрівання*

Електродний спосіб нагрівання застосовують для провідників другого роду: води, молока, соковитих кормів, ґрунту, бетону та ін. Матеріал з іонною провідністю розміщують між електродами та нагрівають електричним струмом, що протікає від електрода до електрода (рис. 1б). Як і при електроконтактному нагріванні перетворення електричної енергії в теплову відбувається в матеріалі, що нагрівається. Електроди служать лише для підведення електричного струму до матеріалу, який нагрівається. Електродні нагрівники – це

---

---

система електродів (рис. 2). Вони можуть бути однофазними і трифазними.

Електроди виготовляють з нержавіючої сталі, графіту та титанових сплавів. Для виготовлення електродів забороняється використовувати мідь, оцинковане залізо, алюміній, бо електроди з цих матеріалів швидко окислюються, спричиняючи забруднення рідини, що нагрівається.

Установки електродного нагрівання мають просту будову, надійні в експлуатації та економічні. Електродний нагрів здійснюється тільки на змінному струмі для запобігання електролізу води.

### *Електропровідність води*

Вода без домішок практично не проводить електричний струм. Її провідність при 20 °С складає близько  $0,3 \times 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  (для порівняння – провідність міді  $0,6 \times 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ). Провідність звичайної води обумовлена наявністю розчинених у ній солей, кислот, лугів, молекули яких у воді дисоціюють на іони.

### Увага

Питомий опір водяних розчинів залежить від ступеня дисоціації, яка визначається відношенням кількості дисоційованих молекул до їх загальної кількості, що знаходяться в розчині. Ступінь дисоціації залежить від природи та концентрації розчину. З підвищенням температури збільшується ступінь дисоціації і тому зростає електропровідність, а питомий опір зменшується. Для провідників першого роду із збільшенням температури питомий опір збільшується.

Під час експлуатації електродних котлів необхідно знати питомий електричний опір води. Вмикання їх без попереднього визначення питомого опору води може призвести до аварії.

*Установка для вимірювання питомого електричного опору води* складається з електролітної ванни розміром  $100 \times 200 \times 50$  мм з ізоляційного матеріалу, вольтметра, міліамперметра і автотрансформатора. Біля торцевих стінок ванни встановлені прямокутні плоскі електроди з міді або алюмінію. На деякій відстані від електродів розміщують два дротяні зонди діаметром 0,5–1 мм. Питомий опір води, Ом·м, визначають за формулою:

$$\rho_{20} = \frac{RS}{l} = \frac{US}{I}, \quad (1.2.7)$$

де  $U$  – спад напруги між зондами при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ , В;  
 $I$  – сила струму в колі установки при температурі води  $20^{\circ}\text{C}$ , А;  
 $S$  – площа поперечного перерізу води у ванні,  $\text{м}^2$ ;  
 $l$  – відстань між зондами, м.

Для зменшення похибки вимірювання потрібно користуватися вольтметром з високим внутрішнім опором.

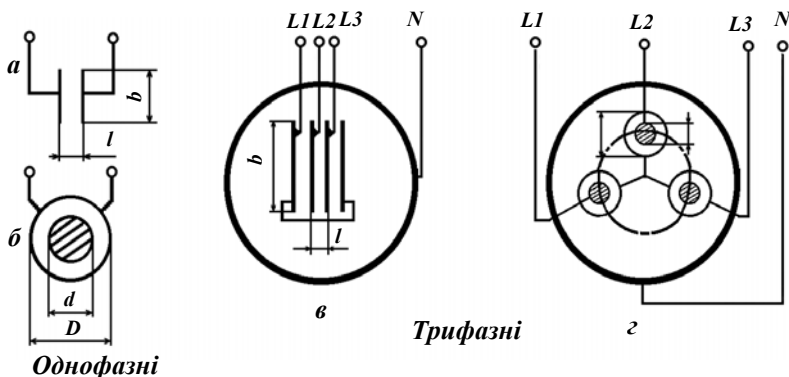
Питомий опір вимірюють при температурі води  $20^{\circ}\text{C}$ . Щоб зменшити похибки вимірювання під час запису показань вольтметра і міліамперметра, термометр не повинен знаходитись у ванні.

Якщо під час вимірювання температура води у ванні була вище або нижче  $20^{\circ}\text{C}$ , питомий опір перераховують за формулою

$$\rho_{20} = \rho_{\theta} \frac{20 + \theta}{40}, \quad (1.2.8)$$

де  $\rho_{\theta}$  – питомий опір води при температурі  $\theta$ , Ом·м;  
 $\theta$  – температура води під час вимірювання,  $^{\circ}\text{C}$ .

### Електродні системи та їх розрахунок



**Рис. 2. Найпоширеніші типи електродних систем:**

а – однофазний з плоскими електродами; б – однофазний з циліндричними коаксіальними електродами; в – трифазний з плоскими електродами; г – трифазний з циліндричними коаксіальними електродами

Під час розрахунку електродних нагрівників вибирають їх конструктивне виконання та визначають площі електродів і відстані між ними.

---

---

Розміри електродів в основному залежать від максимально допустимої густини струму на електродах і напруженості поля між електродами.

Максимальна напруженість поля між електродами  $E_{дон}$  для води 125–250 Всм<sup>-1</sup>. Максимальна густина струму на електродах наприкінці нагрівання не повинна перевищувати 2 Асм<sup>-2</sup> при нагріванні води циліндричними електродами і 0,5 Асм<sup>-2</sup> при нагріванні плоскими електродами.

Відстань між електродами

$$l = \frac{U}{E_{дон}}, \quad (1.2.9)$$

де  $U$  – напруга, що подається на електроди, В.

*Не рекомендується брати довжину  $l$  менше 1,5 см.*

Незалежно від схеми з'єднань електродів потужність трифазного нагрівника  $P$ , кВт, визначається за формулою

$$P = \frac{3U_{\phi}^2 \times 10^{-3}}{R_{\phi}}, \quad (1.2.10)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;

$R_{\phi}$  – опір однієї фази, Ом.

При нагріванні води опір її зменшується завдяки збільшенню швидкості руху іонів – носіїв електричних зарядів.

Під час проведення розрахунку беруть середнє значення опору, яке визначають за формулою

$$R_{\alpha} = \frac{K\rho_{\alpha}}{h}, \quad (1.2.11)$$

де  $h$  – висота електродів, см;

$\rho_{\alpha}$  – середній питомий опір води за період нагрівання, Ом·см;

$K$  – геометричний коефіцієнт.

Геометричний коефіцієнт для різних електродних систем (рис. 2) визначається за формулами:

- для однофазної системи з плоскими електродами

$$K = \frac{l}{b}, \quad (1.2.12)$$

- для трифазної системи з пластинчатими електродами

$$K = \frac{l}{(n-1)b}, \quad (1.2.13)$$

- для однофазної й трифазної з коаксіальними електродами

$$K = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D}{d}, \quad (1.2.14)$$

де  $n$  – кількість пластин;  
 $d$  і  $D$  – відповідно діаметри електрода і антиелектрода;  
 $l$  – відстань між електродами;  
 $b$  – ширина пластин.

Питомий опір води при температурі  $\theta$

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha(\theta - 20)}, \quad (1.2.15)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт (0,025–0,035).

Якщо прийняти  $\alpha=0,025$ , то одержимо спрощену формулу

$$\rho_{\theta} = \frac{40\rho_{20}}{20 + \theta}, \quad (1.2.16)$$

середня температура за період нагрівання

$$\theta_c = 0,5(\theta_1 + \theta_2), \quad (1.2.17)$$

де  $\theta_1$  – температура води до нагрівання,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_2$  – температура води наприкінці нагрівання,  $^{\circ}\text{C}$ .

Середнє значення питомого опору за період нагрівання

$$\rho_{\alpha} = \frac{40\rho_{20}}{20 + \theta_c}. \quad (1.2.18)$$

Підставивши в формулу 1.2.10 значення  $\rho_{\theta}$ , одержимо значення середньої потужності за період нагрівання

$$P_C = \frac{3U_{\phi}^2 \times 10^{-3} (20 + \theta_c) h}{40K\rho_{20}}. \quad (1.2.19)$$

Звідси визначаємо висоту електродів

$$h = \frac{13,3 \times 10^3 P_C \rho_{20} K}{U_{\phi}^2 (20 + \theta_c)}. \quad (1.2.20)$$

Підставивши замість  $P_C$  її значення з формули 1.2.2, одержимо вираз висоти електрода

$$h = \frac{3,62K_3 Gc\rho_{20} K(\theta_2 - \theta_1)}{U_{\phi}^2 \eta (20 + \theta_c)}. \quad (1.2.21)$$

Максимальна густина струму повинна бути меншою від допустимої. Тому розрахункову площу електродів слід перевірити на максимальну густина струму. Роблять це так: спочатку визначають потужність однієї фази наприкінці нагрівання води  $P_{M\phi}$  за формулою

$$P_{M\Phi} = \frac{U_{\Phi}^2 h (20 + \theta_2) \times 10^{-3}}{40 K \rho_{20}}. \quad (1.2.22)$$

Потім визначають максимальну густину струму на електродах

$$J = \frac{K_H P_{M\Phi} \times 10^3}{U_{\Phi} S}, \quad (1.2.23)$$

де  $S$  – активна поверхня електрода однієї фази,  $\text{см}^2$ ;

$K_H$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність густини струму на поверхні електродів (приймають 1, 1–1,4).

Якщо максимальна густина струму більша за допустиму, то слід взяти менше значення максимальної напруженості електричного поля між електродами.

### Приклад

Розрахувати трифазну систему електродного проточного водонагрівача з плоскими електродами. Напруга живлення 380 В.

*Вихідні дані:*

Продуктивність водонагрівача –  $G=100$  л/год;

температура води до нагрівання –  $\theta_1=15$  °С;

температура води наприкінці нагрівання –  $\theta_2=90$  °С;

питомий опір води при 20 °С –  $\rho_{20}=30$  Ом·м.

### Розв'язання

1. Визначаємо розрахункову потужність водонагрівача

$$P_y = \frac{K_3 G c (\theta_2 - \theta_1)}{3600 \eta} = \frac{1,2 \times 100 \times 4,2 (90 - 15)}{3600 \times 0,9} = 11,6 \text{ кВт}.$$

2. Визначаємо віддаль між пластинами

$$l = \frac{U}{E},$$

де  $E$  – напруженість електричного поля,  $E=125\text{--}250$  В/см (менші значення напруженості беруться для менших значень питомого опору води  $\rho_{20}$ )

$$l = \frac{380}{150} = 2,53 \text{ см} = 0,0253 \text{ м}.$$

Приймаємо ширину пластини  $b=10$  см.

3. Визначаємо геометричний коефіцієнт

$$K_r = \frac{l}{(n-1)b} = \frac{2,53}{(4-1) \times 10} = 0,084.$$

4. Визначаємо середню температуру нагрівання води

$$\theta_{CP} = 0,5(\theta_2 + \theta_1) = 0,5(90 + 15) = 52,5^\circ\text{C}.$$

5. Визначаємо висоту пластини

$$h = \frac{40PK_r\rho_{20}}{3U^2 \times 10^{-3}(20 + \theta_{CP})} = \frac{40 \times 11,6 \times 0,084 \times 30}{3 \times 380^2 \times 10^{-3}(20 + 52,5)} = 0,11\text{м} = 11\text{см}.$$

6. Визначаємо потужність на одну фазу наприкінці нагрівання

$$P_{M\phi} = \frac{U^2 h(20 + \theta_2)10^{-3}}{40\rho_{20}K_r} = \frac{380^2 \times 0,11(20 + 90)10^{-3}}{40 \times 30 \times 0,084} = 5,8\text{кВт}.$$

7. Визначаємо густину струму на електродах

$$J = \frac{K_H P_{M\phi} \times 10^3}{US} = \frac{1,2 \times 5,8 \times 10^3}{380 \times 10 \times 11} = 0,167\text{А/см}^2.$$

$$J < J_{дон}; \quad 0,167 < 0,5\text{ А/с}.$$

### ***Побічне нагрівання опором***

Побічне нагрівання опором найбільш широко застосовується в низько- і середньотемпературних процесах, а також у деяких високотемпературних процесах ремонтного виробництва й промисловості. Перевага цього способу полягає у можливості нагрівання будь-яких провідних і непровідних матеріалів у зоні температур до  $1500^\circ\text{C}$ , відсутність впливу електричного струму на матеріал, що нагрівається, можливість використання як змінного, так і постійного струму.

Електричні нагрівники побічного нагрівання прості за конструкцією і за вартістю поступаються лише електродним нагрівникам. Вони достатньо безпечні в експлуатації, що дуже важливо за відсутності постійного обслуговуючого персоналу.

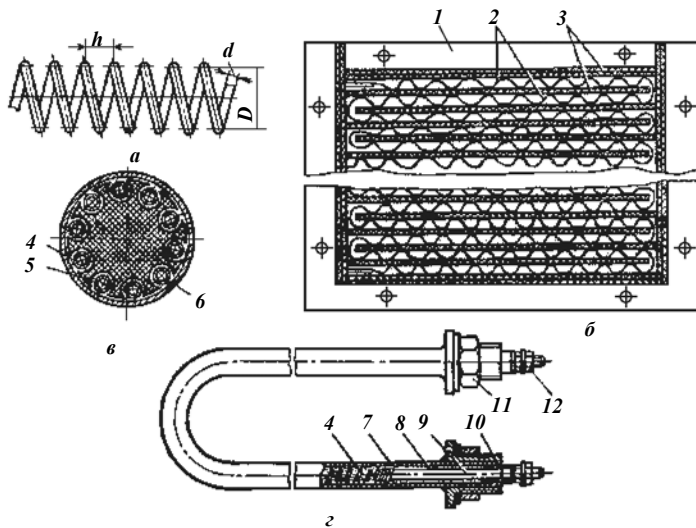
До недоліків побічного нагрівання можна віднести таке:

- порівняно низький строк служби нагрівних елементів;
- складність, а інколи й неможливість ремонту нагрівних елементів;
- більші, в порівнянні з прямим нагріванням, питомі витрати електроенергії.

### ***Матеріали для нагрівальних елементів***

Нагрівальний елемент є найбільш відповідальною частиною електронагрівальної установки. Він працює в дуже складних умовах. Тому до матеріалів, з яких виготовляють нагрівальні елементи, ставляться спеціальні вимоги:

- стійкість проти окислення при високих температурах;
- здатність витримувати механічні навантаження від власної маси при високих температурах;
- низький температурний коефіцієнт розширення, що забезпечує при підвищенні температури незначне збільшення опору;
- висока температура плавлення (на 150–300°C вища за робочу температуру);
- високий питомий опір, збільшення якого веде до зменшення маси нагрівального дроту і габаритів електронагрівника;
- добра оброблюваність;
- невисока вартість.



**Рис. 3. Типи електронагрівачів опору:**

- a* – відкритий спіральний; *б* – відкритий у вигляді гофрованої стрічки електрокалорифера; *в* – закритий (спіраль на керамічній основі в захищеному кожусі); *г* – трубчастий (ТЕН): 1 – корпус; 2 – електронагрівник із гофрованої стрічки; 3 – ізоляційні прокладки; 4 – спіраль; 5 – керамічний стержень з пазом; 6 – захисний кожух; 7 – трубка; 8 – наповнювач; 9 – вивідна шпилька; 10 – ущільнююча втулка; 11 – гайка кріплення; 12 – виводи

---

---

Найкраще задовольняють цим вимогам спеціальні хромо-нікелеві сплави (ніхроми), залізохромоалюмінієві сплави та неметалеві нагрівники (графітні, вугільні, карборундові, карбідні тощо), оскільки чисті метали мають великий температурний коефіцієнт опору і порівняно невеликий питомий електричний опір.

Ніхроми — це сплави нікелю, хрому і заліза з домішкою марганцю. Вони бувають подвійні та потрійні. Подвійні ніхроми (X20H80) містять близько 20% хрому і 80% нікелю. Це найбільш високоякісні й дорогі сплави для нагрівальних опорів. Потрійні сплави (X15H60) мають близько 15% хрому, 60% нікелю та 25% заліза. У низькотемпературних електротермічних установках достатньо надійно працюють дешевші подвійні ніхроми, які містять 24–27% хрому і 17–20% – нікелю (X25H20 і X23H18).

Серед залізохромоалюмінієвих сплавів найбільше використовують фехраль (X13Ю4), який складається з 13% хрому, 83% заліза і 4% алюмінію. Вони призначені для виготовлення нагрівників з робочою температурою до 700°C.

В установках з невисокою температурою нагрівання використовують сплав константан (60% міді і 40% нікелю). Для виготовлення нагрівальних елементів наведені матеріали використовують у вигляді дроту або стрічки певного перерізу.

У сільськогосподарських низькотемпературних установках широко використовують нагрівальні елементи зі сталюого оцинкованого дроту, який має невисоку ціну. Проте нагрівальні елементи зі сталюого оцинкованого дроту мають ряд недоліків, а саме: низьку жаростійкість (допустима робоча температура не вище 300°C); великий температурний коефіцієнт опору; нестандартність електричних властивостей навіть у межах однієї марки дроту, що ускладнює розрахунок нагрівальних елементів; легко піддаються окисленню та іржавінню, що знижує строк їх служби.

У високотемпературних установках використовують неметалеві нагрівальні елементи із карборунда, молібдена і графіта з робочою температурою відповідно до 1570, 1870 і 3270K.

У плівкових нагрівниках нагрівальні елементи виготовляють з вуглеграфітної струмопровідної тканини, сажонаповненої гуми, металонаповнених склоемалей, склоцементів, електропровідною основою в яких є феросиліцій, титан, алюміній та дисиліцид молібдену.

Плоскі нагрівні елементи на основі резистивних плівок мають таку будову: корпус із листової сталі вкривають електроізоляційною

---

---

емаллю і наносять методом пневматичного розпилювання пастоподібну масу резистивного матеріалу електропровідної плівки. Нанесену композиційну масу після сушіння і термообробки вкривають термостійким електроізоляційним лаком, органічною емаллю або епоксидною смолою.

Для ізоляції нагрівальних елементів використовують спеціальні матеріали, які, крім електроізоляційних властивостей, мають високу теплопровідність, що забезпечує мінімальний теплоперепад між нагрівальним опором і робочою поверхнею елемента. Ці властивості ізоляційні матеріали повинні зберігати при високій робочій температурі та підвищеній вологості. Одним з таких ізоляційних матеріалів є периклаз – плавлений окисел магнію. Його питомий об'ємний опір при температурі 600°C становить не менш як  $5 \times 10^7$  Ом·см, а діелектрична проникність при цій температурі не менш як  $1,2 \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1}$ . У холодному і нагрітому станах він не сполучається з водою, металами та повітрям.

Для ізоляції нагрівальних елементів використовують також азбест, слюду, фарфор, кварцовий пісок та фасонну кераміку, яка одночасно може бути й каскадом для нагрівального опору.

#### ***Розрахунок нагрівальних елементів за робочим струмом і таблицями навантаження***

Цей метод широко застосовується на практиці. Для розрахунку нагрівальних елементів використовують експериментальні табличні або графічні залежності між струмовим навантаженням, температурою і перерізом дроту нагрівального елемента, які наводяться в довідковій літературі для проводів, розміщених горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20°C. Під час переходу до реальних умов роботи нагрівального елемента вводять поправкові коефіцієнти монтажу  $K_M$  та середовища  $K_C$ .

#### **Значення поправкового коефіцієнта $K_M$ залежно від конструктивного виконання нагрівача**

Дріт при горизонтальному розміщенні у спокійному повітрі	1
Спіраль з дроту без теплової ізоляції у спокійному повітрі	0,8–0,85
Спіраль з дроту на вогнетривкому каркасі у спокійному повітрі	0,7
Дріт на вогнетривкому каркасі у спокійному повітрі	0,6–0,7
Нагрівальні опори з доброю тепловою ізоляцією (трубчасті електронагрівачі, електронагрівальні елементи у ґрунті та підлозі)	0,3–0,4

---

---

**Значення поправкового коефіцієнта  $K_C$  для деяких умов навколишнього середовища**

Спіраль з дроту у потоці повітря, що рухається зі швидкістю, м/сек<sup>-1</sup> :

3	1,8
5	2,1
10	3,1
Нагрівальний елемент у воді	2,5
Нагрівальний елемент у потоці рідини	3–3,5

*Коефіцієнт монтажу* враховує погіршення тепловіддачі від дроту, що веде до підвищення його температури порівняно з табличними даними. *Коефіцієнт середовища* враховує поліпшення тепловіддачі завдяки впливу зовнішнього середовища, що викликає зниження температури дроту.

Розрахунок ведуть у такій послідовності: за формулами 1.2.1 чи 1.2.2 визначають потужність електронагрівальної установки. Потім задаються даними про напругу, схему з'єднань і кількість паралельних секцій в кожній фазі. При потужності нагрівальної установки понад 1 кВт нагрівальні пристрої виготовляють трифазними.

Робочий струм нагрівального пристрою визначають за формулами:

- для однофазних установок

$$I = \frac{P \times 10^3}{U_n}; \quad (1.2.24)$$

- для трифазних установок

$$I = \frac{P \times 10^3}{\sqrt{3}U_n}, \quad (1.2.25)$$

де  $P$  – потужність установки, кВт;

$U$  – напруга, В;

$n$  – кількість паралельних секцій в одній фазі.

Потім вибирають матеріал дроту і його допустиму температуру в довідковій літературі.

Розрахунок температури дроту визначають за формулою

$$\theta_p = \frac{\theta_d}{K_M K_C}. \quad (1.2.26)$$

За робочим струмом та розрахунковою температурою з табл. 1 вибирають діаметр і площу поперечного перерізу дроту.

Довжину дроту однієї секції визначають за формулою

$$l = \frac{U_{\phi}^2 S}{\rho_{20} [1 + \alpha(\theta_p - 20)] P_C}, \quad (1.2.27)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;

$P_C$  – потужність однієї секції, Вт;

$S$  – площа поперечного перерізу,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_{20}$  – питомий опір при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ , Ом/м;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт опору,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

Діаметр спіралі визначають з умови

$$D = (6 - 10)d. \quad (1.2.28)$$

Крок спіралі

$$h = (2 - 4)d. \quad (1.2.29)$$

Кількість витків спіралі

$$\omega = \frac{1000l}{\sqrt{h^2 + (\pi D)^2}}. \quad (1.2.30)$$

Довжина спіралі

$$L = \frac{h\omega}{1000}. \quad (1.2.31)$$

### Приклад

Розрахувати відкритий нагрівник у вигляді спіралі розміщеної у спокійному повітрі. Напруга живлення 220В. Температурний коефіцієнт опору –  $\alpha=16,5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ; питомий опір при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  –  $\rho_{20}=1,1 \times 10^{-6}$  Ом; потужність нагрівника –  $P=1$  кВт; допустима температура дроту –  $\theta_d=850^{\circ}\text{C}$ .

### Розв'язання

1. Визначаємо розрахунковий струм нагрівника

$$I = \frac{P \times 10^3}{U_n} = \frac{1 \times 1000}{220 \times 1} = 4,54 \text{ А.}$$

2. Визначаємо розрахункову температуру дроту

$$\theta_p = \frac{\theta_d}{K_M K_C} = \frac{850}{0,85 \times 1,0} = 1000^{\circ}\text{C}.$$

3. За робочим струмом та розрахунковою температурою з табл. 1 вибираємо діаметр і площу поперечного перерізу дроту:

$d=0,4$  мм ;  $S=0,126$   $\text{мм}^2$ .

4. Визначаємо довжину дроту однієї секції

$$l = \frac{U_{\phi}^2 S}{\rho_{20} [1 + \alpha(\theta_p - 20)] P_C},$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;

$P_C$  – потужність однієї секції, Вт;

$S$  – площа поперечного перерізу,  $\text{м}^2$ .

$$l = \frac{220^2 \times 0,126 \times 10^{-6}}{1,1 \times 10^{-6} [1 + 16,5 \times 10^{-6} (1000 - 20)] 1000} = 5,45 \text{ м.}$$

5. Визначаємо діаметр спіралі

$$D = 10d = 10 \times 0,4 = 4 \text{ мм.}$$

6. Визначаємо крок спіралі

$$h = 2,5d = 2,5 \times 0,4 = 1 \text{ мм.}$$

7. Визначаємо кількість витків спіралі

$$\omega = \frac{1000l}{\sqrt{h^2 + (\pi D)^2}} = \frac{1000 \times 5,45}{\sqrt{1^2 + (3,14 \times 4)^2}} = 433.$$

8. Визначаємо довжину спіралі

$$L = \frac{h\omega}{1000} = \frac{1 \times 433}{1000} = 0,433 \text{ м.}$$

Таблиця 1

**Допустимі навантаження на ніхромовий дріт, підвішений горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20°C**

Діаметр дроту	Переріз, $\text{мм}^2$	Сила струму (А) при розрахунковій температурі, °C						
		200	400	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0
0,15	0,0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,25	0,049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,35	0,096	1,27	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,25
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,45	0,159	1,74	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,5	0,195	2,0	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,55	0,238	2,25	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,6	0,282	2,52	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,65	0,332	2,82	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,75	0,442	3,4	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
1,0	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,6	2,01	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,8	2,54	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
2,0	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
2,5	4,91	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
3,0	7,07	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
4,0	12,6	37,0	60,0	80,0	93,0	110,0	129,0	151,0
5,0	19,6	52,0	83,0	105,0	124,0	146,0	173,0	206,0

### ***Трубочасті електронагрівники (ТЕНи)***

Низько- і середньотемпературні установки побічного нагріву обладнують ТЕНами заводського виготовлення, які відрізняються високою надійністю, електробезпекою. Вони складаються з металевої трубки (рис. 3 г), всередині якої у наповнювачі (периклаз) розміщена ніхромова спіраль. Кінці спіралі приварені до вивідних контактних стержнів. Після засипання наповнювача трубка

---

---

обпресовується. Під великим тиском наповнювач перетворюється у твердий монолітний матеріал, що фіксує спіраль та ізолює її від трубки.

У трубчастих нагрівниках застосовують суцільнотягнуті трубки зовнішнім діаметром 9–16 мм і довжиною до 6 м. Матеріал трубки вибирається залежно від робочої температури і умов роботи. Для нагрівання повітря використовують трубки з вуглецевої сталі Ст10 (допустима температура 450<sup>0</sup>С) і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т (допустима температура 700<sup>0</sup>С), а для нагрівання води – з міді, латуні та нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.

Внаслідок герметизації спіраль не окислюється і тому строк служби ТЕНа досягає 10000 годин і більше, вони не бояться ударів і вібрації.

Для нагрівання повітря виготовляють трубчасті нагрівники з трубками алюмінієвого сплаву. Для збільшення поверхні тепловіддачі на трубку намотана алюмінієва стрічка, внаслідок чого температура поверхні трубки зменшується до 480–200<sup>0</sup>С.

У сільськогосподарському виробництві використовують трубчасті електронагрівники серій НВ, НВЖ, ТЕН, ЕТ для води, слабких розчинів солей, лугів і кислот; НВС, ТЕН, ЕТ для нагрівання повітря до 350<sup>0</sup>С в установках і приміщеннях; НВСЖ для нагрівання повітря до 600<sup>0</sup>С; НММ, НММЖ, ТЕН, ЕТ для мінеральних масел і харчових жирів.

Основним параметром, який характеризує ТЕН, є питома потужність (потужність на одиницю поверхні трубки, Вт/см<sup>2</sup>), яка залежить від умов роботи і матеріалу трубки (табл. 2). Під час експлуатації ТЕНа в рідині рівень її повинен бути вищим межі активної частини нагрівника.

Переробляти ТЕН (розгинати і згинати з новим радіусом, приварювати арматуру для кріплення) забороняється, тому що при цьому пошкоджується вузол герметизації.

Опір ізоляції спіралі від зовнішньої трубки ТЕНа у холодному стані повинен бути 1 МОм. Якщо ж він менший, але не менше 0,1 МОм, то ТЕН необхідно підсушити при температурі 100–120<sup>0</sup>С протягом 4–6 год. Дозволяється сушити ТЕН вмиканням на знижену напругу або послідовно на робочу напругу за умови забезпечення відповідної температури.

Трубчасті нагрівні елементи з керамічною ізоляцією типу РЭН призначені для установки в електроводонагрівниках (табл. 3). Елемент – це дві коаксіальні металеві трубки різного діаметра. У

кільцевому зазорі між ними знаходиться ізолятор з 12 поздовжніми каналами, де розміщена ніхромова спіраль. Для поліпшення теплопередачі від спіралі до зовнішньої й внутрішньої трубок простір між ними засипають периклазом або кварцовим піском. Нагрівні елементи типу РЭН, на відміну від ТЕН можна розбирати і замінювати спіраль під час перегорання.

Таблиця 2

**Технічні характеристики трубчастих електронагрівників типу ТЕН**

Питома потужність, Вт/см <sup>2</sup>	Нагрівний матеріал	Умовне позначення нагрівного матеріалу	Застосування	Матеріал трубки
1	2	3	4	5
5,0	Повітря та інші гази й суміш газів	Т	Нагрівання нерухомого повітря при температурі поверхні ТЕНа від 450 до 700 <sup>0</sup> С	Нержавіюча сталь
2,2	Те ж	С	Те ж, при температурі поверхні ТЕНа до 450 <sup>0</sup> С	Вуглецева сталь
5,5	Те ж	О	Нагрівання повітря в потоці при швидкості не менше 6 м/с до температури поверхні ТЕНа 450 <sup>0</sup> С	Те ж
6,5	Те ж	К	Те ж, при температурі поверхні ТЕНа від 450 до 600 <sup>0</sup> С	Нержавіюча сталь
2,5	Те ж	Э	Нагрівання повітря в потоці при швидкості менше 6 м/с до температури поверхні ТЕНа 450 <sup>0</sup> С	Вуглецева сталь
5,1	Те ж	Н	Те ж, при температурі поверхні ТЕНа від 450 до 600 <sup>0</sup> С	Нержавіюча сталь

1	2	3	4	5
7,0	Вода слабкий розчин лугів і кислот	Х	Нагрівання, кип'ятіння	Мідь, латунь
11,0	Вода, слабкий розчин лугів і кислот	П	Нагрівання, кип'ятіння	Нержаві- юча сталь
11,0	Те ж	Р	Те ж	Вуглецева сталь
3,0	Жири, харчові мінеральні масла	И	Нагрівання у ваннах до температури поверхні ТЕНа 300 °С	Те ж

Таблиця 3

**Технічні дані трубчатих електронагрівників для нагрівання води,  
слабких розчинів лугів і кислот**

Номер за каталогом 12.15.04-77	Умовне позначення трубчатого нагрівника	Номінальна потужність, кВт	Опір, Ом	Питома поверх- нева потуж- ність, Вт/см <sup>2</sup>	Розмір, мм				Активна довжина, мм
					габарит- ний		устано- вочний		
					А	Б	Г	Д	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	ТЕН-32АВ/ 0,4Р36	0,4	3,24	4,08	370 171	- 86	- 73	- -	240 240
5	ТЕН-32А10/ 0,4Р220	0,4	120,88	5,3	171	60	50	-	240
6	ТЕН-32А10/ 0,4П220	0,4	120,88	5,3	171	60	50	-	240

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	ТЕН-32А13/ 0,4Р36	0,63	2,06	6,43	370 171	- 86	- 73	- -	240 240
10	ТЕН-32А13/ 1Р220	1,0	48,35	10,21	380 183	- 96	- 83	- -	240 240
16	ТЕН-44А13/ 0,63Р36	0,63	2,06	4,29	490 231	- 86	- 78	- -	360 360
20	ТЕН-44А13/ 0,8Р220	0,8	60,44	5,44	228	113	100	-	360
36	ТЕН-78А13/ 0,63Р110	1,0	12,10	3,50	830 401	- 86	- 73	- -	700 700
59	ТЕН-100 В13/2Р220	2,0	24,2	6,12	519	95	65	465	800
62	ТЕН-100 В13/3,5Р220	3,5	13,83	9,86	519	95	65	466	870
63	ТЕН-100 В13/3,5 П220	3,5	13,83	10,72	519	95	65	466	800
66	ТЕН-100 А13/4Р220	4,0	12,10	10,65	512	117	87	452	920
66	ТЕН-100 А13/4П220	4,0	12,10	10,65	512	117	87	452	920

Таблиця 4

**Технічні дані трубчатих електронагрівників для нагрівання повітря, інших газів і сумішей газів**

Номер за каталогом 12.15.04-77	Умовне позначення трубчатого нагрівника	Номінальна потужність, кВт	Опір, Ом	Питома поверх- нева потуж- ність, Вт/см <sup>2</sup>	Розмір, мм			Активна довжина, мм
					габарит- ний		устано- вочний	
					А	Б	Г	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
211	ТЕН-60А13/ 0,5О36	0,5	2,59	2,36	650 311	- 86	- 73	520 520

1	2	3	4	5	6	7	8	9
213	ТЕН-60А13/ 0,63О110	0,63	19,2	2,97	650 311	- 86	- 73	520 520
251	ТЕН-85А13/ 1О110	1,0	12,1	3,18	900 436	- 86	- 73	770 770
252	ТЕН-85Б16/ 1О110	1,0	12,1	2,77	910	-	-	720
253	ТЕН-85Б16/ 1Т110	1,0	12,1	2,77	910	-	-	720
212	ТЕН-60А13/ 0,5Э220	0,5	96,92	2,36	660 318	- 78	- 65	520 520
221	ТЕН-60Б13/ 1О220	1,0	48,40	5,21	660	-	-	470
222	ТЕН-60Б13/ 1К220	1,0	48,40	5,21	660	-	-	470
256	ТЕН-85Б13/ 1О220	1,0	48,40	3,41	910	-	-	720
257	ТЕН-85Б13/ 1Т220	1,0	48,40	3,41	910	-	-	720
283	ТЕН-100В13/ 1,6О220	1,6	30,26	4,90	1060	-	-	870
284	ТЕН-100В13/ 1,6Т220	1,6	30,26	4,90	1060	-	-	870
301	ТЕН-120Г16/ 1Т380	1,0	144,5	2,10	623	114	80	950
313	ТЕН-120Г13/ 1,6Т380	1,6	90,26	4,12	618	78	65	950

Таблиця 5

**Технічні характеристики електронагрівників типу РЭН**

Показники	РЭН-2/220И1	РЭН-6/220И1
Установлена потужність, кВт	2	6
Номинальна напруга, В	220	380
Зовнішній діаметр трубки, мм	74	74
Активна довжина трубки, мм	150	380
Кількість спіралей (фаз) у нагрівнику	1	3
Питома потужність, Вт/см <sup>2</sup>	4,2	6

Умовні позначення ТЕН розшифровуються так:

**ТЕН**   X   X   X/X   X   X   X   X  
**1**   **2**   **3**   **4**   **5**   **6**   **7**   **8**

1 – серія; 2 – розгорнута довжина, см; 3 – позначення довжини контактних стержнів:

позначення контактних стержнів	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
номінальна довжина стержня, мм	40	65	100	125	160	250	400	630

4 – зовнішній діаметр трубки, мм; 5 – номінальна потужність, кВт; 6 – позначення матеріалу нагрівання (табл. 2); 7 – номінальна напруга, В; 8 – додаткові індекси, які характеризують конструктивні особливості ТЕНів.

Умовні позначення нагрівників серії НВ, НВЖ, НВС, НВСЖ, НММ, НММЖ розшифровуються таким чином: Н – нагрівник; В – води; ВС – повітря; ММ – масла; Ж – з жаростійкою оболонкою; потім записується розгорнута довжина, м, і номінальна потужність, кВт.

### ***Вибір трубчастих нагрівальних елементів***

Необхідну потужність електронагрівальної установки визначають за формулами (1.2.1 або 1.2.2). З каталогу вибирають трубчастий нагрівальний елемент, який відповідає заданим умовам роботи, а за табл. 2 визначають допустиме питоме навантаження на поверхню трубки цього типу нагрівника відповідно до характеру нагрівання і середовища, яке нагрівається. Потім визначають потрібну активну поверхню нагрівників  $S$  і активну поверхню вибраного трубчастого нагрівального елемента  $S_B$  за формулами:

$$S = \frac{P \times 10^3}{P_{II} \times 10^4}; \quad (1.2.32)$$

$$S_B = \pi d l_a, \quad (1.2.33)$$

де  $S$  – необхідна активна поверхня нагрівників,  $m^2$ ;

$S_B$  – активна поверхня вибраного ТЕНа,  $m^2$ ;

$P$  – потужність нагрівальної установки, кВт;

$P_{II}$  – питома поверхнева потужність, Вт/ $cm^2$ ;

$d$  – діаметр трубки, м ;

$l_a$  – активна довжина одного ТЕНа, м.

---

---

Потрібну кількість нагрівників визначають за формулою

$$n = \frac{S}{S_B}$$

### Приклад

Виконати перевірочний розрахунок електроводонагрівника періодичної дії УАП-800/0,9-М1. Потужність одного ТЕНа  $P_e = 2$  кВт. Перепад температури води, яку нагрівають  $\Delta\theta = 70^\circ\text{C}$ , тривалість нагрівання  $T = 5$  год. Визначити загальну потужність і кількість ТЕНів.

### Розв'язання

1. Загальна потужність нагрівника періодичної дії

$$P = \frac{K_z m C \Delta\theta}{3600 \eta T},$$

де  $K_z$  – коефіцієнт запасу, 1,1–1,3;

$m$  – маса води, 800 кг;

$C$  – теплоємність води, 4,2 кДж/(кг $^\circ\text{C}$ );

$\eta$  – к.к.д., 0,95.

$$P = \frac{1,2 \times 800 \times 4,2 \times 70}{3600 \times 0,9 \times 5} = 17,4 \text{ кВт.}$$

2. За таблицею 4 вибираємо ТЕН-100В13/2Р220 з даними:

$l_a = 800$  мм;

$d = 13$  мм; питома поверхнева потужність  $P_n = 6,12$  Втсм $^{-2}$ .

3. Визначаємо площу активної поверхні ТЕНа

$$S_a = \pi d l_a = 3,14 \times 0,013 \times 0,8 = 0,032 \text{ м}^2.$$

4. Допустима площа поверхні нагрівників

$$S = \frac{P \times 10^3}{P_n \times 10^4} = \frac{17,4 \times 10^3}{6,12 \times 10^4} = 0,284 \text{ м}^2.$$

5. Визначаємо кількість ТЕНів за умовою допустимого нагрівання

$$n = \frac{S}{S_a} = \frac{0,284}{0,032} = 8,87.$$

Приймаємо  $n = 9$ .

### **Нагрівальні проводи та кабелі**

Спеціальні проводи та кабелі є різновидом нагрівних елементів при електронагріванні опором, мають струмоведучу жилу зі сталі або ніхрому, покриту зверху спеціальною ізоляцією.

Проводи використовують у технологічних процесах сільсько-господарського виробництва, в яких робоча температура не перевищує 40<sup>0</sup>С і застосування інших нагрівних пристроїв ускладнюється за умови гарантування електробезпеки або з інших причин; для обігріву ґрунту і повітря в спорудах захищеного ґрунту, підлоги в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях тощо.

Нагрівальні проводи ПОСХП, ПОСХВ і ПОСХВТ (табл. 6) мають однопроволочну стальну оцинковану жилу і поліетиленову або полівінілхлоридну ізоляцію. На поліетиленову ізоляцію проводів ПОСХП згубно впливає сонячне випромінювання і ними можна обігрівати тільки ґрунт у парниках і теплицях та підлогу в тваринницьких приміщеннях. У проводі ПНВСВ, підвищеної надійності, крім того, є додаткова ізоляція з фторопластової стрічки, екран із сталних дротів діаметром 0,3 мм і зовнішня полівінілхлоридна оболонка. Така конструкція нагрівального провода дозволяє в два рази збільшити строк його служби.

Таблиця 6

#### **Технічні характеристики нагрівних проводів**

Показники	ПОСХВ	ПОСХП	ПОСХВТ	ПНВСВ
1	2	3	4	5
Зовнішній діаметр, мм	2,9	2,3	3,4	6,2
Діаметр жили, мм	1,1	1,1	1,4	1,2
Тип ізоляції	Полівінілхлоридна	Поліетиленова	Полівінілхлоридна теплостійка	Плівінілхлорид + фторопласт
Допустима робоча температура поверхні проводу, <sup>0</sup> С	70	70	105	80
Опір 1 м проводу при робочій температурі, Ом	0,174	0,174	0,12	0,121

1	2	3	4	5
Питоме навантаження при прокладанні проводів у ґрунті та підлозі, Вт/м	9–10	11–12	16	16
Допустима напруга, В	250	250	250	250
Електричний опір ізоляції проводів при температурі 20 <sup>0</sup> С, МОм·км	5	5	5	10
Ресурс роботи, год	12000	12000	12000	20000

Нагрівні кабелі з кремнієорганічною ізоляцією марок КНРПВ і КНРПЭВ застосовують для обігрівання підлоги, тротуарів та інших споруд. Струмоведаучі жили кабелів виготовлені з семи скручених сталевих дротів діаметром 0,25 мм. Ізоляція жил складається з трьох шарів товщиною: кремнієорганічної гуми – 1 мм, самозатухаючого поліпропілену – 0,6 мм і полівінілхлоридного пластикату – 0,8 мм. У кабелі КНРПЭВ між поліпропіленовою і зовнішньою із полівінілхлоридного пластикату оболонками знаходиться екран у вигляді обмотки з мідних дротів діаметром 0,2 мм. Кабель КНРПВ має одну, а КНРПЭВ – одну і дві жили.

*Технічні характеристики нагрівних кабелів КНРПВ і КНРПЭВ*

Номинальна напруга, В	230
Допустима температура поверхні кабелю, °С	80
Довжина кабелю, при якій за напруги 220 В у повітряному середовищі температура поверхні досягає 80 °С, м:	
одножильного	55
двожильного	35
Потужність відрізка кабеля при відкритому прокладанні та напрузі 220 В, Вт:	
одножильного довжиною 55 м	1400
двожильного довжиною 35 м	1200
Електричний опір 1 м струмоведаучої жили кабеля при температурі 20 °С, Ом	0,53

Електричний опір ізоляції жили на 1 км довжини при температурі 20 °С, МОм, не менше	100
Зовнішній діаметр, мм:	
КНРПВ	5,55
КНРПЭВ одножильний	6,35
КНРПЗВ двожильний	6,35×9,1
Будівельна довжина, м:	
одножильного	55
двожильного	35
Строк служби, років, не менше	25

### ***Регулювання потужності електронагрівальних установок***

Під час експлуатації електронагрівальних установок часто виникає необхідність регулювати теплову продуктивність або робочу температуру. Потужність однієї фази електронагрівальної установки

$$P = UI = \frac{U^2}{R}. \quad (1.2.34)$$

Отже, потужність електронагрівальної установки можна регулювати змінюючи напругу живлення або опір нагрівальних елементів.

Найбільш поширеним способом регулювання потужності електронагрівальних установок є зміна еквівалентного опору нагрівальних елементів. Для цього нагрівальні елементи кожної фази поділяють на ряд секцій, які потім вмикають між собою паралельно, послідовно, або паралельно-послідовно. Перемикання із “зірки” на “трикутник” у поєднанні з перемиканням секцій значно збільшує діапазон регулювання потужності. Якщо кожну секцію з опором  $R_C$  розділити на дві однакові частини, то, використовуючи з’єднання на “зірку” і “трикутник”, можна одержати такі сім ступенів потужності:

послідовна “зірка”  $P = 0,5 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.35)$

одинарна зірка  $P = \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.36)$

послідовний “трикутник”  $P = 1,5 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.37)$

паралельна “зірка”  $P = 2 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.38)$

---

---

$$\text{одинарний "трикутник"} \quad P = 3 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.39)$$

$$\text{"зірка-трикутник"} \quad P = 4 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}; \quad (1.2.40)$$

$$\text{паралельний "трикутник"} \quad P = 6 \frac{U_{\text{Л}}^2}{R_C}. \quad (1.2.41)$$

Регулювання температурного режиму можна здійснити за постійної потужності нагрівальної установки, періодично вмикаючи та вимикаючи нагрівальні елементи.

Під час регулювання потужності електронагрівальних установок зміною напруги застосовують автотрансформатори або пристрої, виконані на тиристорах.

Під час тиристорного регулювання напруги, змінюючи кут відкриття тиристорів, можна плавно регулювати ефективне значення напруги на нагрівальних елементах, а отже, в широких межах регулювати потужність електронагрівника або зовсім вимикати його не застосовуючи контактної апаратури.

Потужність електродних водонагрівників регулюють перекриваючи шлях проходження струму між електродами за допомогою ізоляційних труб або пластин.

Температуру води в проточних водонагрівниках можна регулювати зміною подачі води. Температурний режим під брудерами та іншими установками з інфрачервоними опромінювачами можна регулювати зміною висоти підвішування цих електронагрівальних установок та вмиканням і вимиканням нагрівальних елементів та інфрачервоних ламп.

Температуру повітря в електрокалориферах можна регулювати зміною продуктивності вентилятора.

### ***Електронагрівання електричною дугою***

При цьому способі нагрівання перетворення електричної енергії в теплову відбувається в електричній дузі, що виникає між електродами в газовому середовищі. Спочатку на електроди подають напругу. Потім на мить торкаються одним електродом іншого для запалювання електричної дуги і повільно розводять електроди на певну відстань. Між електродами за рахунок термоелектронної іонізації газу виникає електрична дуга, яка є сильно іонізованою сумішшю газів і пари металу анода й катода. Напруженість електричного поля в основному стовпі дуги знаходиться в межах

---

---

1500–5000 Вм<sup>-1</sup>. Температура в каналі основної ділянки дуги досягає 6000–12000 °К, а концентрація іонів – 10<sup>24</sup> 1/м<sup>3</sup>. Отже, стовп дуги – це плазма з дуже високою питомою електричною провідністю. Горіння дуги супроводжується великим виділенням теплоти і потужним променистим потоком в оптичній ділянці спектра електромагнітних коливань.

Пряме нагрівання електричною дугою широко застосовується в електрозварювальних установках.

Потужність електричної дуги

$$P = U_D I_D \times 10^{-3}, \quad (1.2.42)$$

де  $P$  – потужність, кВт;

$U_D$  – напруга, В;

$I_D$  – сила струму, А.

Ефективна потужність електричної дуги

$$P_{ef} = U_D I_D \eta_{ef} \times 10^{-3}, \quad (1.2.43)$$

де  $\eta_{ef}$  – ефективний к. к. д. електродугового нагрівання.

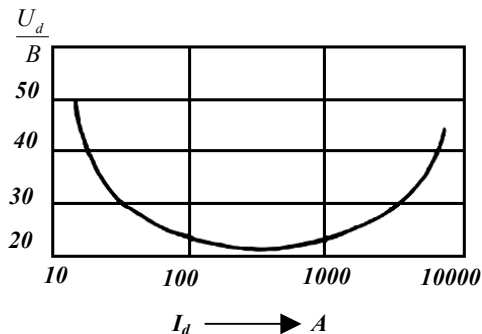
Під час зварювання відкритою електричною дугою металевими електродами  $\eta_{ef}$  змінюється в межах 0,7–0,85, під флюсом – 0,8–0,95.

За видом струму розрізняють електричні дуги постійного й змінного струмів.

Основні властивості електричної дуги визначаються її статичною вольтамперною характеристикою (рис. 4), яка є залежністю спаду напруги на дузі від значення струму.

Умовно статичну вольтамперну характеристику дуги можна поділити на три ділянки: 1 – малих струмів (до 80 А), 2 – середніх струмів (80–800 А), 3 – великих струмів (понад 800 А). У першій ділянці вольтамперна характеристика має спадний вигляд. Пояснюється це тим, що з ростом струму збільшується площа поперечного перерізу і електропровідність стовпа дуги, а густина струму й напруженість електричного поля зменшуються.

В ділянці 2 площа поперечного перерізу дуги збільшується пропорційно струму, тому значне збільшення струму викликає незначний спад напруги. Таку характеристику називають жорсткою. Вона забезпечує стійке горіння електричної дуги.



**Рис. 4. Статична вольт-амперна характеристика електричної дуги**

В ділянці 3 підвищення струму не веде до збільшення поперечного перерізу дуги внаслідок обмеженої площі торця електроду, тому характеристика електричної дуги має зростаючий вигляд. Електричну дугу з такою характеристикою використовують під час зварювання під флюсом і в середовищі захисних газів.

#### *Джерела зварювального струму*

Джерела живлення для дугового зварювання повинні забезпечувати стійке горіння дуги, стабільність режимів зварювання, безпечність обслуговування установок. Ці вимоги виконують належним вибором параметрів джерел живлення: напруги холостого ходу, зовнішньої характеристики, способу регулювання зварювального струму.

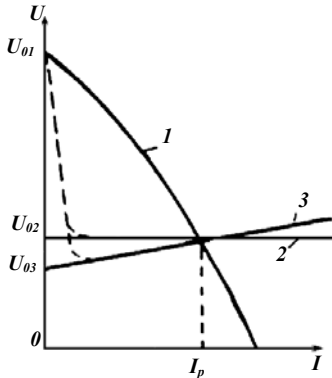
*Напругу холостого ходу* вибирають з умови надійного запалювання дуги й безпеки обслуговування. Для дуги змінного струму напруга запалювання складає 50–55 В, тому напруга холостого ходу не може бути нижчою цього значення.

Верхня межа значень обмежується умовами безпеки й складає 65–80 В, а для зварювальних трансформаторів на 1000–2000 А вона підвищується до 120 В.

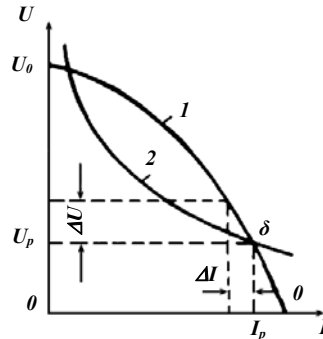
*Зовнішня характеристика* джерел зварювального струму – це залежність напруги на його вихідних клеммах від значення струму навантаження  $U_{дж} = f(I)$ .

За характером цієї залежності зовнішня характеристика може бути (рис. 5) спадною, жорсткою і зростаючою.

Дуга й джерело живлення утворюють систему, яка буде знаходитися в стійкій рівновазі, якщо випадкові зміни сили струму будуть з плином часу зменшуватися, а саме: система буде повертатися у вихідне положення.



**Рис. 5.** Типи зовнішніх характеристик джерел живлення дуги:  
1 – спадна; 2 – жорстка;  
3 – зростаюча



**Рис. 6.** Зовнішня характеристика (1) джерела живлення і вольтамперна (2) характеристика дуги

У рис. 6 показані суміщені спадні характеристики джерела живлення і дуги. У момент доторкування електродом деталі по зварювальному колу протікає струм короткого замикання, що відповідає точці *a*. При віддаленні електрода від деталі виникає дуга, напруга зростає по кривій 1 до точки *b*, що відповідає стійкому горінню дуги.

Спадна зовнішня характеристика використовується в апаратах ручного зварювання, де необхідно забезпечити стійкість дуги і незначну зміну зварювального струму при зміні довжини дуги. Це досягається за невеликої кратності струму короткого замикання, яка складає при спадній характеристиці 1,2–1,4. При великих струмах короткого замикання джерело живлення працює з великим перевантаженням, а якість зварювання й безпека обслуговування через розбризкування металу погіршується.

Джерела з жорсткою і зростаючою характеристиками використовуються для зварювання під флюсом і в середовищі захисних газів (аргон, вуглекислий газ).

---

---

### ***Зварювальні трансформатори***

Зварювання дугою змінного струму менш якісніше, ніж постійного струму, але зварювальні трансформатори дешевші й надійніші в експлуатації. Зварювальні трансформатори – це одно- або трифазні понижувальні трансформатори з вторинною напругою холостого ходу 60–120 В. Вони можуть бути однопостовими – для живлення тільки одного робочого місця – і багатопостовими – для живлення декількох зварювальних дуг. Однопостові трансформатори, зазвичай, мають спадну зовнішню характеристику, а багатопостові – жорстку.

Спадна зовнішня характеристика утворюється за рахунок вмикання у зварювальне коло великого індукційного опору в вигляді котушки з феромагнітним осердям (дроселя) або забезпечується за рахунок підсиленних магнітних потоків розсіювання у самому трансформаторі. Частіше застосовується другий спосіб, який реалізується в трансформаторах типу ТД, ТДМ з рухомими вторинними обмотками і в трансформаторах типу ТДФ з нерухомими магнітними шунтами.

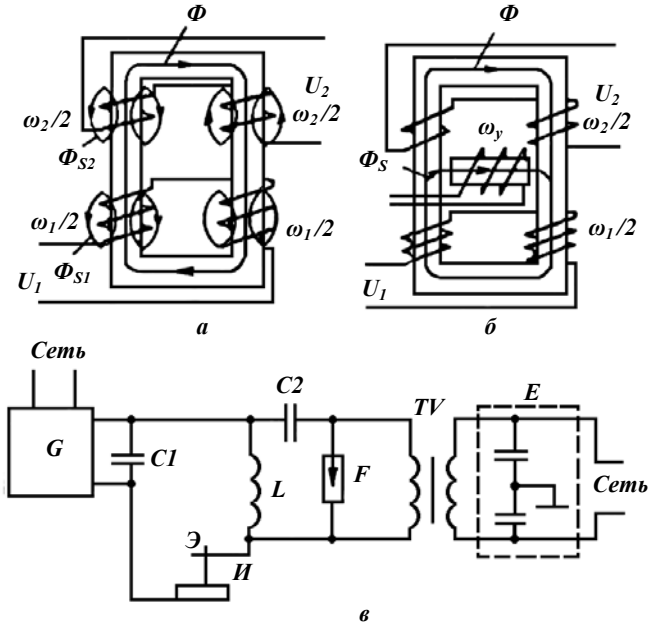
Трансформатори типу ТД, ТДМ призначені для ручного зварювання й наплавлення. На стержневому магнітопроводі трансформатора розміщені рознесені первинні  $\omega_1$  й вторинні  $\omega_2$  обмотки (рис. 7). Крутизну й значення зварювального струму регулюють зміною відстані між обмотками. Магніторухливі сили первинної й вторинної обмоток створюють результуючий основний потік  $\Phi$ , що замикається через магнітопровід, і потоки розсіювання  $\Phi_{s1}$  і  $\Phi_{s2}$ .

Потоки розсіювання індукують в обмотках ЕРС розсіювання, дії яких проявляються як індуктивний опір обмоток. Тому, чим більші потоки розсіювання, тим більша індуктивність обмоток і менший струм. Силкові лінії потоків розсіювання  $\Phi_{s1}$  і  $\Phi_{s2}$  направлені назустріч один одному, тому під час зближення обмоток потоки розсіювання послаблюються, а струм зростає. При віддаленні обмоток магнітний зв'язок між ними зменшується, а потоки розсіювання та індуктивний опір обмоток збільшуються, внаслідок чого струм зменшується. Крутизну характеристики і значення зварювального струму регулюють зміною відстані між первинними й вторинними обмотками. Кожному положенню вторинних обмоток відповідає своя зовнішня характеристика. Ступінчасте регулювання струму здійснюється перемиканням обмоток з послідовного (діапазон малих струмів) на

паралельне (великі струми) з'єднання. Принципіальну електричну схему зварювального трансформатора ТД-306 показано в рис. 8.

У трансформаторах типу ТДФ (рис. 7б) значення потоку розсіювання  $\Phi_s$ , внаслідок вторинного струму, залежить від ступеня намагнічування магнітного шунта з обмоткою керування  $\omega_y$ . Чим більший струм керування в обмотці  $\omega_y$ , тим більший зварювальний струм. Технічні дані деяких зварювальних трансформаторів наведені в табл. 7.

Для багатопостового зварювання використовують однофазні або трифазні трансформатори з жорсткою зовнішньою характеристикою.



**Рис. 7. Конструктивні схеми зварювальних трансформаторів типу ТД (а), ТДФ (б), принципіальна електрична схема осцилятора послідовного вмикання (в): Е – електрод; И – виріб**

Таблиця 7

## Основні дані деяких джерел живлення для дугового зварювання

Тип	Напруга живлення, В	Номінальний зварювальний струм, А	Діапазон регулювання струму, А	Номінальна робоча напруга, В	Споживана потужність, кВА	Напруга холостого ходу, В	Маса, кг
ТД-102	220, 380	160	55–175	26,4	11,4	80	38
ТД-306	220, 380	250	90–300	30	19,4	80	71
ТД-300	220, 380	315	60–360	33	16	80	135
ТДМ-317	220, 380	315	55–350	32,6	21	70	170
ТСМ-250	380	250	92–250	25	6,2	60	33
ТДЭ-252	220/380	250	100–260	30	13,2	50	
ВД-306	220/380	315	45–315	32,6	21	70	170
ВДУ-505	220/380 380	500	50–500	22...40	40	90	300

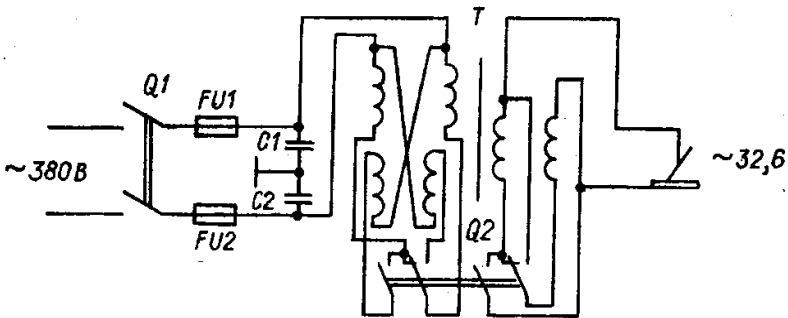


Рис. 8. Принципіальна електрична схема зварювального трансформатора ТД-306

Для поліпшення умов запалювання електричної дуги та стабілізації горіння ряд трансформаторів оснащені збудниками стабілізаторами дуги типу СД-2, СД-3У3 тощо.

Стабілізатор СД-2 складається із зарядного пристрою АГ (рис. 9), конденсатора С, трансформатора струму ТА, контактора КМ, і блока керування АЗ. Конденсатор С заряджається від зарядного пристрою АГ і в момент переходу зварювального струму через нульове значення розряджається на дуговий проміжок, стабілізуючи таким чином дуговий розряд.

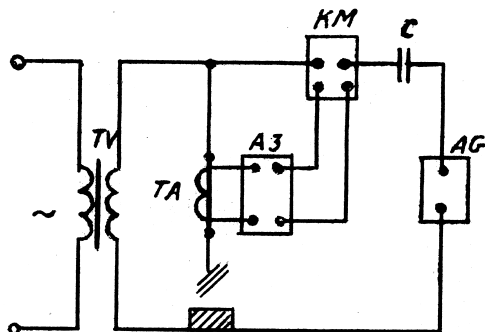


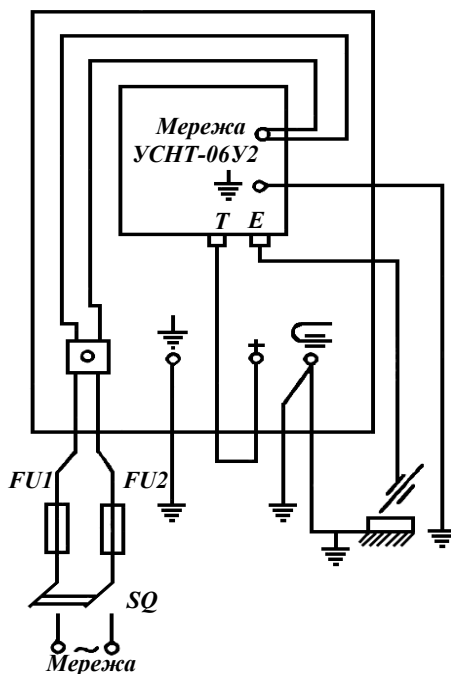
Рис. 9. Схема вмикання стабілізатора дуги СД-2

В інституті зварювання ім. Є.О. Патона розроблено модулятор зварювального струму ОИ 101 для роботи зі зварювальними трансформаторами номінальним струмом до 315 А. Він забезпечує надійне запалювання і регульований початок процесу зварювання, підвищує продуктивність праці під час зварювання вертикальних, стельових швів та тонколистових конструкцій товщиною 0,6–0,8 мм електродом діаметром 3–4 мм.

### Технічні характеристики модулятора ОИ 101

Номінальна напруга однофазної мережі частотою 50 Гц, В	220
Сила струму імпульсу, А, на ступені:	
першому	85–95
другому	100–120
Межі регулювання періоду імпульсу і паузи, сек	0,02–0,05
Межі регулювання стартового імпульсу, сек	0,5–1,5
Маса, кг	16

Для підвищення рівня електробезпеки під час проведення ручного зварювання на відкритому повітрі та в особливо небезпечних умовах трансформатори обладнуються обмежувачами холостого ходу УСНТ-06У2, які автоматично знижують напругу холостого ходу на вихідних затискачах зварювального кола до значення, що не перевищує 12 В, не пізніше як через одну секунду після згасання дуги. Схема підключення обмежувача холостого ходу зображена у рис.10.



**Рис. 10.** Схема підключення обмежувача холостого ходу УСНТ-06У2

### **Осцилятори**

Для полегшення запалювання й підвищення стійкості зварювальної дуги змінного струму, особливо під час зварювання на малих струмах, застосовують спеціальні апарати – осцилятори. Осцилятор – це малопотужний (100–250 Вт) іскровий генератор, перетворюючий струм низької напруги промислової частоти в

---

---

знакозмінний струм високої частоти (1000–3000 кГц) та напруги (2500–6000 В). Високочастотні імпульси підводять до дугового проміжку зварювального апарата. Висока напруга сприяє полегшенню збудження та стабілізації дуги, а висока частота робить цей струм безпечним для зварювальника. Застосовують осцилятори послідовного й паралельного вмикання.

Принципіальну схему найпростішого осцилятора послідовного вмикання наведено у рис. 7 в. Осцилятор складається з іскрового коливального контура, утворюваного конденсатором С2, індуктивністю L і розрядником F.

Контур отримує живлення від трансформатора TV. Виникаючі в контурі коливання через індуктивність L підводяться до дугового проміжку. Ємність С1 захищає джерело живлення G від імпульсів високої напруги. Фільтр E захищає мережу живлення від високочастотних коливань.

### ***Зварювальні перетворювачі***

У рис. 11 зображено принципіальну електричну схему зварювального перетворювача ПСО-300А, що складається із зварювального генератора G, привідного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором M, виконаних в одному корпусі на колесах для пересування.

### ***Генератор постійного струму незалежного збудження***

Обмотка збудження L1 живиться від статорної обмотки електродвигуна через випрямляч. Розмагнічуюча обмотка L2 має дві секції і вмикається послідовно з обмотками якоря і додаткових полюсів L3.

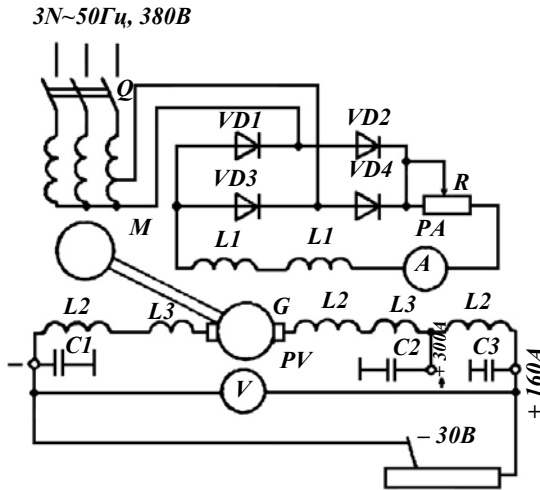
Магнітні потоки обмотки незалежного збудження  $\Phi_3$  і розмагнічуючої обмотки  $\Phi_p$  направлені назустріч один одному, тому результуючий потік  $\Phi$  дорівнює їх різниці

$$\Phi = \Phi_3 - \Phi_p. \quad (1.2.44)$$

Генератор має два діапазони зварювальних струмів: “малі” – ввімкнені дві секції розмагнічуючої обмотки і “великі” – ввімкнена одна секція розмагнічуючої обмотки. Змінюючи струм в обмотці збудження за допомогою реостата R, можна плавно регулювати зварювальний струм на кожному ступені.

Спадну зовнішню характеристику можна одержати тільки при напрямку обертання приводного електродвигуна, який вказано стрілкою на боковій шафі генератора.

Зварювальний випрямляч складається з трифазного знижувального трансформатора, дроселя насичення, випрямляча з селеновими або кремнієвими вентилями, вентилятора для охолодження вентилів випрямляча. Ступінчасте регулювання зварювального струму здійснюють зміною кількості витків вторинної обмотки, а плавне – в межах кожного ступеня зміною індуктивності дроселя насичення.



**Рис. 11. Принципіальна електрична схема зварювального перетворювача ПСО-300 А**

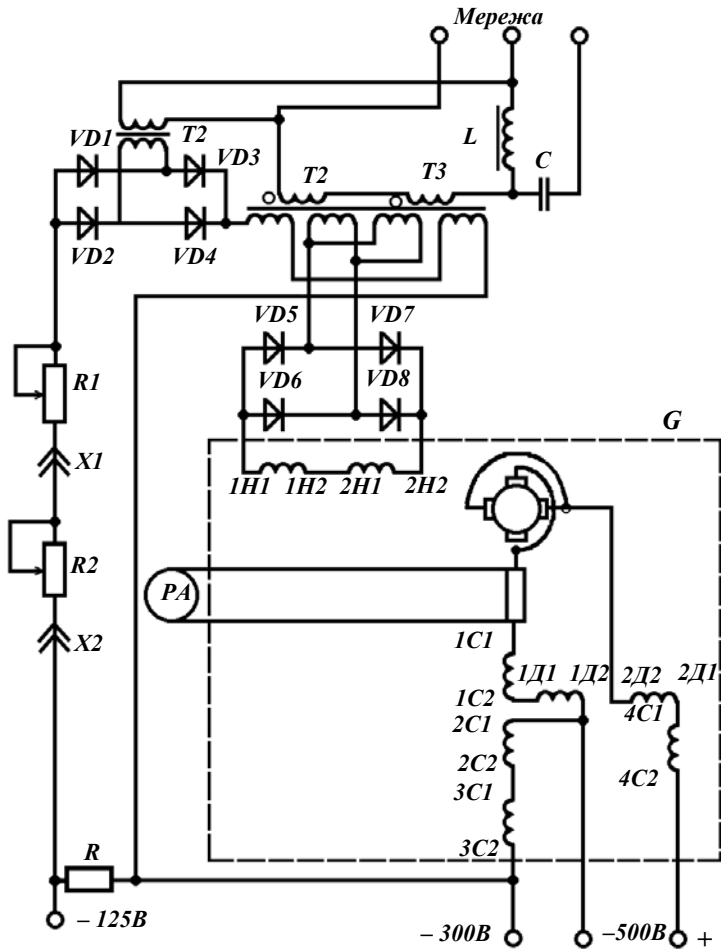
При ручному дуговому зварюванні застосовують зварювальні перетворювачі з колекторними та вентильними генераторами.

Принципіальну електричну схему колекторного зварювального генератора наведено у рис. 12.

Порівняно з колекторними вентилями генератори забезпечують вищу стабільність дуги, мають вищий (у середньому на 10%) ККД, значно меншу масу й надійніші в експлуатації.

Вентильний зварювальний генератор – це електрична машина змінного струму з напівпровідниковим випрямлячем. Він складається з двопакетного статора 4 (рис.13), запресованого в станину, і двопакетного ротора 2, напресованого на масивну сталеву втулку, розміщену на валу генератора. На кожному пакеті заліза ротора є зубці, які забезпечують наведення в обмотці статора ЕРС підвищеної

частоти. Зубці одного пакета зсунуті по колу відносно зубців другого пакета на 180 електричних градусів. Обмотка збудження 3 прикріплена до станини і розміщена між пакетами ротора. Трифазна силова обмотка 5 закладена в пази пакетів статора і приєднана до випрямного блока 7, зібраного за мостовою схемою.



**Рис. 12.** Принципіальна електрична схема генератора зварювального перетворювача ПД-502У2

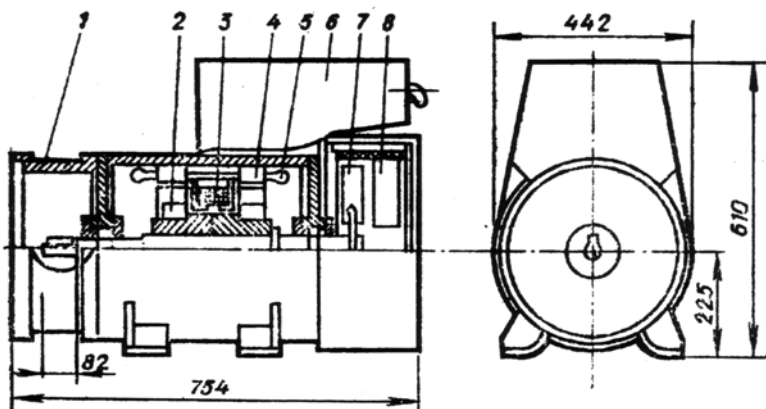


Рис. 13. Будова вентиляного генератора ГД-311:

- 1 – фланець; 2 – двопакетний ротор; 3 – обмотка збудження;  
 4 – двопакетний статор; 5 – силова обмотка; 6 – апарат керування;  
 7 – випрамний блок; 8 – вентилятор

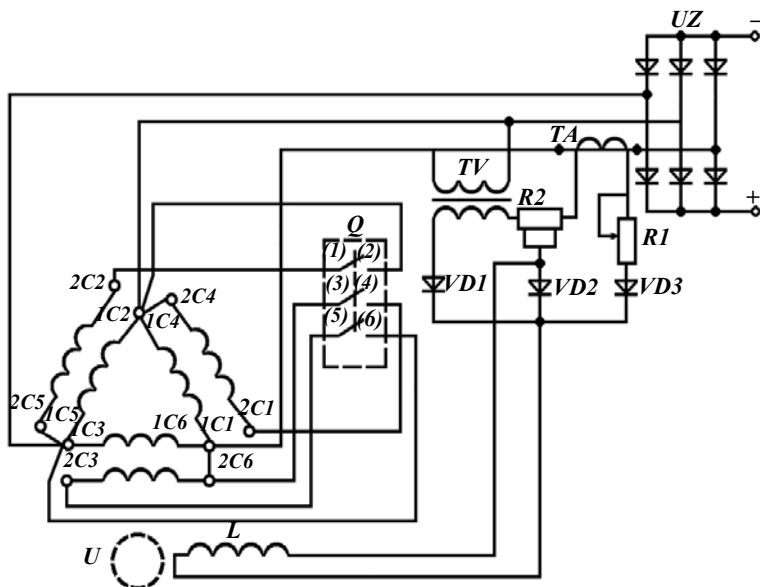


Рис. 14. Електрична схема зварювального генератора ГД-311

---

---

Охолодження обмоток і вентилів випрямляча здійснюється за допомогою вентилятора 8. Оскільки обмотки статора і збудження нерухомі, то в генераторі відсутні ковзні контакти. Завдяки такому виконанню забезпечується висока експлуатаційна надійність генератора.

Принципіальну електричну схему вентиляного генератора типу ГД-311 наведено в рис. 14.

### ***Зварювальні випрямлячі***

У порівнянні з обертовими зварювальними генераторами зварювальні випрямлячі мають вищий ККД і меншу масу, простіші й надійніші в експлуатації. Для випрямлення струму використовують селенові або кремнієві напівпровідникові вентиля, які вмикаються по трифазній мостовій схемі випрямлення, що забезпечує високу стійкість горіння зварювальної дуги та рівномірне завантаження фаз мережі живлення. Зварювальні випрямлячі залежно від призначення можуть мати спадну або жорстку характеристики. В універсальних установках можливе отримання обох видів характеристик. У випрямлячах з різко спадними зовнішніми характеристиками трансформатори мають підвищене магнітне розсіювання.

У рис. 15 наведено принципіальну електричну схему зварювального випрямляча ВД-306УЗ. Значення зварювального струму плавно регулюють зміною відстані між обмотками трансформатора TV1, ступінчасто – перемиканням обмоток із “зірки” (діапазон малих струмів) на “трикутник” (діапазон великих струмів). Випрямляч має захист від виходу з ладу його діодів або пошкодження ізоляції вторинної обмотки трансформатора. Захист складається з магнітного підсилювача А, допоміжного трансформатора TV2 і реле KV. У нормальному стані осердя магнітного підсилювача не насичені й значення вторинної напруги трансформатора TV2 недостатнє для спрацювання реле KV. Під час аварійної ситуації в фазних струмах вторинної обмотки TV1 з’являються постійні складові, які викликають насичення осердя підсилювача А, що призводить до спрацювання реле KV, яке вимикає живлення котушки магнітного пускача.

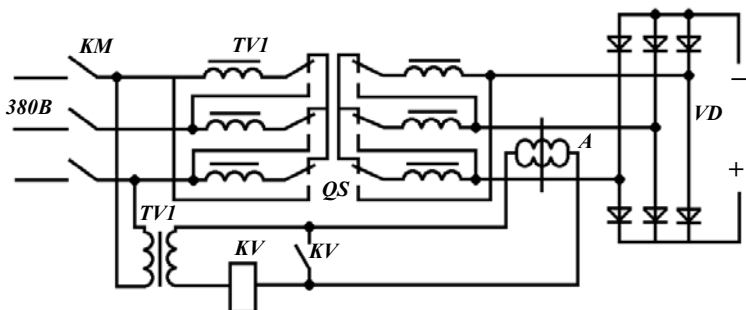


Рис. 15. Принципіальна електрична схема зварювального випрямляча ВД-306У3

### Приклад

Розрахунок основних геометричних розмірів зварювального трансформатора з рухомими обмотками на струм 400 А для ручного дугового зварювання

Вихідні дані для розрахунку. Номінальний зварювальний струм  $I_{2\text{ ном}} = 400$  А. Тривалість навантаження  $ПН=60\%$ . Первинна напруга  $U_1 = 380$  В.

Напруга холостого ходу: в діапазоні великих струмів  $U_{2\text{хх}} = 64$  В; в діапазоні малих струмів  $U'_{2\text{хх}} = 80$  В. Номінальна робоча напруга  $U_{2\text{ ном}} = 36$  В. Межі регулювання зварювального струму: загальні – 80–460 А; в діапазоні великих струмів – 200–460 А; в діапазоні малих струмів – 80–200А. Клас ізоляції Н. Обмоткові проводи: для первинної обмотки – алюмінієвий провід марки АПСД; для вторинної обмотки – шина алюмінієва марки АДО.

### Розв'язання

1. Мінімальний індуктивний опір, забезпечуючий отримання максимального зварювального струму,  $I_{22} = 460$  А

$$x_{\text{мін}} = \frac{\sqrt{U_{2\text{хх}}^2 - U_{22\text{хх}}^2}}{I_{22}} = \frac{\sqrt{64^2 - 38,4^2}}{460} = 0,111\text{Ом},$$

$$\text{де } U_{22\text{хх}} = 20 + 0,04I_{22} = 20 + 0,04 \times 460 = 38,4\text{В}.$$

2. Визначення кількості витків обмоток. Для визначення кількості витків обмоток слід користуватися емпіричною формулою

$$e_W = 0,55 + 0,095 S_{TP},$$

де  $e_W$  – параметр, що визначає скільки вольт припадає на один виток;

$S_{TP}$  – повна потужність трансформатора, кВ·А.

$$S_{TP} = U_{2XX} I_{2ном} \sqrt{ПН : 100} \times 10^{-3} = 64 \times 400 \sqrt{60 : 100} \times 10^{-3} = 19,84 \text{ кВА};$$

$$e_W = 0,55 + 0,095 \times 19,84 = 2,43 \text{ В / виток}.$$

Кількість витків первинної обмотки

$$w_1 = U_1 : e_W = 380 : 2,43 = 156 \text{ витків};$$

для зручності конструювання котушки приймаємо  $w_1 = 154$  витка.

Кількість витків вторинної обмотки

$$w_2 = U_{2XX} : e_W = 64 : 2,43 = 26 \text{ витків};$$

3. Кількість витків котушок. Первинна й вторинна обмотки складаються з двох котушок, з'єднаних на діапазоні великих струмів паралельно, тому

$$w_{1K} = w_1 = 154; \quad w_{2K} = w_2 = 26.$$

4. Номінальний струм первинної обмотки

$$I_{1ном} = I_{2ном} K_\mu : n,$$

де  $K_\mu = 1,05-1,1$  – коефіцієнт, який враховує намагнічуючий струм трансформатора;

$n$  – коефіцієнт трансформації,

$$n = w_1 : w_2 = 154 : 26 = 5,92;$$

$$I_{1ном} = 400 \times 1,05 : 5,92 = 71 \text{ А}.$$

5. Переріз магнітопроводу

$$S_C = U_{2XX} \times 10^4 : (4,44 f w_2 B_m),$$

де  $f$  – частота струму, Гц;

$B_m = 1,73$  Тл – прийнята індукція в магнітопроводі

$$S_C = 64 \cdot 10^4 : (4,44 \times 50 \times 26 \times 1,73) = 64 \text{ см}^2.$$

6. Ширина пластини магнітопроводу

$$a = \sqrt{\frac{S_C \times 10^2}{p_1 k_C}},$$

де  $p_1 = \epsilon : a = 1,8-2,2$ ;

$\epsilon$  – висота набору магнітопроводу;

$k_C = 0,95-0,97$  – коефіцієнт заповнення магнітопроводу;

$$a = \sqrt{\frac{64 \times 10^2}{2,02 \times 0,97}} = 57 \text{ мм}.$$

7.Набір пластин магнітопроводу

$$e = p_1 : a = 2,02 \times 57 = 115 \text{ мм.}$$

8.Ширина вікна магнітопроводу

$$C_e = e p_2 = 115 : 1,08 = 106 \text{ мм.}$$

9.Переріз обмотувальних проводів (при паралельному з'єднанні котушок)

$$q_1 = I_{ном} : 2J_1,$$

де  $j_1 = 2,4\text{--}2,8 \text{ А/мм}^2$ ,

$j_2 = 2,1\text{--}2,3 \text{ А/мм}^2$  – густина струму для алюмінієвих проводів

$$q_1 = 71 : 2 \times 2,4 = 14,6 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо стандартний провід марки АПСИД з розмірами  $2,8 \times 5,3 = 14,3 \text{ мм}^2$ ; розмір провода в ізоляції  $3,25 \times 5,68$ .

10. Розміри котушки первинної обмотки:

ширина котушки

$$m_{1K} = (C_e - 2\delta_1 - \delta_3) : 2,$$

де  $\delta_1 = 5\text{--}10 \text{ мм}$  – ізоляційні відстані котушок у вікні від магнітопроводу;

$\delta_3 = 10\text{--}13 \text{ мм}$  – ширина вентиляційних каналів в обмотках.

$$m_{1K} = (106 - 2 \times 10 - 2) : 2 = 42 \text{ мм.}$$

кількість шарів у котушці

$$n_{1ш} = m_{1K} : [(a_{1П} + k_{1П})k_{1V}],$$

де  $a_{1П}$  і  $e_{1П}$  – ширина та висота проводу первинної обмотки;

$k_{1П} = 0,15 \text{ мм}$  – товщина міжшарової ізоляції;

$k_{1V} = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує нещільність укладання провідників,

$$n_{1ш} = 42 : [(3,25 + 0,15) \times 1,1] = 11,$$

кількість витків в шарі

$$w_{1ш} = w_{1K} : n_{1ш} = 154 : 11 = 14.$$

Канали охолодження  $\delta_2 = 13 \text{ мм}$  після 4-го і 8-го шару.

Висота котушки

$$h_1 = w_{1ш} b_{1П} k_{1V} = 14 \times 5,68 \times 1,1 = 88 \text{ мм.}$$

11. Розміри котушок вторинної обмотки. Вторинна котушка намотується алюмінієвою шиною марки АЛО “на ребро” з ціллю зменшення додаткових втрат з радіусом заокруглення  $R=35 \text{ мм}$ . Витки котушки ізолюються склострічкою марки ЛЕС шляхом їх обмотування.

Переріз шини

$$q_2 = I_{2ном} : (2J_2) = 400 : (2 \times 2,1) = 95_{мм^2}.$$

За ГОСТом 15176–84 вибираємо шину з розмірами 3,8×25; розміри шини в ізоляції 4,6×25,8.

Висота вторинної котушки

$$h_2 = w_{2К} b_{2II} k_V = 26 \times 4,6 \times 1,1 = 132_{мм}.$$

Котушки трансформатора просочуються кремнієорганічним лаком КО-916 К.

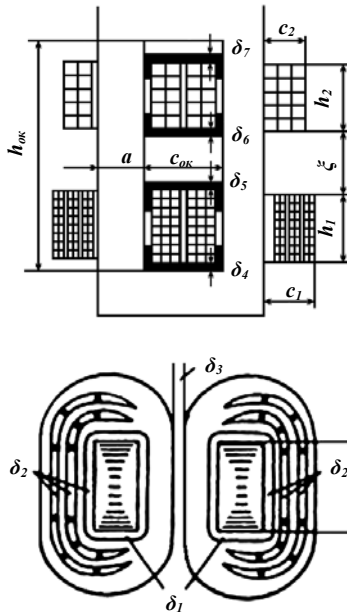


Рис. 16. До розрахунку геометричних розмірів трансформатора

### Електробезпека під час електрозварювання

До виконання електрозварювальних робіт допускають осіб віком понад 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне виробниче навчання, отримали посвідчення та мають кваліфікаційну

---

---

групу з техніки безпеки, а також пройшли інструктаж на робочому місці.

Встановлення, підключення до мережі, ремонт і нагляд за станом зварювальних установок у процесі експлуатації проводить електромонтер з кваліфікаційною групою з електробезпеки не нижче III. Ці роботи забороняється виконувати електрозварювальнику.

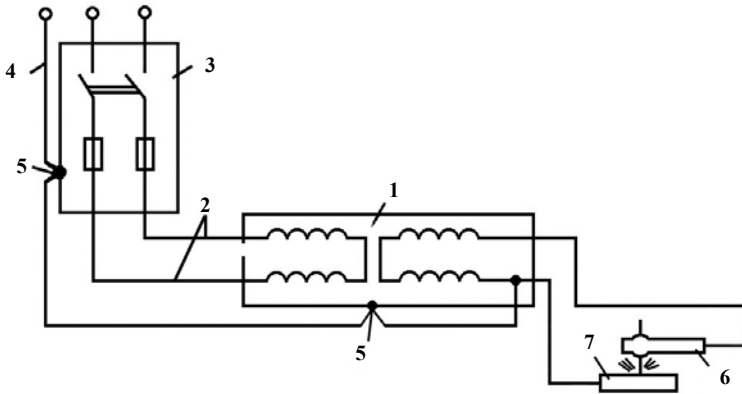
Під'єднують трансформатор до мережі відповідно до маркірування виводів на затискачах. Джерела зварювального струму приєднують до розподільної мережі напругою не вище 660 В. Напруга холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги не повинна перевищувати при зварюванні на постійному струмі 80 В, змінному – 75 В. Категорично забороняється виконувати в обмотках джерел струму перемикання, які призводять до підвищення напруги.

Електрозварювальні агрегати підключають до електричної мережі за індивідуальними рубильниками, обладнаними запобіжниками або автоматичними вимикачами. Корпуси зварювальних трансформаторів, випрямлячів, перетворювачів, а також зварювальні плити, столи, затискач вторинної обмотки трансформатора, до якого приєднують зворотний провід від деталі, яку зварюють, заземлюють. Заземлюючий провід закріплюють на електрозварювальному агрегаті болтом діаметром 8 мм, розміщеним у доступному місці з написом чи умовним позначенням “Земля”. Заземлення виконують за допомогою гнучких мідних проводів до початку електрозварювання (рис. 17). Над затискачами агрегату повинні бути козирки з написами: “Високий бік”, “Низький бік”. Ящик живлення, до якого підключають зварювальний агрегат, замикають.

Живлення постів зварювання безпосередньо від силової та освітлювальної мережі не допускається.

Забороняється використовувати технологічне обладнання, металеві конструкції будинків, комунікаційні мережі заземлення чи занулення, водопровідні та опалювальні труби як зворотні проводи, тому що це погіршує умови електро- та пожежної безпеки. Як зворотний провід використовують сталеві шини, зварювальні плити й саму конструкцію в тому випадку, коли площа її поперечного перерізу створює безпечне за умовами нагрівання проходження зварювального струму. Під час роботи в пожежо- і вибухонебезпечних приміщеннях зворотний провід від виробу, що зварюють, до джерела живлення повинен бути ізольованим. Його приєднують до виробу за допомогою струбцини або клеми заземлення. Не можна допускати стикання проводів з водою, маслом, сталевими канатами й гарячими

трубопроводами, щоб не пошкодилась ізоляція. Довжина трубопроводів від мережі живлення до пересувного зварювального агрегату не повинна перевищувати 10 м, при цьому вони мають бути захищені від механічних пошкоджень. Використовувати проводи з пошкодженою ізоляцією не дозволяється (якщо немає змоги замінити, треба на них надіти гумові шланги).



**Рис. 17. Схема приєднання зварювального трансформатора напругою 380 В:**

- 1 – зварювальний трансформатор; 2 – живильні фазні проводи;
- 3 – рубильник із запобіжниками; 4 – заземлюючий провід мережі;
- 5 – заземлюючий болт; 6 – електродотримач; 7 – деталь

Для ручного зварювання рекомендується застосовувати електродотримачі ЕД-315 і ЕД-500. Використовувати саморобні електродотримачі заборонено. Провід марки ПРГД чи КРПТ до електродотримача приєднують механічним затискачем.

Підвищена небезпека виникає під час заміни електродів, коли зварювальник торкається рукою до електрода або оголених частин електродотримача, тому категорично заборонено торкатися другою рукою до деталі, що зварюють.

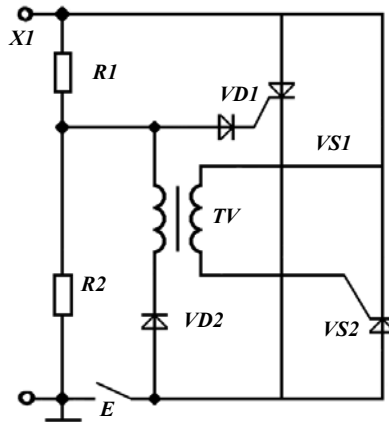
Під час ручного зварювання струмом в особливо небезпечних умовах (у металевих резервуарах, на відкритому повітрі, а також у приміщеннях з підвищеною небезпекою) для заміни електродів застосовують обмежувачі напруги холостого ходу з витримкою часу не більше 0,5 сек або пристрої автоматичного вимикання напруги

холостого ходу трансформатора. На рисунку 18 зображена схема пристрою для знімання зварювальної напруги після розривання дуги УТСН-2МУ. Затискачі X1, X2 приєднують до вторинної обмотки зварювального трансформатора.

Зварювальники повинні користуватися індивідуальними засобами захисту й працювати в куртці з кишенями, закритими клапанами, та штанях навипуск, головному уборі та щільно зашнурованих черевиках. Для захисту очей і обличчя від шкідливої дії випромінювання зварювальної дуги та іскор розжареного металу застосовують щиток або шлем із світлофільтром.

Електрозварювальні роботи не можна виконувати з приставних драбин. Якщо доводиться працювати у вогкому приміщенні, взувають калоші, користуються ізолюючими підставками або діелектричними килимками.

Інструктаж електрозварювальників з техніки безпеки проводять один раз у три місяці.



**Рис. 18. Схема пристрою для автоматичного знімання напруги з електрода при розриві дуги:**  
X1 і X2 – затискачі; E – контакт

### ***Індукційне нагрівання***

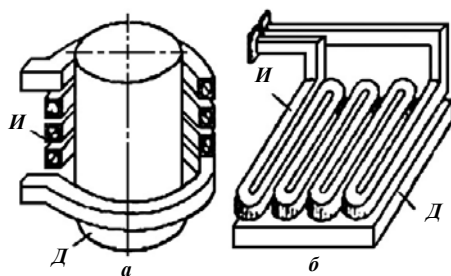
Якщо електропровідний матеріал помістити в змінне магнітне поле, то внаслідок електромагнітної індукції в ньому з'являється електрорушійна сила, яка зумовлює появу вихрових струмів. Ці

струми протікають по електропровідному матеріалу і нагрівають його. Густина струму по перерізу електропровідного матеріалу неоднакова. Найбільше значення вона має в поверхневому шарі. Глибина проникнення струму в деталь залежить від частоти струму. Чим більша частота струму, тим на меншу глибину проникають струми в деталь. Тому струми високої частоти використовують для поверхневого нагрівання.

Інтенсивне індукційне нагрівання буває в магнітних полях високої напруги й високої частоти. Ці поля утворюються в спеціальних установках, які називають індукторами. Індуктор – це первинна обмотка повітряного трансформатора, вторинною обмоткою якого є тіло, що нагрівається. Найпростіший індуктор – це вміщений у феромагнітну трубу скручений у спіраль ізолюваний провідник. У трубі виділяється 80–85% всієї теплової енергії, а в індукторі – 20–25%. Теплота від труби передається тілу, що нагрівається.

Індукційні установки поділяють на установки низької (промислової) частоти (50 Гц); установки середньої частоти (150–10000 Гц) та високої частоти (від 60 кГц до 100 МГц).

Для зниження втрат енергії індуктори виготовляють, по можливості, з меншим активним опором. Індуктори низької частоти вмикають безпосередньо в електричну мережу напругою 127, 220, 380, 660 В або через знижувальні трансформатори. Індуктори середньої частоти живляться від електромашинних перетворювачів, статичних тиристорних перетворювачів, лампових генераторів і електромагнітних помножувачів частоти. Індуктори високої частоти живляться від лампових генераторів.



**Рис. 19. Індуктори:**

а – циліндричний; б – петльовий для нагрівання плоских деталей;  
И – індуктор; Д – деталь

---

---

Електромашинні перетворювачі до недавнього часу були найбільш поширеними джерелами живлення індукторів середньої частоти. Вони складаються з асинхронного електродвигуна й високочастотного генератора індукторного типу, розташованих на одному валу.

Для погодження робочих напруг генератора та індуктора використовують знижувальні трансформатори.

Коефіцієнт потужності ( $\cos \phi$ ) індукторів досить низький.

Для компенсації реактивної потужності індуктора і розвантаження генератора від індуктивного струму паралельно індуктору вмикають батарею статичних конденсаторів регульованої потужності, що дає можливість досягти резонансів струму. При цьому струм генератора буде найменшим.

Тиристорні перетворювачі складаються з напівпровідникового випрямляча й тиристорного інвертора, на вхід якого вмикають індуктор і конденсаторну батарею. Тиристорні перетворювачі мають високий коефіцієнт корисної дії (90–94%) і постійну готовність до роботи.

Лампові генератори є джерелами живлення індукційних установок в діапазоні радіочастот. Для індукційного нагрівання використовують в основному частоти 0,066 і 0,44 МГц. До складу лампового генератора входять: підвищуючий анодний трансформатор, блок живлення, блок випрямляча, генераторний блок, блок контурів і вихідний повітряний трансформатор. Генератори мають системи захисту, охолодження і живлення.

Питому потужність на поверхні електропровідного матеріалу, що нагрівають індукційним способом, наближено можна визначити за формулою

$$\Delta P = 2 \times 10^{-3} (I \omega_0)^2 \sqrt{\rho \mu} \times f, \quad (1.2.45)$$

де  $\Delta P$  – питома потужність, Вт·м<sup>-2</sup>;

$I$  – струм індуктора, А;

$\omega_0$  – кількість витків індуктора на одиницю його висоти;

$\rho$  – питомий опір матеріалу, Ом·м;

$\mu$  – магнітна проникність матеріалу, Гн·м<sup>-1</sup>;

$f$  – частота струму, Гц.

Величину  $\sqrt{\rho \mu} f$  часто називають *коефіцієнтом поглинання потужності*.

---

---

Таким чином, передавана в тіло потужність пропорційна квадрату ампервитків індуктора і коефіцієнту поглинання потужності та частоті в степені 1/2.

Електромагнітна хвиля, проникаючи в тіло, затухає в ньому за експоненціальним законом. Густина індукованого в тілі струму на глибині  $Z$  від поверхні тіла рівна

$$J_z = J_0 e^{-kz}, \quad (1.2.46)$$

де  $k$  – коефіцієнт затухання хвилі,  $\text{м}^{-1}$ ;  
 $J_0$  – густина струму на поверхні тіла,  $\text{Ам}^2$ ;  
 $e$  – основа натурального логарифму.

Глибину проникнення струму в виріб можна наближено визначити за формулою

$$Z_a = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}. \quad (1.2.47)$$

*Застосування в сільськогосподарському виробництві.*

У ремонтному виробництві струми середньої і високої частоти застосовують для наскрізного й поверхневого нагрівання деталей з чавуну і сталі під закалювання, перед гарячою деформацією (кування, штампування), під час відновлення деталей методами наплавлення й високочастотної металізації тощо.

### ***Діелектричне нагрівання***

До діелектриків відносять речовини з електричною провідністю, меншою за  $10^{-8} \text{ см} \cdot \text{м}^{-1}$ , а до провідників – більшою за  $10^5 \text{ см} \cdot \text{м}^{-1}$ . Проміжне значення між діелектриками і провідниками займають напівпровідники. У діелектриків майже відсутні вільні електрони (у  $10^5$ – $10^2$  разів менше, ніж у провідниках), тому в них практично відсутній струм провідності. Електричні заряди в діелектриках зв'язані між собою і можуть зміщуватись тільки на мікроскопічні відстані. Процес зміщення зв'язаних зарядів у діелектриках під впливом електричного поля називають *поляризацією*.

Залежно від природи діелектриків розрізняють такі види поляризації: електронну, іонну, дипольну, релаксаційну, міжшарову й спонтанну.

При іонній та електронній поляризаціях зміщення зарядів відбувається без тертя з сусідніми елементарними частинками, бо час встановлення поляризації збігається з періодом інфрачервоних коливань. Електричні диполі, які виникають внаслідок поляризації,

---

---

здійснюють вимушені коливання подібно до резонаторів з малим загуханням.

Під час дипольної, релаксаційної, міжшарової і спонтанної поляризації зміщення зарядів відбувається з подоланням інерційних сил і міжмолекулярного “тертя”. При цьому виділяється теплота. У змінному електричному полі відбувається безперервне зміщення зарядів. Енергія, що виділяється у вигляді теплоти в непровідниковому матеріалі при діелектричному нагріванні:

$$A = \omega C t g \delta U^2 t \times 10^{-3}, \quad (1.2.48)$$

де  $A$  – енергія, кВт·год;

$\omega$  – кутова частота, с<sup>-1</sup>;

$C$  – ємність конденсатора, Ф;

$t g \delta$  – тангенс кута поглинання (кут  $\delta$  характеризує запізнення поляризації діелектрика від напруги електричного поля);

$U$  – напруга між електродами, В;

$t$  – час, год.

Як видно з формули (1.2.48), прискорити нагрівання діелектрика можна шляхом підвищення частоти й напруженості електричного поля. Інтенсивне нагрівання діелектриків можливе тільки в електричному полі високої частоти (від 0,5 до 10 МГц). Для одержання електричного поля високої частоти застосовують лампові генератори.

Діелектричне нагрівання в електричному полі конденсатора відбувається одночасно по всьому об’єму матеріалу. При цьому швидко нагріваються внутрішні шари матеріалу, що веде до утворення градієнтів теплоти й тиску, направлених до зовнішньої поверхні тіла. Це сприяє швидкому виділенню надлишкової вологи. Тому високочастотне сушіння сільськогосподарських продуктів є перспективним і прогресивним методом сушіння.

До недоліків діелектричного нагрівання можна віднести складність і високу вартість обладнання та необхідність висококваліфікованого обслуговування.

### ***Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання***

В установках індукційного нагрівання середньої частоти в якості джерел живлення застосовують машинні та статичні (тиристорні перетворювачі).

*Машинні перетворювачі* отримують струм з частотою 1–10 кГц. Це агрегати з трифазного асинхронного або синхронного електродвигуна промислової частоти і встановленого на одному з ним

---

---

вала індукторного синхронного генератора. У пазах статора генератора розміщені обмотки збудження постійного струму і обмотка, в якій індукуються струми середньої частоти. У феромагнітному роторі, поверхня якого виконана у вигляді зубців, обмоток немає. Через нього замикаються силові лінії постійного магнітного поля, утворюваного обмоткою збудження статора. При обертанні ротора первинним двигуном зазор між статором і ротором змінюється: при співпаданні зубців статора й ротора він мінімальний, зубця і паза – максимальний. Внаслідок цього магнітне поле, що створюється обмоткою збудження, стає пульсуючим і, перетинаючи обмотку змінного струму, наводить у ній ЕРС підвищеної частоти

$$f = \frac{Z_p \omega}{2\pi}, \quad (1.2.49)$$

де  $Z_p$  – число зубців ротора;

$\omega$  – кутова швидкість ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Принципіальна електрична схема силових кіл машинного перетворювача наведена у рис. 20 а. Первинний двигун М обертає ротор генератора G.

Напруга середньої частоти від генератора G подається на понижувальний трансформатор TV2, від вторинної обмотки якого живиться індуктор ЕК. Контакт КМ служить для вимкнення генератора під час ремонту й наладки. Розрядник F призначений для запобігання аварійної перенапруги обмотки генератора: при розряді спрацьовує струмове реле КА2, яке вимикає обмотку збудження L. Захист від неаварійних перенапруг здійснюється реле KV, від струмів короткого замикання в силових колах – струмовим реле КА3.

Промисловість випускає машинні перетворювачі серії ВЭП на потужності 60–100 кВт і частоту 2,4–8 кГц і серії ОПЧ на потужності 250–500 кВт і частоту 1–8кГц.

*Тиристорні перетворювачі* (рис. 20 б) не мають обертових частин і є надійними й економними. Їх виконують з проміжною ланкою постійного струму у вигляді тиристорного випрямляча VD1 з фільтром L1–C1. Випрямлений струм перетворюється інвертором VD2 з ємнісною комутацією (C2–L2) в струм середньої частоти, який подається на індуктор ЕК. Тиристорні перетворювачі серії СЧИ випускаються на потужності 100 і 250 кВт з номінальною частотою 3кГц і серії ТПЧ на потужність від 160 до 320 кВт і номінальні частоти 0,5; 1,0; 2,4; 8 кГц.

*Лампові генератори* застосовуються для отримання частот від 60 кГц і вище. Нагрівальні генератори виготовляють, як правило, з

самозбудженням. Основним елементом схеми є генераторна лампа, найчастіше трьохелектродна. Навантаженням лампи служить коливальний анодний контур, параметри якого – індуктивність  $L$  і ємність  $C$  – підбирають із умови роботи контуру в резонансі при власній частоті. Живлення анодних кіл генераторних ламп здійснюється постійним струмом від випрямлячів. Незатухаючі коливання в автогенераторі виникають за наявності зворотного позитивного зв'язку сітки з коливальним контуром, який характеризується коефіцієнтом зворотного сіткового зв'язку

$$k_c = \frac{U_c}{U_k} = \frac{-U_c}{U_a}, \quad (1.2.50)$$

де  $U_c$ ,  $U_k$ ,  $U_a$  – відповідно напруги на сітці, коливальному контурі й аноді генераторної лампи.

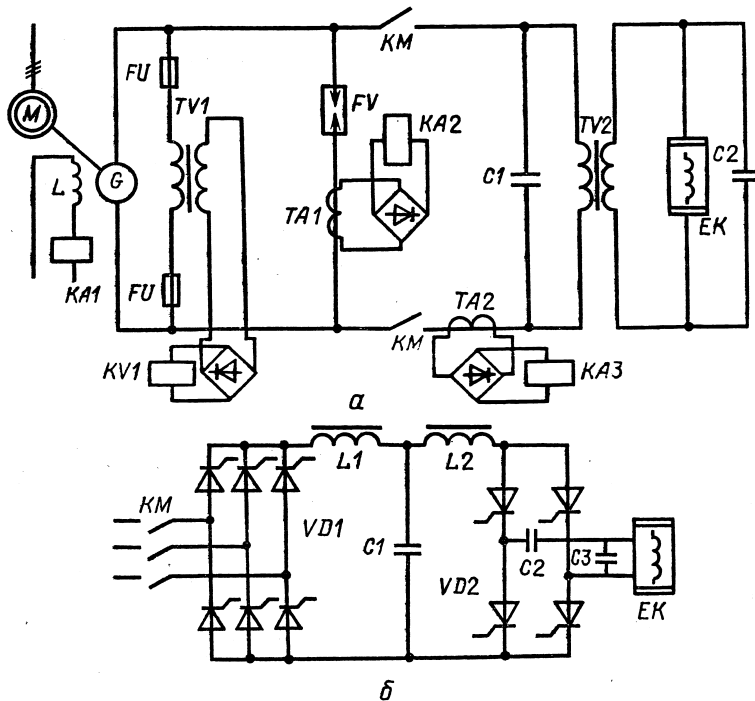
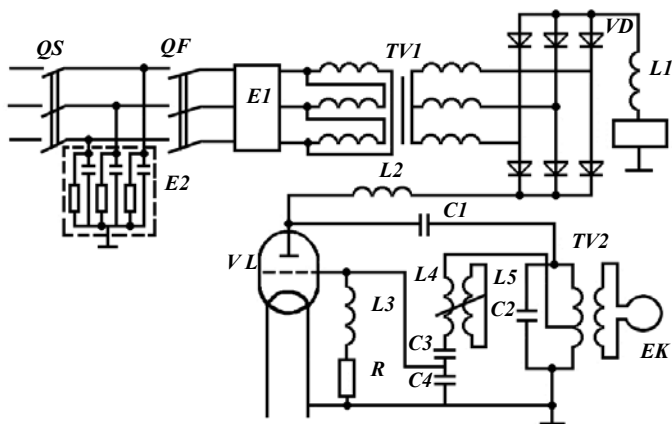


Рис. 20. Принципіальні електричні схеми машинного генератора середньої частоти (а) і тиристорного перетворювача частоти (б)

Нормальний режим забезпечується тільки за певного значення  $k_c$ . Для забезпечення режиму коливаний другого роду, і внаслідок високого ККД на сітку подається постійне від'ємне зміщення, утворюване спадом напруги на опорі грідлика, що вмикається в коло постійної складової сіткового струму. Оптимальний режим генератора досягається при відповідному значенні  $k_c$  і оптимальному навантаженні лампи  $R_{EO}$ , рівному її внутрішньому опоріві.

У рис. 21 наведено принципіальну електричну схему силових кіл генератора ВЧИ4-10/044 номінальною коливальною потужністю 10 кВт і частотою 0,44 МГц.



**Рис. 21. Принципіальна електрична схема силових кіл генератора ВЧИ4-10/044 для індукційного нагрівання**

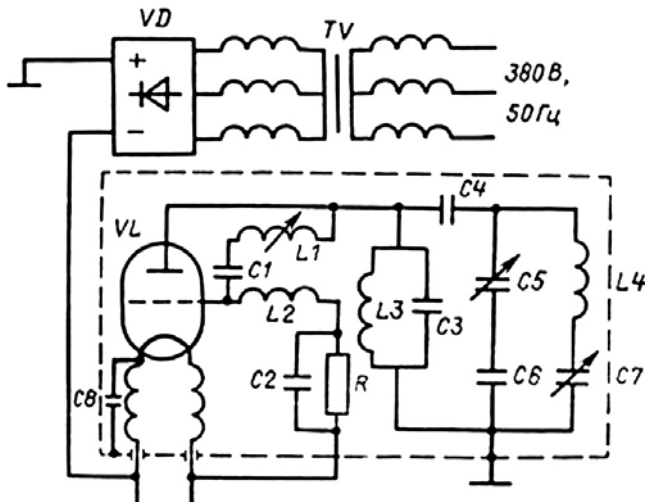
До схеми входить блок живлення, що складається з анодного трансформатора TV1, тиристорного регулятора напруги E1, випрямляча VD. Генераторний блок – це одноконтурний автогенератор з ємнісним зворотним зв'язком, що складається з генераторного триода VL, коливального контуру (ємність C2, понижувальний трансформатор TV2, індуктор EK), опору грідлика R, блокувальних дроселів L1, L2, L3 і роздільного конденсатора C1. Дросель L2 і ємність C1 розділяють кола постійного й високочастотного струмів. Напруга зворотного і точного зв'язку знімається з ємності C4, яка є дільником напруги (L4, C3, C4), який вмикається на частину витків індуктивності коливального контуру. Постійний струм протікає від “плюса” випрямляча на анод лампи з катода – через котушку реле

максимального струму КА (захист генератора від перевантажень) і дросель L1 – на “мінус”.

Високочастотний струм протікає по контуру: *анод – катод лампи – коливальний контур – ємність C1 – анод*. Переміщенням короткозамкненої котушки L5 регулюють коефіцієнт зворотного сіткового зв'язку, фільтр E2 служить для захисту мережі від високочастотних коливань.

Високочастотні установки індукційного нагрівання мають індексацию ВЧИ (високочастотні індукційні). Після літер в чисельнику позначається коливальна потужність (кВт), в знаменнику – частота (МГц). Після цифр пишуться літери, що позначають технологічне призначення. Наприклад, ВЧИ4-10/044-ЗП – високочастотна установка індукційного нагрівання, коливальна потужність – 40 кВт, частота – 440 кГц, літери ЗП – для загартування поверхні (НС – для наскрізного нагрівання, СТ – зварювання труб тощо).

У рис. 22 наведено принципіальну електричну схему генераторного блока установки ВЧД2-2,5/81, коливальною потужністю 2,5 кВт, номінальною частотою 81 МГц. Установка призначена для нагрівання пластмас та інших аналогічних матеріалів.



**Рис. 22. Принципіальна електрична схема генераторного блока установки ВЧД2-2,5/81 для діелектричного нагрівання**

---

---

Генератор має джерело живлення, до якого входять трансформатор TV і напівпровідниковий випрямляч VD. Генераторний блок виконаний на лампі VL за схемою із загальним анодом і складається з анодного коливального (L3-C3), навантажувального (L4-C7), сіткового контуру (L1-C1), роздільного конденсатора C4 і елементів сіткового зміщення (R1-L2-C2). Значення анодного струму в процесі нагрівання змінюється, тому для його стабілізації використовують кола C5–C6 з конденсатором регульованої потужності C5.

Вибирають установки діелектричного нагрівання за номінальною коливальною потужністю, частотою, допустимою (для матеріалу, що нагрівається) напруженістю електричного поля робочого конденсатора. Загальний ККД установки для діелектричного нагрівання – 0,3–0,45. Нагрівання струмами високої частоти доцільне для матеріалів з поганою електропровідністю (продукти й корми, зерно, чай, хміль).

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Назвіть способи перетворення електричної енергії в теплову.
2. Фізичні основи нагрівання опором, електричною дугою та індукційного нагрівання, діелектричного.
3. Як класифікуються електронагрівні установки?
4. У чому полягає тепловий та електричний розрахунки електронагрівних установок?
5. Від яких параметрів залежить потужність електронагрівних установок періодичної та безперервної дії?
6. Назвіть принципи нагрівання опором.
7. Електроконтактний нагрів і його застосування.
8. Електродний нагрів і його застосування.
9. Чим відрізняються провідники першого й другого роду ?
10. Від чого залежить електропровідність води ?
11. Які є типи електродних систем ?
12. У чому полягає методика розрахунку електродних систем ?
13. Як експериментально визначити питомий опір води ?
14. Чому в установках електродного нагріву води застосовують змінний струм ?
15. Вимоги, що ставляться до матеріалів нагрівних елементів.
16. Назвіть матеріали, що застосовуються для виготовлення нагрівних елементів.

- 
- 
17. Які матеріали використовуються для ізоляції нагрівних елементів?
  18. Як розрахувати електричний нагрівник опору за робочим струмом ?
  19. Розкажіть про будову, застосування й вибір ТЕНів.
  20. Які ви знаєте марки нагрівальних проводів і кабелів ?
  21. Назвіть способи регулювання потужності електронагрівних установок.
  22. Що називається статичною вольтамперною характеристикою дуги?
  23. Поясніть характер вольтамперної характеристики дуги в ділянці малого, середнього і великого струмів.
  24. Вимоги, що ставляться до джерел зварювального струму й способи їх забезпечення.
  25. Що називається зовнішньою характеристикою джерел зварювального струму?
  26. За рахунок чого утворюється знижувальна характеристика джерел зварювального струму?
  27. Назвіть способи регулювання зварювального струму.
  28. Призначення осциляторів.
  29. Які параметри електромагнітного поля визначають характер його проникнення в матеріал, що нагрівається?
  30. Від яких параметрів залежить питома потужність на поверхні електропровідного матеріалу?
  31. На що впливає частота струму живлення при індукційному нагріванні?
  32. Наведіть приклади застосування установок індукційного і діелектричного нагрівання.
  33. Поясніть принцип дії машинних перетворювачів частоти.
  34. Поясніть роботу схеми тиристорних перетворювачів частоти.
  35. Поясніть роботу схеми лампових генераторів індукційних установок.

### Тести

1. У провідниках ...
  - а) під впливом магнітного поля молекули й атоми починають рухатись і за рахунок тертя між ними виділяється теплота;

---

---

б) під впливом електричного поля заряди, зв'язані міжмолекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Енергія електричного поля, яка витрачається на поляризацію молекул, виділяється у вигляді теплоти;

в) під впливом електричного поля вільні заряди, рухаючись, зустрічають опір з боку нейтральних атомів і молекул та зарядів протилежного знака. На подолання опору заряди витрачають енергію, яка виділяється.

## 2. У діелектриках ...

а) під впливом електричного поля вільні заряди, рухаючись, зустрічають опір з боку нейтральних атомів і молекул та зарядів протилежного знака. На подолання опору заряди витрачають енергію, яка виділяється;

б) під впливом магнітного поля молекули й атоми починають рухатись і за рахунок тертя між ними виділяється теплота;

в) під впливом електричного поля заряди, зв'язані міжмолекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Енергія електричного поля, яка витрачається на поляризацію молекул, виділяється у вигляді теплоти.

## 3. При прямому способі електронагрівання...

а) енергія електричного поля перетворюється в теплову в спеціальних нагрівальних пристроях, а потім теплова енергія передається речовині, що нагрівається;

б) енергія електричного поля перетворюється на теплову безпосередньо в речовині, що нагрівається;

в) енергія електричного поля перетворюється в механічну, а потім у теплову.

## 4. При побічному електронагріванні ...

а) енергія електричного поля перетворюється на теплову безпосередньо в речовині, що нагрівається;

б) енергія електричного поля перетворюється в механічну, а потім у теплову;

в) енергія електричного поля перетворюється у теплову в спеціальних нагрівальних пристроях, а потім теплова енергія передається речовині, що нагрівається.

## 5. Тепловий розрахунок електронагрівальних установок полягає ...

а) у визначенні напруги, коефіцієнта використання енергії палива, номінального струму, питомого опору, габаритів;

б) у визначенні втрат теплоти на нагрівання і плавлення чи випаровування, втрат теплоти в зовнішнє середовище, теплового

---

---

коефіцієнта корисної дії, загальної потужності установки та її конструктивних параметрів;

в) у виборі способу нагрівання, напруги й частоти струму, розробці електричної схеми з'єднання і способу регулювання потужності та визначенні основних геометричних розмірів і робочої температури нагрівних елементів.

6. Електричний розрахунок електронагрівальних установок полягає ...

а) у визначенні втрат теплоти на нагрівання і плавлення чи випаровування, втрат теплоти в зовнішнє середовище, теплового коефіцієнта корисної дії, загальної потужності установки та її конструктивних параметрів;

б) у виборі способу нагрівання, напруги й частоти струму, розробці електричної схеми з'єднання і способу регулювання потужності та визначенні основних геометричних розмірів і робочої температури нагрівних елементів;

в) у визначенні напруги, коефіцієнта використання енергії палива, номінального струму, питомого опору, габаритів.

7. Встановлену потужність електронагрівальної установки, кВт, при нагріванні матеріалів в установках періодичної дії визначають за формулою

$$\begin{aligned} \text{а) } P_y &= \frac{K_3 mc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta T}, & \text{б) } P_y &= \frac{K_3 G[c(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta}, \\ \text{в) } P_y &= \frac{K_3 Gc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta}. \end{aligned}$$

8. Встановлену потужність електронагрівальної установки, кВт, при нагріванні матеріалів в установках безперервної дії визначають за формулою

$$\begin{aligned} \text{а) } P_y &= \frac{K_3 G[c(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta}, & \text{б) } P_y &= \frac{K_3 Gc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta}, \\ \text{в) } P_y &= \frac{K_3 mc(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta T}. \end{aligned}$$

9. Опір провідника першого роду при підвищенні температури ...

а) зменшується; б) не змінюється; в) збільшується.

10. Опір провідника другого роду при підвищенні температури ...

а) не змінюється; б) збільшується; в) зменшується.

11. Закон Джоуля – Ленца має вигляд ...

а)  $Q=WRt$ ; б)  $Q=U^2 Rt$ ; в)  $Q=I^2 Rt$

- 
- 
12. Провідність води обумовлена наявністю в ній ...  
а) водню і кисню; б) мікроелементів; в) солей, кислот, лугів.
13. Розміри електродів електродного нагрівника залежать від...  
а) максимально допустимої густини струму на електродах і напруженості поля між ними;  
б) теплового коефіцієнта корисної дії нагрівника;  
в) матеріала електродів.
14. Мінімальна відстань між електродами повинна бути не менше ...  
а) 0,5 см; б) 1,5 см; в) 2,5 см.
15. Високий питомий опір нагрівального дроту призводить до ...  
а) збільшення маси нагрівального дроту й габаритів електро-нагрівника;  
б) зменшення маси нагрівального дроту й габаритів електро-нагрівника;  
в) збільшення маси нагрівального дроту й зменшення габаритів електронагрівника.
16. Подвійний ніхром позначається ...  
а) Х20Н60; б) Х15Н60; в) Х20Н80.
17. У плівкових нагрівниках нагрівальні елементи виготовляють з ...  
а) вуглеграфітної струмопровідної тканини, сажонаповненої гуми, металонаповнених склоемалей, склоцементів, електропровідною основою в яких є феросиліцій, титан, алюміній та дисиліцид молібдену;  
б) міді, алюмінію, свинцю;  
в) молібдену, фехралю, цинку.
18. Коефіцієнт монтажу враховує ...  
а) поліпшення тепловіддачі від дроту, що веде до підвищення його температури;  
б) погіршення тепловіддачі від дроту, що веде до підвищення його температури;  
в) поліпшення тепловіддачі завдяки впливу зовнішнього середовища, що викликає зниження температури дроту.
19. Коефіцієнт середовища враховує ...  
а) поліпшення тепловіддачі завдяки впливу зовнішнього середовища, що викликає зниження температури дроту;  
б) поліпшення тепловіддачі від дроту, що веде до підвищення його температури;  
в) погіршення тепловіддачі від дроту, що веде до підвищення його температури.

- 
- 
20. Марки нагрівальних проводів ...  
а) КНРПВ і КНРПЭВ; б) АПВ, АПР, АППВ; в) ПОСХП, ПОСХВ і ПОСХВТ.
21. Марки нагрівальних кабелів ...  
а) АПВ, АПР, АППВ; б) ПОСХП, ПОСХВ і ПОСХВТ;  
в) КНРПВ і КНРПЭВ;
22. Потужність електронагрівальної установки з елементними нагрівниками можна регулювати ...  
а) змінюючи напругу живлення або еквівалентний опір нагрівальних елементів;  
б) змінюючи подачу матеріалу, що нагрівається;  
в) перекриваючи шлях проходження струму між електродами за допомогою ізоляційних труб або пластин.
23. Потужність електродних водонагрівників можна регулювати ...  
а) змінюючи подачу матеріалу, що нагрівається;  
б) перекриваючи шлях проходження струму між електродами за допомогою ізоляційних труб або пластин;  
в) змінюючи напругу живлення або еквівалентний опір нагрівальних елементів.
24. Статична вольт-амперна характеристика дуги – це...  
а) залежність струму дуги від часу;  
б) залежність спаду напруги на дузі від значення струму;  
в) залежність струму дуги від відстані між електродом і деталлю.
25. Зовнішня характеристика джерел зварювального струму – це залежність ...  
а) частоти струму на його вихідних клеммах від значення струму навантаження;  
б) потужності на його вихідних клеммах від значення струму навантаження;  
в) напруги на його вихідних клеммах від значення струму навантаження.
26. Стійке горіння дуги, стабільність режимів зварювання, безпечність обслуговування установок гарантується належним вибором таких параметрів джерел живлення:  
а) напруги холостого ходу, зовнішньої характеристики, способу регулювання зварювального струму;  
б) напруги мережі, частоти струму, напруги короткого замикання;  
в) номінальної потужності, струму холостого ходу.

---

---

27. Знижувальна характеристика джерела зварювального струму використовується ...

а) для багатопостового зварювання, де використовують однофазні або трифазні трансформатори ;

б) в апаратах ручного зварювання, де необхідно забезпечити стійкість дуги й незначну зміну зварювального струму при зміні довжини дуги;

в) в апаратах для зварювання під флюсом і в середовищі захисних газів (аргон, вуглекислий газ).

28. Знижувальна характеристика утворюється за рахунок ...

а) вмикання у зварювальне коло великого ємнісного опору або забезпечується за рахунок зміни опору обмоток трансформатора;

б) збільшення кількості витків обмоток або потужності трансформатора;

в) вмикання у зварювальне коло великого індукційного опору у вигляді котушки з феромагнітним осердям (дроселя) або забезпечується за рахунок підсилених магнітних потоків розсіювання у самому трансформаторі;

29. Величину зварювального струму можна регулювати ...

а) зміною відстані між первинною і вторинною обмотками, перемиканням обмоток на послідовне й паралельне з'єднання, ступенем намагнічування магнітного шунта, заміною повітряного зазору дроселя;

б) зміною опору обмоток площі поперечного перерізу магніто-проводу;

в) зміною потужності трансформатора діаметру провада обмоток.

30. При індукційному нагріванні глибина проникнення струму в деталь залежить від ...

а) температури індуктора; б) охолодження індуктора; в) частоти струму.

31. Потужність, що виділяється на поверхні електропровідного матеріалу при індукційному нагріванні пропорційна ...

а) напрузі на індукторі;

б) квадрату частоти струму;

в) квадрату ампер-витків індуктора і коефіцієнту поглинання потужності.

32. Інтенсивне нагрівання діелектриків можливе при частоті ...

а) 100–10000 Гц; б) 10000–100000 Гц; в) 0,5–10 МГц.

---

---

 **Виконайте**

**Лабораторна робота**

Дослідження відкритих нагрівальних елементів.

Дослідження трубчастих електронагрівачів.

Визначення питомого опору води.

**Практичне заняття**

Розрахунок електронагрівальних установок прямого й побічного нагрівання.

**1.3. ЕЛЕКТРИЧНІ ВОДОНАГРІВАЧІ Й КОТЛИ**

Методика визначення розрахункової потужності й вибір теплогенеруючих установок за добовими графіками теплових навантажень при вільному і вимушеному електроспоживанні.

Класифікація водонагрівачів і котлів. Елементні водонагрівачі періодичної і безперервної дії, електродні водонагрівачі. Призначення, будова, технічні характеристики, застосування, принципи керування й автоматизації.

Електричні водонагрівальні й парові котли. Будова, призначення, принцип дії, визначення потужності й вибір, принципи керування і автоматизації.

Електрокотельні, їх обладнання і схеми автоматичного керування.

Основні правила техніки безпеки під час експлуатації електричних водонагрівачів і котлів.

 **Прочитайте**

Л–2, с. 150–175; Л–4, с. 290–312; Л–5, с. 245–252.

***Електричні водонагрівачі***

Електричні водонагрівачі відзначаються простотою будови та обслуговування, легкістю автоматизації, постійною готовністю до роботи. Їх встановлюють безпосередньо біля споживачів гарячої води, завдяки чому відпадає необхідність у трубопроводах гарячого водопостачання.

Виготовляються електричні водонагрівачі двох типів: *елементні та електродні.*

---

---

В елементних теплота виділяється у трубчастих нагрівних елементах (ТЕНах), а в електродних – у шарі води між електродами, через який проходить електричний струм. Перевагами електродних водонагрівачів, порівняно з елементними, є простота будови, невеликі розміри й металомісткість 1–3 кг/кВт у електродних і 10–25 в елементних. Вони не бояться вмикання в електромережу без води, оскільки в разі відсутності води між електродами потужність з мережі не споживається. При електродному нагріванні зменшується забруднення води бактеріями в результаті дії на них електричного струму.

Поряд з цим електродні водонагрівачі мають недоліки. В установках з розчинними електродами (вуглецева сталь) і металевим баком вода забруднюється продуктами електрохімічних реакцій (окиси металу), які в певних концентраціях шкідливі для людей та тварин. Вода не забруднюється під час використання нерозчинних електродів (наприклад, графітових). Електродні водонагрівачі відзначаються також підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

Недоліком електродних водонагрівачів є значне зростання споживаної потужності в процесі нагрівання. Так, під час нагрівання води від 10 до 100°C споживана потужність збільшується в 3–4 рази, що може призвести до перевантаження електромережі.

Переваги електродних водонагрівачів виявляються найбільше при підвищенні їх потужності. Тому виготовляють їх потужністю понад 25 кВт і використовують в електроротельнях при централізованому постачанні споживачів теплом і гарячою водою.

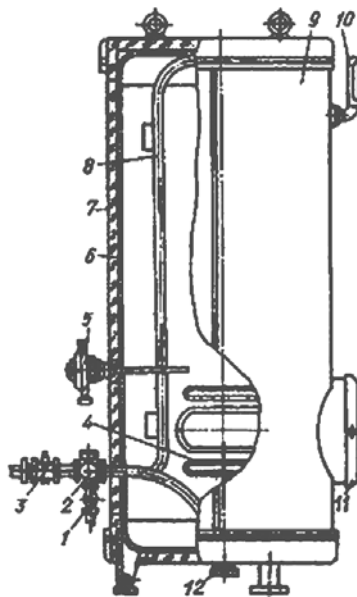
Електричні водонагрівачі можуть бути проточними (швидкодіючими) і термосного типу (акумуляційними). Проточні – невеликі за габаритами, із значною установленою потужністю, що забезпечує одержання гарячої води відразу ж після їх вмикання в електромережу. Водонагрівачі термосного типу мають великий бак з теплоізоляцією. Тому вони можуть вмикатись і акумулювати гарячу воду в години провалу добового графіка навантаження трансформаторної підстанції, що підвищує економічні показники електронагрівання води.

### ***Елементні водонагрівачі термосного типу***

Основні характеристики водонагрівачів термосного типу наведені в табл. 6.

*Водонагрівачі типу УАП* (рис. 23) має зварний циліндричний резервуар з листової сталі (6), трубчасті нагрівальні елементи (4),

терморегулятор (5), термометр (10), систему подачі води та станцію керування. Живлення водою здійснюється через спеціальний поплавковий клапан, який забезпечує підтримання сталого рівня води в резервуарі.



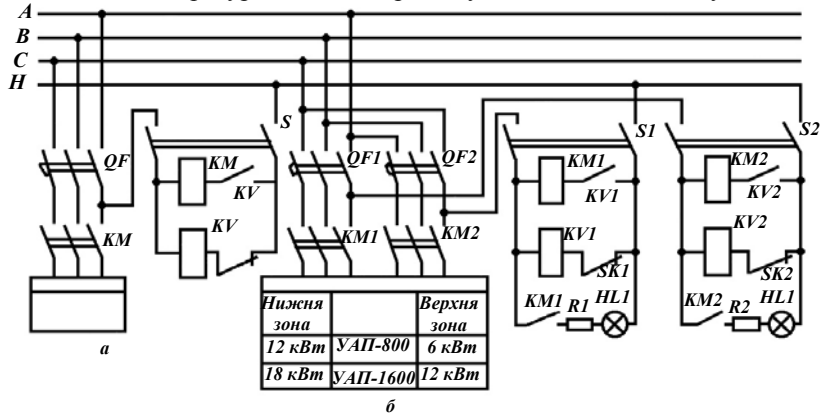
**Рис. 23. Електронагрівач УАП-400/0,9-М1:**

- 1 – кран гарячої води; 2 – вентиль холодної води; 3 – зворотний клапан; 4 – трубчасті електронагрівачі; 5 – терморегулятор; 6 – резервуар; 7 – шар теплоізоляції; 8 – водозабірна труба; 9 – кожух; 10 – термометр; 11 – кришка контактних з’єднань; 12 – зливний патрубок

У рис. 246 зображено принципіальну електричну схему водонагрівача УАП-800/0,9.

Нагрівні елементи розділені на дві групи, одна з яких міститься у верхній, а друга – в нижній частинах резервуара. За допомогою вимикачів SA1 і SA2 можна ввімкнути кожен групу нагрівників окремо або відразу дві групи, регулюючи таким чином потужність водонагрівника. Задана температура нагрівання води підтримується автоматично. При підвищенні температури води замикаються контакти температурних реле SK1 і SK2 типу TP-200. Спрацьовують проміжні реле K1 і K2 і розмикають свої контакти в колах живлення

електромагнітних пускачів КМ1 і КМ2. Пускачі вимикають нагрівники. При вмиканні обох груп водонагрівників відбувається форсоване нагрівання, а при вмиканні лише нижнього нагрівача здійснюється акумуляційний режим. Надійна теплоізоляція дозволяє вмикати водонагрівач вночі, а вдень користуватись теплою водою, бо зниження температури води не перевищує 0,6–0,7°С за годину.



**Рис. 24. Принципіальна електрична схема водонагрівача серії УАП:**

а – УАП – 400/09; б – УАП – 800/09, УАП – 1600/09

Водонагрівачі САОС –400/90, САОС –800/90, САОС –1600/90 мають характеристики, аналогічні характеристикам водонагрівачів УАП. На відміну від останніх вони розраховані на роботу під тиском водопровідної мережі (до 0,4 МПа). Наявність вентиля на вихідному патрубку дозволяє здійснювати забирання гарячої води у кількох точках. Новий тип ізоляції на основі пластмас наносять безпосередньо на резервуар (без зовнішнього металевого кожуха).

Водонагрівачі серії САОС обладнані клапаном надлишкового тиску для запобігання пошкодженню апарата при підвищенні тиску у водопровідній мережі та двома терморегуляторами. Один терморегулятор підтримує задану температуру води, а другий (аварійний) – вимикає водонагрівач з мережі при перевищенні допустимої температури.

Водонагрівачі типу САЗС мають додаткову систему замкнутого трубопроводу з циркуляційним насосом. Вони призначені для підігрівання води в системах автонапування тварин.

Проточний електроводонагрівач ЕПВ-2А застосовують для нагрівання проточної води до температури 90 °С. Температуру нагрівання води й продуктивність водонагрівача регулюють вентилям на живильному трубопроводі.

Таблиця 8

**Технічні характеристики електроводонагрівачів  
акумуляційного типу**

Показники	УАП- 400/ 09-М1	УАП- 800/ 09-М1	УАП- 1600/ 09-М1	САОС- 400/90- И1	САОС- 800/90- И1
Місткість баку, л	400	800	1600	400	800
Потужність, кВт	12	18	30	12	18
Температура води на виході, °С	90	90	90	90	90
Час розігріву води до 80 °С, год	2,9	5	6	3,3	5,0
Надлишковий тиск води у водонагрівачу, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Коефіцієнт корисної дії, %	-	-	-	96	96

Таблиця 9

**Технічні характеристики проточних електроводонагрівачів**

Показники	ЭПВ- 2А	ВЭП- 600	САЗС- 400/ 90-И1	САЗС-800/ 90-И1	ЭВ-Ф- 15А
1	2	3	4	5	6
Місткість баку, л	12	600	400	800	12
Потужність нагрівних елементів, кВт	10,5	10	12	18	15
Максимальна температура води на виході, °С	90	90	95	95	75
Потужність електродвигуна циркуляційного насоса, кВт	-	0,37	0,37	0,37	-

1	2	3	4	5	6
Надлишковий тиск води у водонагрівачу, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Коефіцієнт корисної дії, %	90	90	96	96	91

Водонагрівач електричний проточний ВЭП-600 (рис. 25) призначений для підігрівання води у системі автонапування великої рогатої худоби в приміщеннях з прив'язним утриманням та для технологічних потреб у тваринництві.

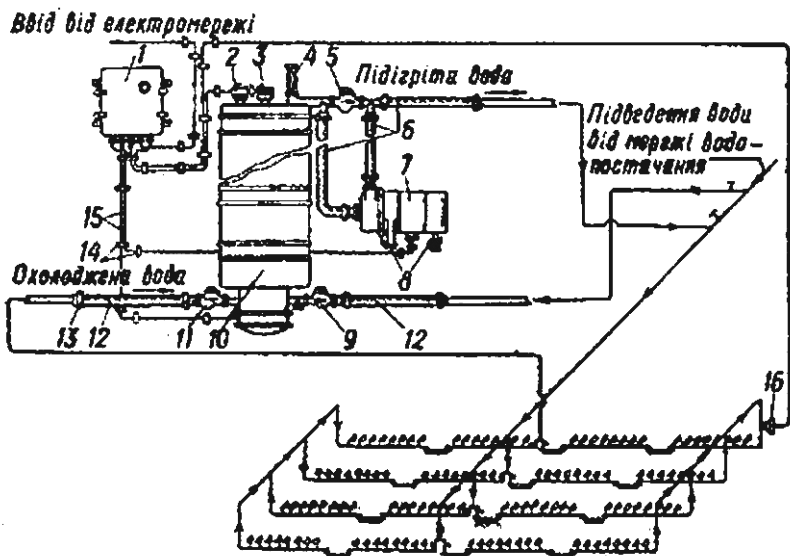
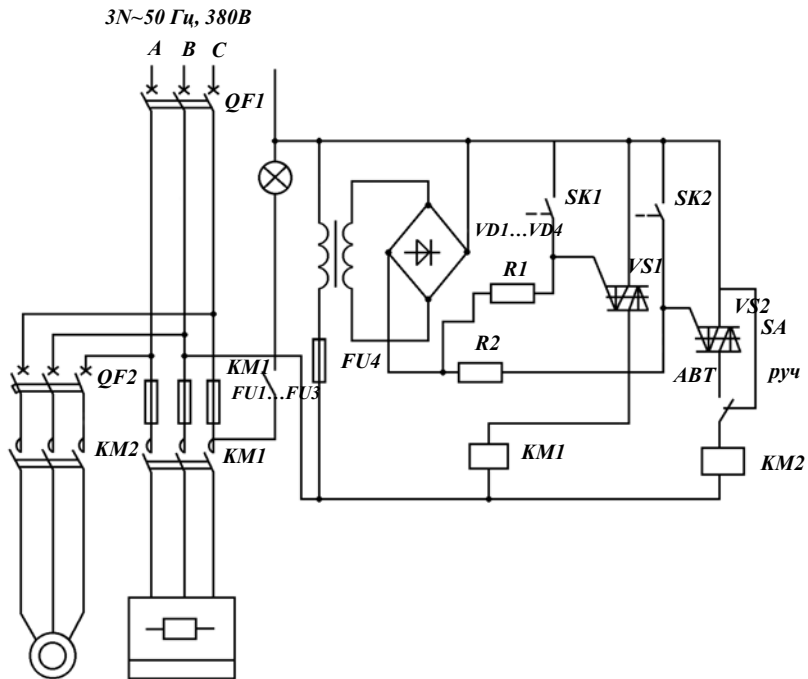


Рис. 25. Підігрів води для автонапування водонагрівачом ВЭП-600:

- 1 – шафа керування; 2 – запобіжний клапан; 3 і 16 – датчики температури; 4 – термометр; 5, 9 і 11 – зворотні клапани; 6 і 12 – ізоляційні трубки; 7 – насос; 8 – кронштейн; 10 – бак; 13 – хомут; 14 – скоби; 15 – кабель

Задана температура води в системі автонапування підтримується двома терморегуляторами. Кожний складається з датчика температури (ртутного контактного термометра типу ТК-52А,

транзистора і проміжного реле (рис. 26). Один датчик температури SK1 встановлений у верхній частині бака, а другий SK2 – у самій віддаленій точці водопровідної мережі системи автонапування.



**Рис. 26. Принципіальна електрична схема водонагрівача ВЭП-600**

До комплекту ВЭП-600 входять контактні термометри з температурою спрацювання +5, 10; 16 і +22°C. У корівнику на водонагрівач встановлюють контактний термометр з температурою спрацювання +10°C, а в самій віддаленій точці водопровідної мережі – з температурою спрацювання +5°C; в родильному відділенні – відповідно +16°C і +10°C.

Насос забезпечує періодичну циркуляцію води в системі автонапування.

Керування роботою насоса може бути ручне й автоматичне, перемикач здійснюється перемикачем S.

В автоматичному режимі роботою насоса керує терморегулятор, датчик якого SK2 встановлений у найвіддаленішій точці мережі автонапування. При зниженні температури води у цій точці менше температури спрацювання датчика його контакт SK2 замикається, семістор VS2 відкривається і замикає коло котушки електромагнітного пускача KM2, який вмикає насос. Вимикається насос при підвищенні температури води у найвіддаленішій точці до температури спрацювання датчика SK2.

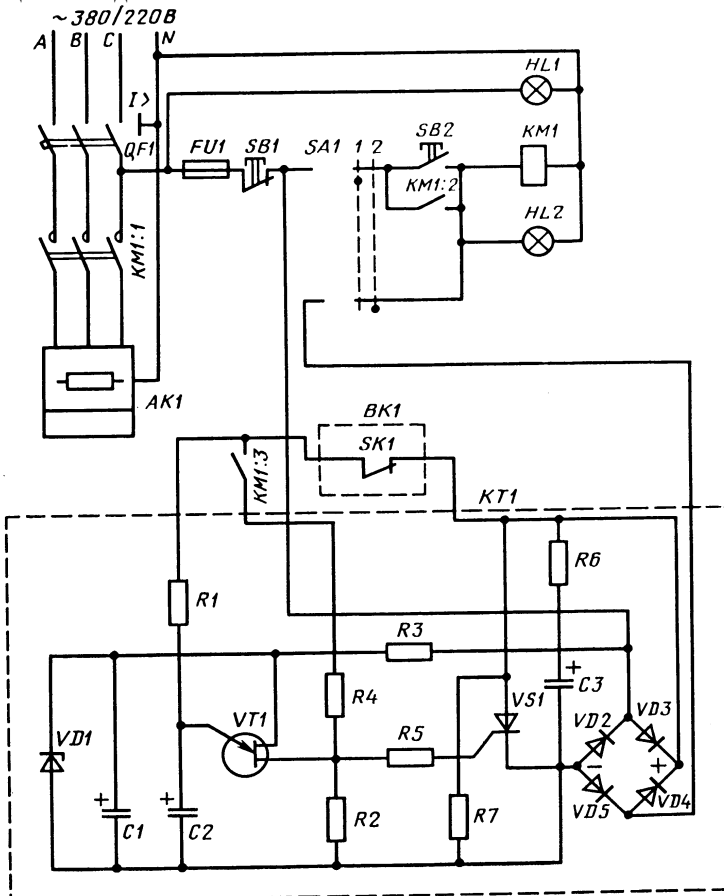


Рис. 27. Принципіальна електрична схема водонагрівача ЭВ-Ф-15

---

---

Другий терморегулятор працює аналогічно й автоматично підтримує задану температуру води у нагрівнику шляхом вмикання і вимикання нагрівних елементів.

Режим роботи водонагрівача ЭВ-Ф-15 (рис. 27) (ручний чи автоматичний) встановлюють перемикачем SA1. Основний режим – автоматичний. Робота в ручному режимі допускається лише при виході з ладу системи автоматичного підтримання температури. При вмиканні автоматичного вимикача QF1 в автоматичному режимі реле часу КТ1 через 15–45 сек видає сигнал і вмикається електроводонагрівник, при цьому запалюється сигнальна лампа HL2.

При нагріванні води до встановленої температури спрацьовує термореле ВК1 і видає сигнал на вимкнення водонагрівача. При зниженні температури води контакти термореле знову замикаються, видаючи сигнал на вмикання водонагрівача, але вмикання відбудеться з витримкою часу 15–45 сек, яку забезпечує реле часу КТ1. Під час використання КТ1 не відбувається багаторазове вмикання пускача у випадку нестійкого замикання контактів SK1.

**Електродні водонагрівні котли типу ЭПЗ** призначені для нагрівання води в системах опалення й гарячого водопостачання (табл. 9). Водонагрівач – це сталевий циліндричний бак у металевому корпусі з двома патрубками для підведення і відведення води. Між баком і кожухом прокладена теплоізоляція. До верхнього патрубка приєднано спеціальний патрубок з двома гніздами для встановлення аварійного та регульовального електроконтактних термометрів. На верхній, герметично закріпленій на корпусі, кришці змонтовано всі елементи електродної системи. Через кришку в ущільнених ізоляторах проходять три струмопроводи фазних електродів зі сталевих труб. Антиелектроди, виготовлені з труб більшого діаметра, закріплені на кришці так, щоб кожний фазний електрод знаходився концентрично відносно антиелектродів. У зазорі між електродами та антиелектродами розміщені ізоляційні циліндри, закріплені на траверсі, яка при регулюванні потужності переміщується по ходовому гвинту під час обертання маховика. Рух ізоляційних циліндрів у зазорі між фазними електродами і антиелектродами дає змогу регулювати потужність водонагрівника від 10 до 100%.

Електродні водонагрівачі ЭПЗ-100/0,4 постачаються зі станції керування ШУА-1 (рис. 28). Схемою станції передбачено ручне і автоматичне керування водонагрівачем. Для ручного – перемикач S встановлюють у положення “Руч.”, а для автоматичного – у положення “Авт.”

Автоматичне керування здійснюється за допомогою манометричного електроконтактного газового термометра SK1 типу ТПГ-СК з двома контактами – мін. і макс. При температурі води нижче заданої контакт мін. замкнутий, а контакт макс. розімкнений. При цьому котушка проміжного реле KV2 одержує живлення і своїми замикаючими контактами вмикає котушку контактора КМ.

У разі підвищення температури спочатку розмикаються контакти мін., але контактор КМ залишається ввімкненим, оскільки реле KV2 встановлюється на самоблокування. Якщо температура води підвищується на 5–10<sup>0</sup>С, замикаються контакти макс., реле KV1 одержує живлення, розмикає свої контакти в колі котушки KV2 і контактор КМ вимикається.

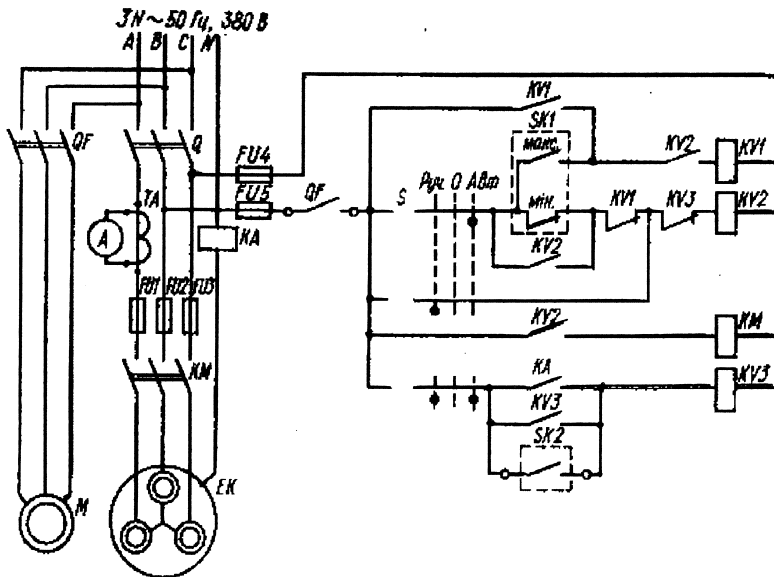


Рис. 28. Принципіальна електрична схема електродного водонагрівача ЭПЗ-100/0,4

У випадку зниження температури води спочатку розмикаються контакти макс. При цьому контактор КМ не вмикається, тому що в колі котушки реле KV2 розімкнені контакти мін. і паралельно приєднані до них контакти KV2. Якщо температура знижується далі,

---

---

замикаються контакти мін., одержує живлення реле KV2, і цикл повторюється.

Електроконтактний термометр SK2 вимикає водонагрівач з мережі при перевищенні максимально допустимої температури води як в автоматичному, так і ручному режимах.

У станції керування водонагрівачем передбачене блокування, яке не дозволяє вмикання електродів, якщо не працює циркуляційний насос. Воно здійснюється ввімкненими в коло керування водонагрівачем, допоміжними контактами автоматичного вимикача електродвигуна насоса QF.

Захист головного кола водонагрівача і кола керування від коротких замикань виконується запобіжниками. Амперметр контролює навантаження і одночасно є індикатором вмикання водонагрівача в мережу.

Для захисту від роботи при несиметричному живленні (наприклад, при перегорянні запобіжника) у нульовому проводі встановлюють струмове реле КА, яке вимикає водонагрівач при втраті фази. Цей захист необхідний, тому що в такому режимі збільшується струм у нульовому проводі і на корпусі водонагрівача з'являється небезпечний потенціал відносно землі.

При доповненні схеми керування програмним реле часу можна забезпечити роботу водонагрівача за заданим добовим графіком.

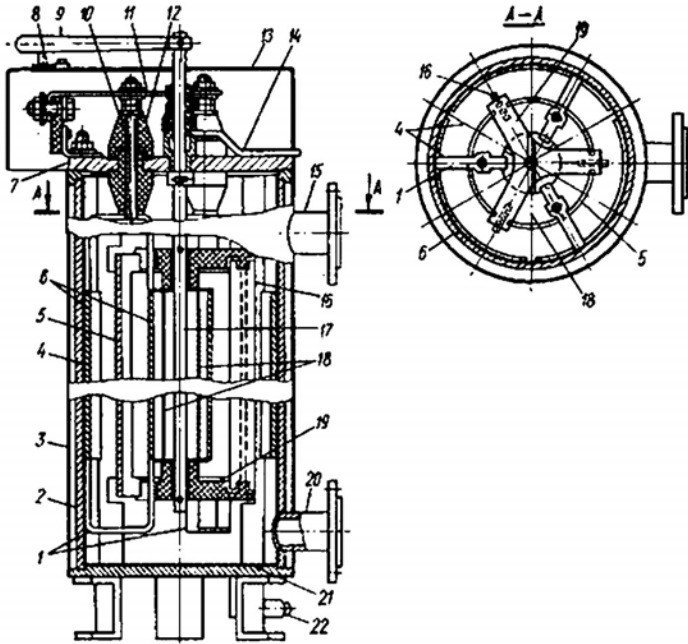
Недоліком електродних водонагрівачів серії ЕПЗ є невисока надійність у роботі через малу міжелектродну відстань.

Створено модернізований водонагрівний котел типу ЕПЗ-100И2. Основні енергетичні показники його відповідають водонагрівачу ЕПЗ-100. Він відрізняється збільшенням у два рази міжелектродних зазорів, що підвищує надійність і строк служби.

*Електродний водонагрівний котел ЕПЗ-100И2* (рис. 29) складається з таких основних вузлів: корпусу 2, електродної групи 5, 6 і кришки 7. Електродна група, змонтована на кришці за допомогою прохідних ізоляторів 12, складається з блоків регулювальних 5 і фазних 6 електродів.

Споживана водонагрівачем потужність регулюється повертанням у горизонтальній площині електродів на кут від 0 до 60°. Внутрішня частина корпусу й днище, а також зазори між боковими кромками електродів ізолювані поліпропіленом. На кришці встановлений механізм регулювання потужності з ручкою 9 повертання регулювальних електродів. Струмовводи водонагрівача 10 захищені кожухом 13, на якому закріплена шкала потужності 8.

За конструкцією і принципом дії електродні водонагрівачі *ЭПЗ-100ИЗ*, *ЭПЗ-2500ИЗ*, *ЭПЗ-300ИЗ* аналогічні водонагрівачу *ЭПЗ-100И2*. Відрізняються тим, що поворотна вісь регулюючих електродів має привід від виконавчого механізму МЭО постійної швидкості. Схема керування водонагрівачем *ЭПЗ-100ИЗ* (рис. 30) передбачає три режими роботи (ручний, автоматичний, автоматичний за заданим графіком), які задаються перемикачем SA2.



**Рис. 29. Електродний нагрівач ЭПЗ-100И2:**

- 1 – скоби; 2 – корпус; 3 і 13 – кожухи; 4 і 18 – ізоляційні екрани;  
 5 – регулювальний електрод; 6 – фазні електроди; 7 – кришка;  
 8 – шкала; 9 – ручка; 10 – ввід струму; 11 – шини; 12 – ізолятор;  
 14 і 22 – дренажі; 16 і 20 – патрубки; 17 – поворотна вісь;  
 19 – траверса; 21 – ізолятор дна

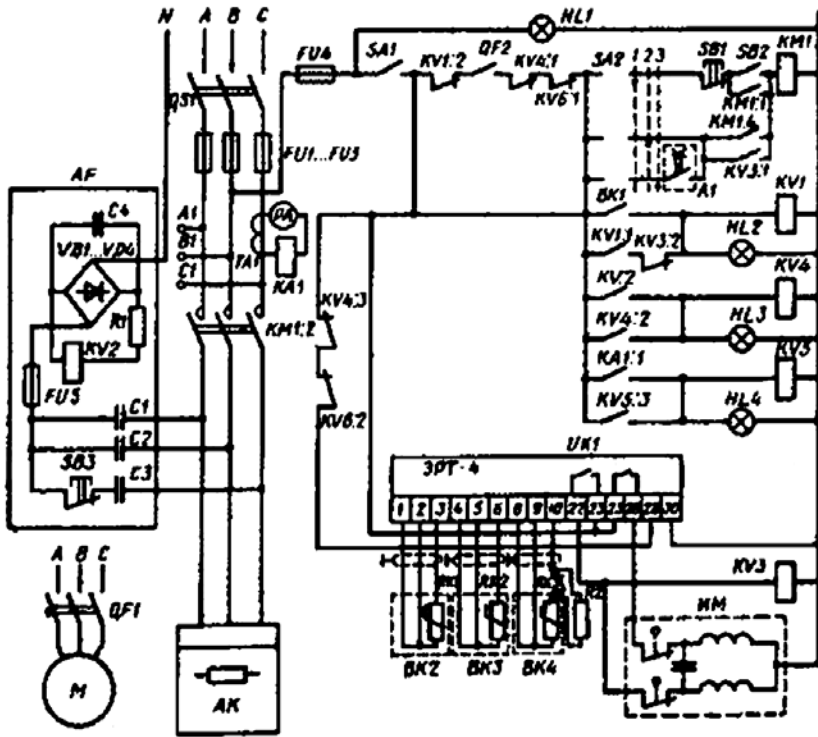


Рис. 30. Принципіальна електрична схема електродного водонагрівача ЕПЗ-100ІЗ

У ручному режимі для вмикання і вимикання водонагрівача використовують кнопки SB2 і SB1.

В автоматичному режимі потужністю водонагрівача керують за пропорційно-інтегральним законом за допомогою регулятора температури UK1 (ЭРТ-4) по температурі води на виході водонагрівача (датчик ВК2) і температурі повітря в приміщенні (датчик ВК4) з корекцією або без неї за температурою зовнішнього повітря (датчик ВК3). Необхідний закон регулювання встановлюють на передній панелі регулятора температури органами керування. Сигнали від датчиків ВК2–ВК4 надходять на регулятор, обробляються і видаються у вигляді послідовних імпульсів і пауз між ними, які керують електродвигуном виконавчого механізму, що повертає регулюючі електроди водонагрівача.

Автоматичну роботу за заданим графіком разом з регулятором ЭРТ-4 здійснює програмний пристрій А1. Для захисту від перевантажень використовується реле струму КА1, яке контролює струм в одній фазі. Блок АФ призначений для захисту від неповнофазних режимів роботи. За нерівномірності навантаження фаз з'являється напруга між штучною нульовою точкою, що утворюється конденсаторами С1–С3, і нульовим проводом. Це викликає спрацювання реле КВ2, яке через проміжне реле КВ4 знеструмлює котушку контактора КМ1. Для захисту від перегріву використовується контактний термометр. Під час нагрівання до аварійної температури замикається контакт ВК1, спрацьовує проміжне реле КВ1, знеструмлює котушку контактора КМ1. Повторно водонагрівач ввімкнеться при зменшенні температури води нижче заданого значення на 15–20<sup>0</sup>С завдяки корегуючій дії резистора R2, який ввімкнений послідовно з термоперетворювачем РК3.

Таблиця 10

**Технічні характеристики електродних водонагрівачів ЭПЗ**

Показники	ЭПЗ-100 ИЗ	ЭПЗ-250 ИЗ	ЭПЗ-400 ИЗ
Номинальна споживана потужність, кВт	100	250	400
Номинальна температура води, °С:			
• на вході	70	70	70
• на виході	95	95	95
Максимальний надлишковий робочий тиск, МПа	0,6	0,6	0,6
Продуктивність за номінальної температури, м <sup>3</sup> / год	3,4	8,5	13,6
Межі регулювання потужності від номінального значення, %	20–100	20–100	20–100
Номинальний питомий опір використовуваної води при 20 °С, Ом·м	20	20	20
Питома витрата електроенергії за номінального режиму, кВт·год/м <sup>3</sup>	29,4	29,4	29,4
Коефіцієнт корисної дії, %	99	99	99

## Електричні водонагрівальні та парові котли

Водонагрівальні та парові електрокотли випускаються електродними. Електродний нагрів забезпечує котлам простоту конструкції і регулювання потужності, які характеризуються надійністю, строком служби і високими енергетичними показниками.

Водонагрівальні котли за будовою та принципом дії аналогічні електродним водонагрівачам і відрізняються від них міцністю корпусу, бо працюють під тиском.

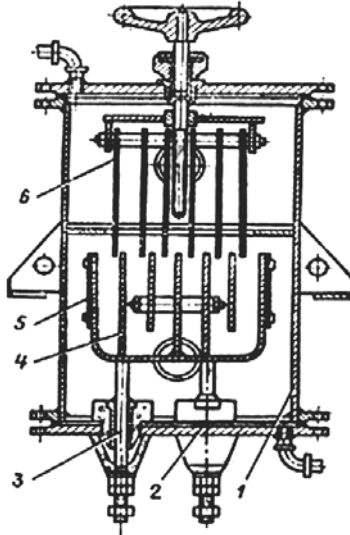
У рис. 31 наведено конструктивну схему котла типу КЭВ з пластинчастими електродами. Корпус 1 котла виконаний із стандартної труби і має вхідний і вихідний патрубки. У середині котла на ізоляторах змонтована електродна система у вигляді пакета пластинчастих електродів 4, які утворюють з'єднання "подвійний трикутник". Регулювання потужності досягається введенням між електроди діелектричних пластин 6.

Пластинчасті електроди застосовують при питомому опорі води вище 10 Ом·м, при менших опорах, а також у високовольних котлах використовують циліндричні електроди.

Таблиця 11

### Технічні характеристики електродних водонагрівачів КЭВ

Показники	КЭВ-40/0,4	КЭВ-63/0,4	КЭВ-100/0,4	КЭВ-160/0,4	КЭВ-250/0,4	КЭВ-400/0,4
Номинальна споживана потужність, кВт	40	63	100	160	250	400
Робочий тиск у котлі, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Температура води, °С: на вході	75	75	75	75	75	75
на виході	95	95	95	95	95	95
Витрата води через котел, м <sup>3</sup> / год	1,4	2,2	3,5	5,5	8,6	13,8
Питомий опір води при 20°С, Ом·м	10–170	10–170	10–170	10–170	10–170	10–170
Межі регулювання потужності, %	25–100	25–100	25–100	25–100	25–100	25–100
Маса, кг	88	124,2	170	170	251	380



**Рис. 31. Електродний водонагрівальний котел КЭВ-0,4:**

1 – корпус; 2 – днище; 3 – струмоведучий стержень; 4 – пластинчасті електроди; 5 – захисні діелектричні пластини; 6 – регулюючі діелектричні пластини

Принципіальна електрична схема котлів типу КЭВ-0,4 (рис. 32) передбачає роботу в автоматичному режимі (перемикач SA в положенні “А”) при ввімкненому циркуляційному насосі (блок-контакт KV5). Для ручного випробування використовують кнопку SB (перемакач SA в положенні “Р”).

Двопозиційне керування роботою котла здійснюється за температурою води на виході з котла (електроконтактний термометр SK1) і температурою в системі (температурою в опалюваному приміщенні або води в акумулюючій ємності – температурне реле SK2). Верхній контакт SK1 налагоджений на мінімальне, а нижній – на максимальне значення температури води. За нижчезаданої температури в системі контакт SK2, а за температури води на виході з котла нижче мінімального значення замкнутий верхній контакт SK1. При цьому реле KV1 ввімкнуте, KV2 вимкнене і своїм контактом KV2.2 через реле KV3 живить котушку контактора КМ, який вмикає котел під напругу. Коли температура води на виході перевищить

мінімальне значення, розімкнеться верхній контакт SK1, знеструмить реле KV1 і своїм розмикаючим контактом підготує до вмикання реле KV2.

При досягненні максимальної температури спрацює KV2 і через KV3 знеструмить котушку контактора KM, який вимкне котел. Повторне вмикання відбудеться тоді, коли температура води стане нижче мінімальної і замкнеться верхній контакт SK1.

Нижні кола схеми призначені для виносної сигналізації.

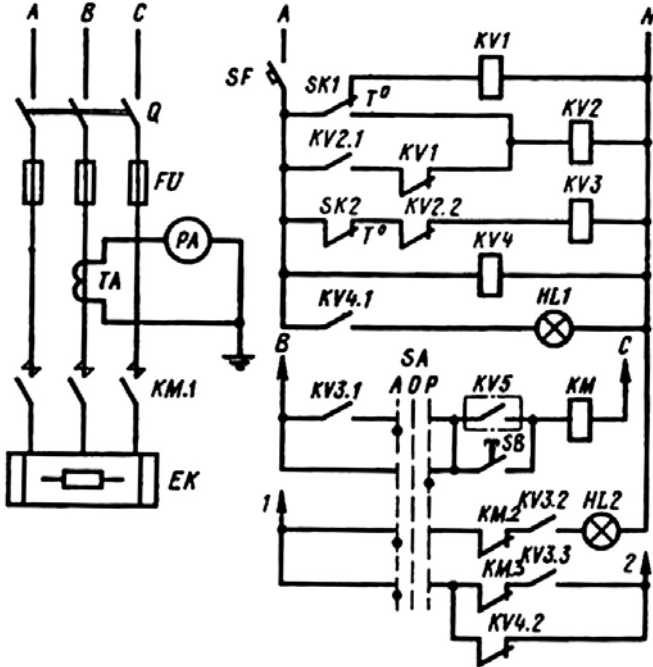
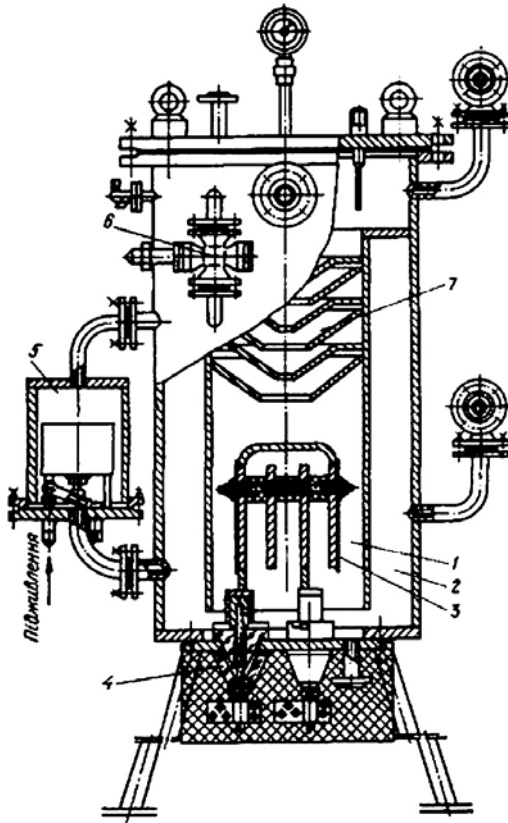


Рис. 32. Принципіальна електрична схема електродного котла КЭВ-0,4



**Рис. 33. Електродний паровий котел КЭПР-160/0,4:**

- 1 – парогенеруюча камера; 2 – витискуюча камера; 3 – електродна система; 4 – прохідний ізолятор; 5 – поплавковий регулятор; 6 – регулятор температури пари; 7 – механічний сепаратор пари

Пара широко використовується в сільськогосподарському виробництві для опалення тваринницьких і виробничих приміщень, теплової обробки кормів, пастеризації молока, стерилізації молочного посуду, ґрунту в теплицях тощо.

Особливо важливе значення має запарювання кормів, завдяки якому підвищується їх поїдання і засвоюваність. Крім цього, під час запарювання знешкоджуються шкідливі для організму паразити й

---

---

грибки, а також насіння бур'янів, чим запобігається повторне забруднення ними полів з гноєм.

У сільському господарстві широко застосовуються електродні водонагрівальні котли типу КЭВ, КЭВЗ, парові котли КЭПР та парогенератори ЭЭП-160И1, ЭЭП-250И1 і ЭЭП-400И1.

У рис. 33 зображено електричний паровий котел КЭПР-160/0,4. Електрокотел має внутрішню (парогенеруючу) і зовнішню (витискаючу) камери. Електродна система 3 виконана у вигляді пакета плоских пластин, живлення до яких підводиться через прохідні ізолятори.

Потужність котла регулюється за тиском пари, який залежить від інтенсивності розбору пари. Якщо тиск пари в котлі нижчий від допустимого значення, то регулюючий клапан 6 регулятора температури відкритий і вода в обох камерах стоїть на одному рівні, повністю закриваючи електроди. Паровий котел при цьому працює на повну потужність.

При зниженні інтенсивності розбору пари тиск і температура зростають, вода з камери 1 витискається в камеру 2. Оголення електродів призводить до зниження потужності. Аналогічно регулюється потужність парового електрокотла при зміні питомого опору води.

Вода в паровий котел подається через поплавковий регулятор і потрапляє спочатку у витискаючу камеру.

У верхній частині парогенеруючого простору розміщений механічний сепаратор пари 7, який осушує пару за рахунок віддокремлення водяних крапель.

Для запобігання утворенню накипу в котлах воду попередньо обробляють у магнітному полі.

Електропарогенератор ЭЭП-160И1 складається з електродного парового котла, живильного бака, термічного деаератора, живильного насоса і щита керування. Всі елементи парогенератора, крім щита, змонтовані на загальній рамі.

У котлі отримують пар з максимальною температурою 165<sup>0</sup>С.

Електричною схемою котла КЭПР (рис. 34) передбачене автоматичне й ручне керування (перемикачі SA1 і SA2) за тиском пари за допомогою електроконтактного манометра SP. Контакт SP замикається при тиску меншому від заданого і розмикається при досягненні максимально заданого значення тиску.

Елементи схеми SP, KV1, KV2, KV3, KM здійснюють двопозиційне регулювання роботою котла аналогічно типу КЭВ (рис. 34).

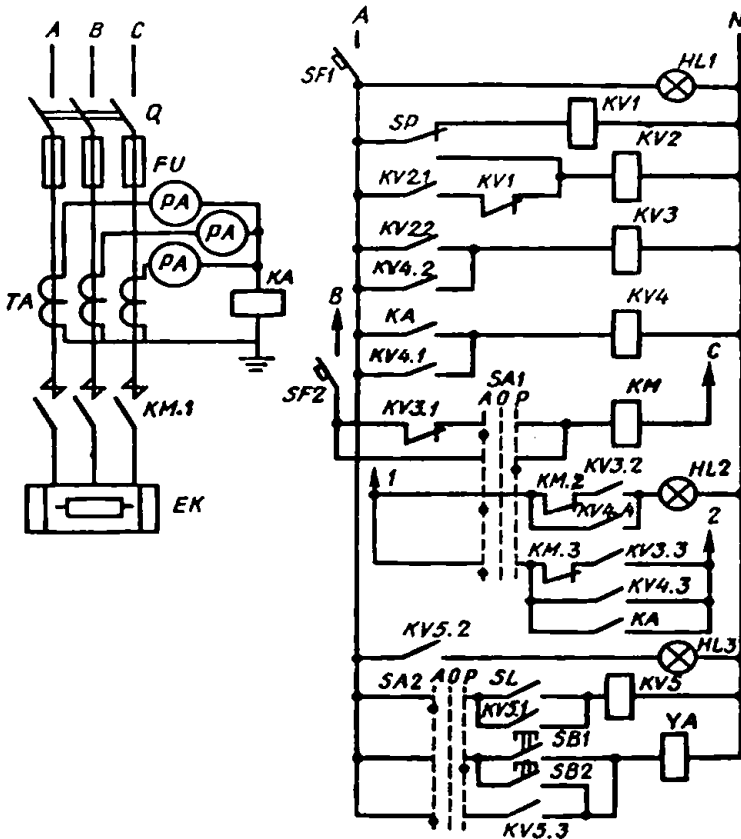


Рис. 34. Принципіальна електрична схема керування електродним котлом – парогенерувачем типу КЭПР-160 і КЭПР-250

У схемі передбачений додатковий контроль симетрії навантаження по фазах, який здійснюється струмовим реле КА. За суттєвої асиметрії реле КА через проміжне реле KV4 вимкне котел з мережі. Передбачений захист від переповнення водою парогенеруючої камери. При підвищенні рівня води до електрода датчика SL він, замикаючись,



манометр ВР, рівень води в котлі – електродний датчик ВН, напругу фаз – проміжні реле КВ3, КВ5. Фазочутливий пристрій захисту АФ контролює точки витікання струму в силовому колі електродвигуна М. Під час аварії електропарогенератор вимикають кнопковим вимикачем SB1. Світлова сигналізація передбачає контроль: вмикання електромагнітних вентилів Y1 і Y2 – лампа НЛ1, фазних напруг – НЛ2–НЛ4, роботи електродвигуна – НЛ5.

Температуру води для напування тварин беруть у таких межах: для корів – 8–12, телят – 14–16, свиней – 10–16, поросят – 16–20<sup>0</sup>С. Температуру гарячої води для виробничих потреб беруть: для миття молокопроводів, молочної посуду, шлангів – 55–65<sup>0</sup>С, для підмивання вим'я у корів – 37–38<sup>0</sup>С, для приготування кормів – 40–65<sup>0</sup>С, для опалення допоміжних приміщень – 70–95<sup>0</sup>С.

Таблиця 12

### Норми споживання води та пари

Тварини	Норми споживання на одну голову		
	гарячої води на миття обладнання, дм <sup>3</sup> /доб	пари низького тиску, кг/доб	води для напування, дм <sup>3</sup> /доб
Корови дійні	15	-	65
Бики й нетелі	5	-	40
Телята, молодняк	2		10–25
Свиноматки з приплодом	40	0,71	20
Свиноматки холості	13	0,45	12
Свині на відгодівлі	9	0,55	6

### Приклад

Вибрати електроводонагрівальну установку для циркуляційної системи автопоїння в корівнику на 200 голів. Температура холодної води 7<sup>0</sup>С.

### Розв'язання

Визначаємо розрахункову потужність електроводонагрівача періодичної дії.

$$P = \frac{K_{\text{доб}} K_{\text{год}} a C N (\theta_{\text{гар}} - \theta_{\text{хол}})}{3600 \times 24 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{т}}}, \quad (1.3.1)$$

де  $K_{\text{доб}}$  – коефіцієнт добової нерівномірності споживання води (1,2–1,3);

$K_{\text{год}}$  – коефіцієнт годинної нерівномірності споживання води (1,6–2,0);

$a$  – добова норма поїння на одну голову, дм<sup>3</sup>/добу (табл. 12);

$C$  – питома теплоємність води,  $C = 4,2$  кДж/(кг·°С);

$N$  – кількість тварин, гол.;

$\theta_{\text{гар}}$  – температура гарячої води, °С;

$\theta_{\text{хол}}$  – температура холодної води, °С;

$\eta_{\text{в}}$  – К.КД водонагрівача (0,85–0,95);

$\eta_{\text{т}}$  – К.КД теплової мережі (0,8–0,9);

$$P = \frac{1,3 \times 1,8 \times 65 \times 4,2 \times 200(10 - 7)}{3600 \times 24 \times 0,92 \times 0,8} = 6,0 \text{ кВт}.$$

Вибираємо електроводонагрівач типу ВЭП-600 потужністю 10 кВт.

### **Електрокотельні**

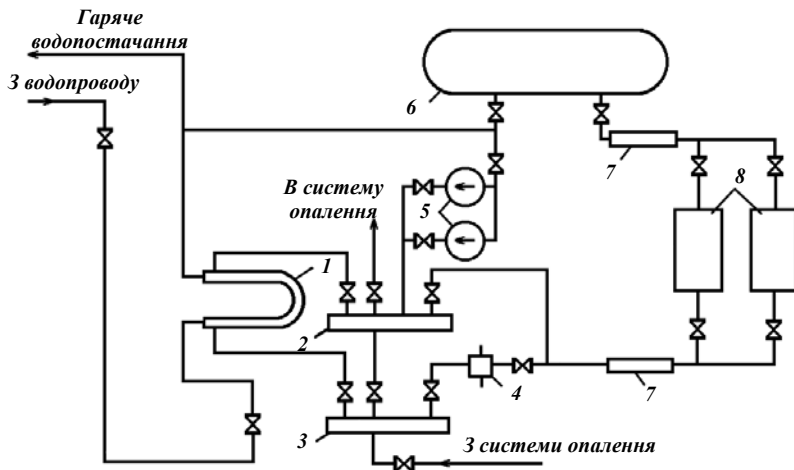
Електрокотельні оснащуються електрокотлами, водонагрівачами та іншим обладнанням, необхідним для отримання пари й гарячої води і постачання ними сільськогосподарських споживачів. Центральні електрокотельні призначені для комплексного тепlopостачання значної кількості різних споживачів, а місцеві – для постачання теплоти споживачам, що знаходяться в одному приміщенні.

Для підрахунку потреби в теплоті й при виборі котлів будують добовий графік теплових навантажень.

Електрокотельні обов'язково обладнують пристроями для акумулювання теплоти, де вона зберігається в нічні години роботи електротеплової установки.

У денний час тепlopостачання здійснюється шляхом відбирання теплоти з акумулюючих ємностей.

У рис. 36 наведено принципіальну теплотехнічну схему електрокотельні з двома водонагрівальними котлами для тепlopостачання тваринницької ферми на 200–400 корів.



**Рис. 36. Принципіальна теплотехнічна схема найпростішої електроркотельні:**

1 – швидкісний водонагрівач; 2 – колектор гарячої води; 3 – колектор холодної води; 4 – грязьовик; 5 – циркуляційні насоси; 6 – акумулююча ємність; 7 – ізоляційна вставка; 8 – електроводонагрівач

Вода, що нагрівається в котлах 8, циркулює по замкненій системі: котел 8 – теплоакумулююча ємність 6 – колектор гарячої води 2 – система опалення – колектор холодної води 3 – грязевик 4 – котел 8.

Для технологічних потреб води отримують у швидкісному підігрівнику 1, де водопровідна вода підігрівается гарячою водою, що подається від колектора 2.

Принципіальну електричну схему електроркотельні зображено у рис. 37. Живлення в силові кола подаються за допомогою рубильника QS. Циркуляційні насоси (основний і резервний) вмикаються автоматичними вимикачами QF2 і QF3, а котли – QF4, QF5 і контактором КМ. Котли вмикаються тільки у визначені години доби (погодженими з електропостачальною організацією). Час вмикання задається програмним реле часу, типу 2РВМ. Контроль температури води в акумулюючій ємності здійснює температурне реле SK1. Верхній контакт SK1 замикається при температурі води нижче норми, нижній – при досягненні максимального значення. В аварійному

режимі, коли температура води на 3–4°C перевищить верхню межу реле SK1, спрацює SK2.

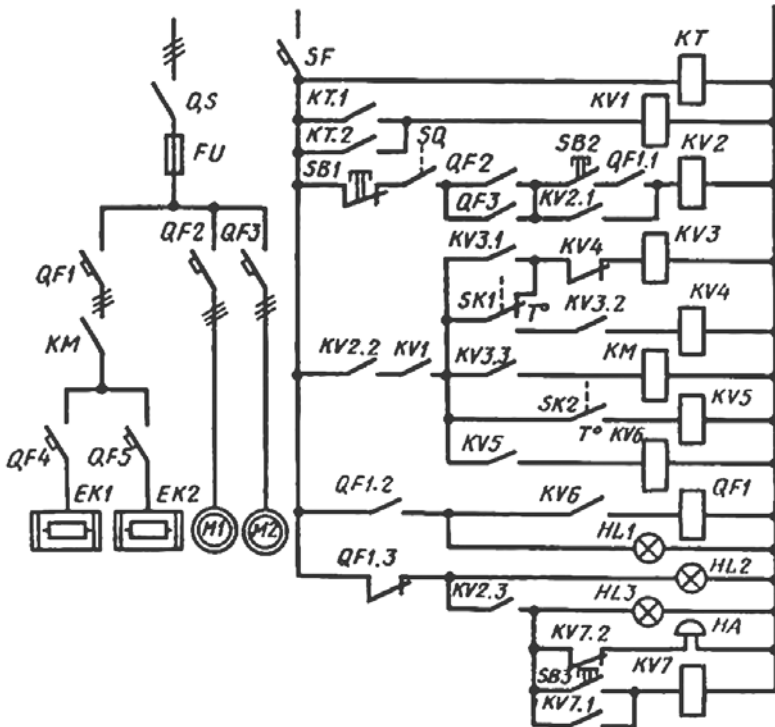


Рис. 37. Принципіальна електрична схема електрокотельні

Блокувальний контакт кінцевого вимикача SQ запобігає можливості вмикання котлів при незачинених дверях огорожі. Вмикання котлів відбувається при замиканні одного із контактів реле часу KT. Попередньо (вмиканням автоматичних вимикачів QF2 або QF3) запускають у роботу циркуляційний насос, вмикаються автоматичні вимикачі QF4, QF5 і QF1. Кнопкою SB2 подають живлення на котушку реле KV2, яке через проміжне реле KV3 вмикає контактор KM кола живлення котлів. При підвищенні температури вище мінімальної верхній контакт SK1 розмикається, але живлення реле KV3 здійснюється через власний контакт KV3.1. При досягненні максимального значення температури замикається нижній контакт

---

---

SK1, отримує живлення реле KV4, і через контакт KV3.3 проміжне реле KV3 знімає напругу з контактора КМ, який вимикає котли. В аварійному режимі, якщо схема не спрацює, замикається контакт SK2, отримує живлення реле KV5 і своїми контактами вмикає реле KV6, яке подає напругу в котушку незалежного розчіплювача автоматичного вимикача QF1. Автоматичний вимикач спрацьовує і вимикає живлення котлів. Блок-контакти QF1.3 вмикають аварійну світлову (HL2) і звукову (НА) сигналізацію. Знімають звуковий сигнал кнопкою SB3.

### ***Особливості техніки безпеки під час експлуатації електро-водонагрівачів і котлів***

◆ До обслуговування електроводонагрівачів допускаються електромонтери, які мають групу допуску з техніки безпеки не нижче третьої.

◆ Захист людей і тварин від ураження електричним струмом під час використання електроводонагрівачів побічної дії забезпечується правильним вибором апаратів захисту і обов'язковим приєднанням корпусу до нульового проводу, а також застосуванням ізолюючих вставок у трубопроводах холодної і гарячої води або пристрою захисного вимикання.

◆ Для експлуатації дозволяється використовувати тільки електрокотли і водонагрівачі заводського виробництва. Застосовувати саморобні котли і нагрівники забороняється.

◆ Котли, що працюють під тиском, до вводу в експлуатацію повинні бути зареєстровані в місцевих органах держсільнагляду.

◆ Електрокотли необхідно встановлювати в окремих приміщеннях, доступ в які дозволяється лише спеціально проінструкованим особам.

◆ Потужність працюючих електродних котлів не повинна перевищувати номінальну. Для цього питомий опір води повинен знаходитись у межах, вказаних у паспорті котла.

◆ Корпус котла напругою до 1000 В і всі металеві частини, які в результаті пошкодження ізоляції можуть бути під напругою, повинні бути приєднані до нульового проводу. Нульовий провід повторно заземлюють на ввіді в приміщення.

◆ У мережі 380 В з глухозаземленою нейтраллю, що живить тваринницькі ферми, корпуси котлів не приєднують до нульового проводу, а для гарантування безпеки обслуговування котли ізолюють від землі й огорожують металевою сіткою висотою не менше 1,7 м, яку надійно приєднують до нульового проводу.

---

---

Виводи до трубопроводів холодної і гарячої води приєднують через ізолюючі вставки.

♦ Трубопроводи теплової мережі заземлюють не менш як у двох місцях, одне з яких повинне бути в електрокотельній. Загальний опір заземлення трубопроводів (без врахування заземлення в електрокотельній) повинен бути не більше 4 Ом.

♦ У приміщеннях з підвищеною небезпекою не допускається робота електрокотлів при неповнофазних режимах. Для запобігання цьому використовують спеціальний захист або пристрій вирівнювання потенціалів, які забезпечують напругу доторкування не більше 12 В.

♦ Всі операції з обслуговування апаратів можна виконувати лише за вимкненої напруги.

♦ На кожному котлі повинна бути табличка з основними технічними даними, схемами електричного й тепломеханічного обладнання і затвердженими інструкціями з експлуатації.

### ❖ Питання для самоперевірки

1. Як поділяються електричні водонагрівачі й котли за принципом нагрівання і принципом дії?

2. Переваги й недоліки електродних водонагрівачів порівняно з елементними.

3. Назвіть типи елементних нагрівників періодичної дії, їх застосування.

4. Назвіть типи елементних нагрівників безперервної дії, їх застосування.

5. Будова й принцип дії електричного водонагрівача САОС.

6. Будова й принцип дії електричного водонагрівача ВЭП-600.

7. Робота схеми керування водонагрівачів ЕПВ-2А, ВЭП-600, САОС-400, САЗС-400.

8. Які датчики використовуються в схемах керування елементними водонагрівачами і де вони встановлюються?

9. Який режим роботи недопустимий для елементних водонагрівачів?

10. Призначення запобіжних клапанів в елементних водонагрівачах і місце їх встановлення.

11. Призначення зворотних клапанів і гумових вставок у системі водопровідної мережі, що живиться від елементних водонагрівачів.

12. Які основні правила електробезпеки під час експлуатації електричних водонагрівачів?

---

---

13. Назвіть типи електродних водонагрівачів і котлів та парових електрокотлів.

14. Будова й принцип дії електродного водонагрівача ЕПЗ-100И1.

15. Як регулюється потужність електродного водонагрівача ЕПЗ-100И1?

16. Робота схеми керування водонагрівача ЕПЗ-100И1.

17. Які застосовуються терморегулятори в схемі керування водонагрівача ЕПЗ-100И1?

18. Недолік використання запобіжників для захисту електродних водонагрівачів.

19. Причина зростання струмів у процесі нагрівання води в електродних водонагрівачах.

20. Переахуйте сільськогосподарські технологічні процеси, виконання яких пов'язане з використанням електроводонагрівачів.

21. Які переваги електроводонагрівачів перед вогневими нагрівними установками?

22. Поясніть роботу технологічної схеми принципіальної електричної схеми електрокотельні.

23. Поясніть, як в котлах типу КЭПР автоматично регулюється потужність?

### Тести

1. Перевагами електродних водонагрівачів порівняно з елементними є ...

а) безпечніші по відношенню враження електричним струмом, вода не забруднюється продуктами електрохімічних реакцій;

б) простота будови, невеликі розміри й металомісткість, не бояться “сухого ходу”, зменшується забруднення води бактеріями в результаті дії на них електричного струму;

в) зростання споживаної потужності в процесі нагрівання води, залежність потужності від жорсткості води.

2. Типи елементних водонагрівачів періодичної дії ...

а) ЕПЗ, КЕПР, КЕВЗ; б) УАП, САОС; в) ЕПВ-2А, ВЭП-600, САОС.

3. Типи елементних водонагрівачів безперервної дії ...

а) ЕПВ-2А, ВЭП-600, САОС; б) ЕПЗ, КЕПР, КЕВЗ;

в) УАП, САОС.

- 
- 
4. Потужність електродного водонагрівача регулюється ...
- а) зміною напруги живлення частоти струму;
  - б) зміною схеми вмикання ТЕНів;
  - в) повертанням у горизонтальній площині електродів на кут від 0 до 60°.
5. Потужність котла КЕПР автоматично регулюється...
- а) тиском пари, який залежить від інтенсивності розбору пари;
  - б) зміною питомого опору води;
  - в) зміною напруги живлення, зміною частоти струму.
6. Причина зростання струму в процесі нагрівання води в електродних водонагрівачах ...
- а) зменшується ступінь дисоціації і тому зростає електропровідність, а питомий опір збільшується;
  - б) прискорюється рух електронів;
  - в) збільшується ступінь дисоціації і тому зростає електропровідність, а питомий опір зменшується.
7. Призначення акумулюючої ємності в електростудельні ...
- а) для створення запасу води;
  - б) для акумулювання теплоти в нічні години роботи електротеплової установки і відбирання теплоти з акумулюючих ємностей в денний час;
  - в) для стабілізації тиску і температури в тепломережі.
8. Для підвищення питомого опору води додають...
- а) сіль; б) дистильовану воду; в) кальциновану соду.
9. Призначення струмового реле в схемі керування електродним водонагрівником ЕПЗ-100 ...
- а) для захисту від роботи при несиметричному живленні;
  - б) для захисту від перевантажень;
  - в) для захисту від коротких замикань.
10. Чому електричні водонагрівачі під'єднуються до трубопроводів холодної і гарячої води через ізолюючі вставки?
- а) для захисту від роботи при несиметричному живленні;
  - б) для захисту людей і тварин від ураження електричним струмом;
  - в) для вирівнювання електричного потенціалу.
11. Автоматичне керування елементними водонагрівачами здійснюється у функції ...
- а) тиску; б) температури; в) часу.

---

---

12. Автоматичне керування електродним котлом КЭПР здійснюється у функції ...

а) часу; б) тиску; в) температури.

13. Який спосіб нагрівання використовується в електродному водонагрівачеві?

а) діелектричний; б) прямий нагрів опором; в) побічний нагрів опором.

14. Який із перерахованих способів найчастіше використовується для регулювання потужності електродних водонагрівачів?

а) зміна відстані між електродами; б) зміна питомого опору води; в) екранування електродів ізоляційними перегородками.

15. У чому полягає небезпечність роботи електродного водонагрівача на двох фазах?

а) виникнення короткого замикання; б) вибух бака; в) виникнення небезпечного потенціалу напруги на корпусі.

16. Які причини виходу з ладу елементних водонагрівачів при їх вмиканні в мережу без води;

а) збільшується споживана потужність; б) збільшується тепловіддача тенів; в) зменшується тепловіддача тенів.

17. Який із перерахованих водонагрівачів не “боїться” сухого ходу?

а) ВЭП-600; б) САОС-400/90 ; в) ЕПЗ-100.

18. Який із перерахованих водонагрівачів призначений для підігріву води під час автонапування тварин?

а) ВЭП-600; б) САОС-400/90 ; в) ЕПЗ-100.

19. Чим небезпечне вмикання водонагрівача ЕПЗ-100 при непрацюючому циркуляційному насосі в ручному режимі роботи;

а) недопустиме збільшення споживаної потужності; б) пробій між електродами; в) вибух бака.

### Виконайте

#### Лабораторне заняття

Дослідження роботи і визначення основних параметрів елементних електричних водонагрівачів.

Дослідження і перевіірочний розрахунок електродного водонагрівача.

#### Практичне заняття

Розрахунок параметрів і вибір електричних елементних водонагрівачів.

---

---

#### **1.4. ЕЛЕКТРОНАГРІВНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ І РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ**

Значення і економічна ефективність підтримання мікроклімату сільськогосподарських об'єктів. Параметри мікроклімату. Системи й види електроопалення виробничих приміщень, принципи виконання, вибір.

Електротермічне обладнання систем загального електроопалення. Електрокалориферні установки, припливно-витяжні установки, кондиціонери, тепловентилятори, теплоакumuлюючі установки. Будова, застосування, технічні характеристики, методика розрахунку потужності й вибір.

Електротермічне обладнання систем місцевого електрообігрівання молодяку тварин і птиці. Установки променевого обігрівання. Електрообігрівальна підлога, її будова, методика визначення основних параметрів, схеми керування. Комбіновані системи мікроклімату.

Електричні інкубатори. Параметри мікроклімату інкубатора. Електрообладнання і схеми керування.

Електротермічне обладнання систем мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту. Види й способи електрообігрівання ґрунту, повітря. Методика визначення основних параметрів нагрівальних елементів ґрунту і повітря.

Вимоги техніки безпеки під час експлуатації парників і теплиць з електрообігріванням.



**Прочитайте**

Л–2, с. 150–247; Л–4, с. 314–347.



**Теоретичні відомості**

Мікроклімат – це основні фізичні та хімічні фактори повітряного середовища, які комплексно впливають на живі об'єкти, а саме: температура, вологість, хімічний склад повітря, швидкість його руху, запиленість, іонізація, освітлення та інші. Найважливішу роль у створенні оптимального мікроклімату відіграють опалення й вентиляція приміщень. Основним параметром повітряного середовища в приміщенні є температура. При надмірному зниженні температури знижується продуктивність тварин і птиці, частина кормів витрачається на самозігрівання. Надмірне підвищення температури

---

---

призводить до втрати апетиту, зниження продуктивності тварин і птиці. Наприклад, при підвищенні температури в корівнику до  $+35^{\circ}\text{C}$  надої зменшуються майже на 50%. При зниженні температури до  $-5^{\circ}\text{C}$  споживання кормів коровами зростає в 1,5–2 рази. При зниженні температури в свинарниках до  $5^{\circ}\text{C}$  зменшуються середньодобові прирости на 40–60 г, а витрати кормів збільшуються в 1,5–2 рази. При зниженні температури в пташниках для курей несучок нижче за  $+7,5^{\circ}\text{C}$  їх несучість знижується на 10–15% і значно зростає потреба в кормах.

Галузеві норми технологічного проектування регламентують основні параметри мікроклімату: температуру, відносну вологість, швидкість повітря і концентрацію шкідливих газів. Нормативні параметри повітря (табл. 15–16) повинні бути забезпечені в зоні розташування тварин і птахів (для свиней – простір заввишки до 1 м над рівнем підлоги; для великої рогатої худоби – заввишки до 1,5 м; для птахів – заввишки 0,8 м над рівнем підлоги при підлоговому утриманні, 0,5 – над рівнем гнізда, а при клітковому утриманні – простір на всю висоту кліткових батарей).

Вміст вуглекислого газу у повітрі свинарників не повинен перевищувати 0,2% (за обсягом). Під час експлуатації приміщень для утримання тварин гранична концентрація шкідливих газів у повітрі не повинна перевищувати: аміаку – 0,02 мг/л, сірководню – 0,01 мг/л.

Концентрація шкідливих газів у приміщеннях для великої рогатої худоби не регламентується.

Гранично допустимі концентрації шкідливих газів у повітрі пташників складають: вуглекислого газу – 0,25%, аміаку – 15 мг/м<sup>3</sup>, сірководню – 5 мг/м<sup>3</sup>.

У теплий період року температура повітря у тваринницьких і птахівничих приміщеннях не повинна перевищувати більш ніж на  $5^{\circ}\text{C}$  розрахункову зовнішню температуру для проектування вентиляції, але при цьому повинна бути не більше  $30^{\circ}\text{C}$  у свинарниках,  $26\text{--}28^{\circ}\text{C}$  у приміщеннях для дорослих птахів і  $33^{\circ}\text{C}$  – для курчат. Для зменшення температур повітря нижче граничних допускається застосування різних способів охолодження повітря.

Наведені параметри мікроклімату є оптимальними, тобто такими, за яких досягається висока продуктивність тварин і птахів за мінімальних витрат кормів, часу і матеріальних засобів на вирощування і догляд.

Оптимальні параметри мікроклімату в тваринницьких приміщеннях забезпечуються раціональним вибором і правильною експлуатацією опалювальних і вентиляційних установок.

У сільськогосподарських приміщеннях використовують системи загального та місцевого обігрівання. Системи загального обігрівання підтримують температуру у всьому приміщенні на заданому рівні, а системи місцевого обігрівання створюють локальні зони підвищених температур у певних місцях.

Таблиця 13

**Розрахункові метеорологічні умови в свинарниках**

Назва будівель і приміщень	Температура повітря в холодний і перехідний періоди, °С			Відносна вологість повітря, %		Швидкість повітря у період, м/с,	
	розрахункова	максимальна	мінімальна	максимальна	мінімальна	холодний	теплый
Приміщення для холостих і легкосупоросних маток і хряків-плідників	16	19	13	75	40	0,3	0,9
Приміщення для відлучених поросят і ремонтного молодняку	20	22	18	70	40	0,3	0,6
Свинарник-відгодівельник для утримання свиней	18	20	14	75	40	0,3	1,0
Свинарник-маточник для важкосупоросних (за 7–10 днів до опоросу) і підсисних маток	20	22	18	70	40	0,15	0,4

Таблиця 14

**Розрахункові метеорологічні умови в приміщеннях для великої рогатої худоби**

Назва будівель і споруд	Групи тварин	Температура повітря в холодний і перехідний періоди, °С	Відносна вологість повітря, %		Швидкість повітря, м/с	
			максимальна	мінімальна	оптимальна	максимальна
1	2	3	4	5	6	7
Корівники, будівлі для молодняку і для худоби на відгодівлі	Корови, бики-плідники, молодняк старший року, худоба на відгодівлі	10	75	40	0,5	1,0
Корівники й будівлі для молодняку молочних порід у районах з розрахунковою температурою 25 <sup>0</sup> С і менше; приміщення для отелення м'ясних корів	Корови і молодняк різного віку молочних порід, м'ясні корови перед і після отелення (на глибокій підстиці)	3	85	40	0,5	1,0
Будівлі для молодняку	Молодняк віком від 4–6 до 12 місяців	12	75	40	0,5	1,0
Телятники	Телята віком від 10–12 днів до 4–6 місяців	15	75	40	0,3	0,5
Родильне відділення	Корови	15	75	40	0,3	0,5
	телята до 20 днів	20	75	40	0,3	0,5

Таблиця 15

## Розрахункові метеорологічні умови в приміщеннях для птахів

Вид і вікові групи птахів	Розрахункова температура, °С, у холодний період року при утриманні птахів			Оптимальна відносна вологість повітря, %
	на підлозі	в місцях локалізованого підігрівання	кліткове	
1	2	3	4	5
Дорослі птахи:				
кури	16–18	-	16–18	60–70
індики	16	-	-	60–70
качки	14	-	-	70–80
гуси	14	-	-	65–70
Молодняк курей:				
ремонтний віком, тижнів:				
від 1 до 4	28–24	35–22	33–24	60–70
від 5 до 11	18–16	-	18	60–70
від 12 до 26	16	-	16	60–70
курчата-бройлери віком, тижнів:				
1	28–26	35–20	33–28	65–70
від 2 до 3	22	29–26	25–24	65–70
від 4 до 6	20	-	20	65–70
від 7 до 8	18	-	18	60–70
Молодняк індиків віком, тижнів				
1	30–28	37–30	35–32	60–70
від 2 до 3	28–22	29–25	31–27	60–70
від 4 до 5	21–19	25–21	26–22	60–70
від 6 до 17	20–17	-	21	60–70
від 18 до 30	16	-	18	60–70
Молодняк качок віком, тижнів:				
1	26–22	35–26	31–24	65–75
від 2 до 4	20	25–22	24–20	65–75
від 5 до 8	16	-	18	65–75
від 9 до 26	14	-	14	65–75

1	2	3	4	5
Молодняк гусей віком, тижнів: від 1 до 4	26–22	30	30–22	65–75
від 4 до 9	20–18	-	20–18	65–75
від 10 до 39	14	-	14	70–80

Таблиця 16

### Рекомендовані швидкості повітря в приміщеннях для птахів

Приміщення	Швидкість руху повітря в приміщенні, м/с					
	в холодний період			в теплий період		
	міні- мальна	опти- мальна	макси- мальна	мінімаль- на	опти - мальна	макси- мальна
Для утримання курей, індиків	0,2	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0
Для утримання качок, гусей	0,2	0,5	0,8	0,3	0,8	1,2
Для утримання молодняку птахів	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6

### Електроопалювальні установки

Для електричного опалення приміщень використовують електродетельні, тепловентилятори, електрокалориферні установки, електроконвектори, припливно-витяжні установки, кондиціонери повітря тощо.

#### Тепловентилятори

Тепловентилятори серії ТВ (ТУ 105-3-729-81) призначені для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях тваринницьких ферм і комплексів (табл. 17).

Таблиця 17

### Технічна характеристика тепловентиляторів в серії ТВ

Показники	ТВ-6	ТВ-9	ТВ-12	ТВ-18	ТВ-24	ТВ-36
1	2	3	4	5	6	7
Подача повітря, м <sup>3</sup> /год×10 <sup>3</sup>	3/6	4,5/9	6/12	9/18	12/24	18/36

1	2	3	4	5	6	7
Теплопродуктивність, кДж/год $\times 10^4$	25	33,5	46	67	75	96
Повний тиск повітря, який здійснює тепловентилятор, Па	392	392	392	392	392	392
Температура теплоносія (води), $^{\circ}\text{C}$ :						
• на вході в калорифер	150	150	150	150	150	150
• на виході з калорифера	70	70	70	70	70	70
Робочий тиск теплоносія, кПа	588	588	588	588	588	588
Номинальна потужність електродвигуна, кВт	1,4/2,4	2,3/3,7	3,2/5,2	4,2/7,1	6,0/9,0	9,0/13
Питома витрата енергії, кВт-год/м <sup>3</sup> $\times 10^4$	4,6	5,5	5,4	4,8	4,5	4,2
Маса тепловентилятора, кг	250	315	360	445	665	695

Таблиця 18

### Типи ящиків керування тепловентиляторами серії ТВ

Тепловентилятори	Ящики керування	Присднувальна потужність, кВт
ТВ-6	ЯОА 9203-307 4УХЛЗ	4,4
ТВ-9	ЯОА 9203-327 4УХЛЗ	7,2
ТВ-12	ЯОА 9203-347 4УХЛЗ	10,6
ТВ-18	ЯОА 9203-357 4УХЛЗ	14,2
ТВ-24	ЯОА 9203-367 4УХЛЗ	18,0
ТВ-36	ЯОА 9203-377 4УХЛЗ	26,0

Тепловентилятори серії ТВ поставляються з комплектним пристроєм керування типу “Приток 1–УХЛЗ” (на два однотипових тепловентиляторів – один пристрій керування).

Для автоматичного підтримання температури й вологості повітря тваринницьких приміщень, зміни тепло- і повітро-продуктивності тепловентиляторів серії ТВ застосовують пристрої керування типу “Приток 1–УХЛЗ” (табл. 18). Межі регулювання температури повітря від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . Точність регулювання температури в приміщенні (в зоні розташування датчиків)  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$

---

---

регулюється шляхом переключення в двошвидкісному електродвигуні привода вентилятора, який подає підігріте калорифером КСК-4 повітря, а також шляхом автоматичної зміни кута повертання виконавчого механізму привода жалюзі тепловентилятора. Межі регулювання відносної вологості повітря від 60 до 90% здійснюються таким же чином, як і температури. Панель датчиків складається з термоперетворювачів ТСМ (градування 23) і первинного перетворювача вологості ЭВЧ.

Ящик керування забезпечує сумісну або роздільну роботу двох тепловентиляторів у ручному та автоматичному режимах із теплоносієм (“Зима”) або без нього (“Лето”).

### ***Електрокалориферні установки***

Електрокалориферна установка складається з вентилятора, електрокалорифера та шафи керування. Залежно від конструктивних особливостей вентиляційної системи і довжини повітропроводів у таких установках використовують вентилятори осьового або відцентрового типу.

Електрокалорифер – це блок нагрівних елементів у металевому корпусі, температура яких не повинна перевищувати 180°C, при вищій температурі повітря забруднюється шкідливим чадним газом.

В електрокалориферних установках використовують трубчасті нагрівні елементи та спіралі з ніхромового або фехралевого дроту.

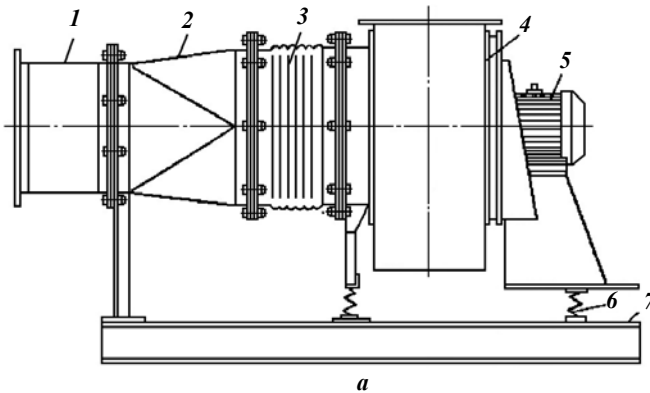
В електрокалориферах вентиляційно-опалювальних систем широко застосовуються прямі ТЕНи з намотаною на ребро алюмінієвою стрічкою, що збільшує поверхню тепловіддачі та зменшує габарити і металомісткість установки.

Відкриті спіральні нагрівники встановлені на ізоляційних керамічних деталях, що утруднює їх транспортування і зберігання через низьку механічну міцність.

Для рівномірності обтікання повітрям нагрівних елементів електрокалорифер установлюють з боку всмоктування вентилятора. При непрацюючому вентиляторі зменшується тепловіддача, що призводить до перегрівання нагрівних елементів. Тому в електричній схемі керування обов’язково повинно бути блокування, яке виключає можливість вмикання калорифера при непрацюючому вентиляторі. Воно здійснюється за допомогою замикаючих контактів апарата керування електродвигуном вентилятора або реле потоку повітря.

Уніфіковані електрокалориферні агрегати серії СФОЦ використовують у вентиляційно-опалювальних системах сільсько-господарських приміщень (табл. 19).

До складу установки входять уніфікований калорифер 1 серії СФО, відцентровий вентилятор 4 з електродвигуном 5 та шафа керування (рис. 38).



**Рис. 38. Конструкція електрокалориферної установки СФОЦ:**  
1 – електрокалорифер; 2 – конфузор; 3 – м’яка вставка; 4 – вентилятор;  
5 – електродвигун; 6 – віброізолятор; 7 – рама

Електрокалорифер і вентилятор встановлені на зварній металевій рамі 7.

Для зменшення вібрацій передбачені віброізолятори 6 у вигляді пружин. М’яка вставка 3 між калорифером і вентилятором значно зменшує передавання вібрацій від вентилятора до калорифера.

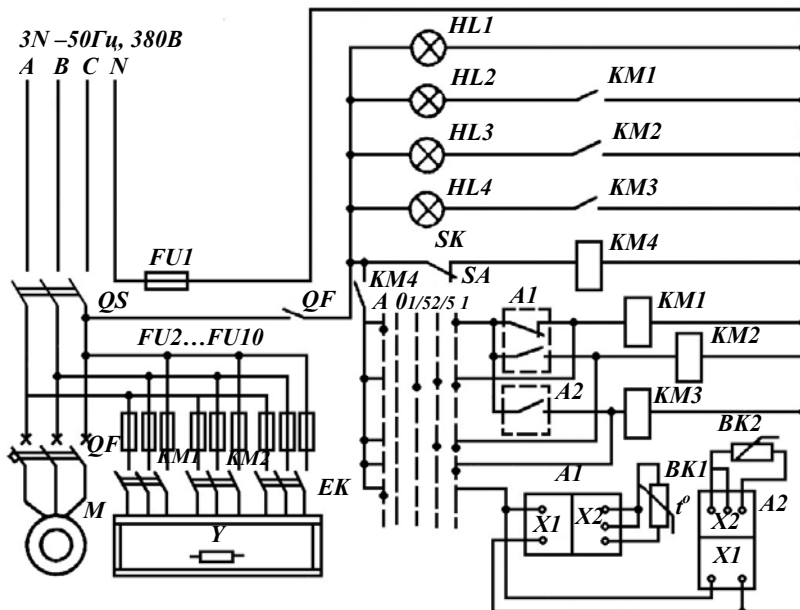
Агрегати СФОЦ-16/0,5-І1, СФОЦ-25/0,5-І1 призначені для обігрівання приміщень, у яких довжина повітропроводів не перевищує 20 м, а СФОЦ-40/0,5-І1, СФОЦ-60/0,5-І1, СФОЦ-100/0,5-І1 – з довжиною повітропроводів не більше 40 м.

Умове позначення електрокалорифера типу СФОЦ розшифровується так:

$$\begin{array}{cccccccc} \underline{С} & \underline{Ф} & \underline{О} & \underline{Ц} & - & \underline{X} / \underline{0,5} & - & \underline{І1} & \underline{XXXX} \\ 1 & 2 & 3 & 4 & & 5 & 6 & 7 & 8 \end{array}$$

1 – нагрів опором; 2 – електрокалорифер; 3 – робоче середовище – окислювальна атмосфера; 4 – центробіжний вентилятор; 5 – закруглена встановлена потужність, кВт; 6 – температура нагріву

повітря,  $^{\circ}\text{C}\cdot 10^{-2}$ ; 7 – номер виконання; 8 – кліматичне виконання і категорія розміщення.



**Рис. 39. Принципіальна електрична схема електрокалориферної установки СФОЦ-25/0,5-И1**

Нагрівні елементи калорифера розділені на три однакові секції, які вмикаються незалежно одна від одної електромагнітними пускачами КМ1–КМ3. Таким чином, потужність калорифера регулюється 100, 67 або 33% від номінальної вмиканням і вимиканням секцій.

У шафі керування встановлені пакетний вимикач QS, запобіжники FU1–FU10 для захисту секцій калорифера і кола керування, чотири електромагнітні пускачі КМ1–КМ4 для вмикання секцій нагрівників, сигнальні лампи HL1–HL4, перемикач SA для вибору режиму роботи (ручний чи автоматичний) і для вибору кількості ввімкнутих секцій при ручному керуванні та автоматичний вимикач QF2 керування двигуном вентилятора.

Передбачене блокування, яке вимикає всі секції калорифера при зупинці електродвигуна вентилятора і не дає можливості їх ввімкнути

при вимкненому електродвигуні. Блокування здійснюється замикаючим допоміжним контактом автоматичного вимикача QF двигуна вентилятора.

Схемою передбачено ручне і автоматичне керування калорифером. При ручному керуванні перемикача SA вмикають необхідну кількість секцій калорифера.

Для автоматичної роботи перемикач SA встановлюють у положення "А".

У цьому режимі третя секція калорифера ввімкнена постійно, а дві інші – вмикаються і вимикаються автоматично терморегуляторами А1 і А2 (типу ТЭЗ-ПЗ і ТЭ4-ПЗ), до терморегуляторів під'єднані датчики температури ВК1 і ВК2, які контролюють температуру опалюваного приміщення або температуру повітря на виході з калорифера. Температуру спрацювання терморегулятора А1 встановлюють на 2–3°C вище температури спрацювання терморегулятора А2.

Для захисту нагрівників від перегрівання в камері калорифера встановлено термомагнітне реле SK (типу ТРМ 11), яке при досягненні гранично допустимої температури розмикає коло котушки магнітного пускача КМ4, а останній вимикає всі три секції калорифера.

Сигнальна лампа HL1 контролює наявність напруги в мережі, HL2–HL4 – роботу секцій калорифера.

Спеціальне вологохімічностійке покриття агрегатів СФОЦ і комплектування їх електродвигунами сільськогосподарського виконання дозволяє розміщувати їх як у спеціальній прибудові, так і безпосередньо в тваринницьких приміщеннях з хімічно агресивним середовищем.

Таблиця 19

### Технічні характеристики електрокалориферів СФОЦ-Х/0,5-И1

Показники	СФОЦ-5/0,5-И1	СФОЦ-10/0,5-И1	СФОЦ-16/0,5-И1	СФОЦ-25/0,5-И1	СФОЦ-40/0,5-И1	СФОЦ-60/0,5-И1	СФОЦ-100/0,5-И1
1	2	3	4	5	6	7	8
Встановлена потужність, кВт: • загальна	4,92	10,0	16,1	23,6	47,2	69,7	97,5

1	2	3	4	5	6	7	8
• нагрівників	4,8	9,6	15,0	22,5	45,0	67,5	90,0
• електродвигуна	0,12	0,4	1,1	1,1	2,2	2,2	7,5
Кількість секцій нагрівника	1	2	2	3	3	3	3
Потужність секцій, кВт	4,8	4,8	7,5	7,5	15	22,5	30
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	700	800	1900	2500	3500	4000	5000
Загальний аеродинамічний опір, Па	180	350	500	500	900	1000	1000
Різниця температур повітря на вході і виході, °С	25	35	30	35	50	65	70
Температура нагрітого повітря не більше, °С,	50	50	50	50	50	50	50
Номер вентилятора Ц4-70	2,5	3,2	4	4	5	5	6,3

**Ящики керування електрокалориферами Я9306** (ТУ 16.656.066-85) застосовують для дистанційного керування і захисту електрокалориферів виконання І1, які використовуються для підігріву і подачі припливного повітря в системах вентиляції сільськогосподарських виробничих приміщень.

Ящики керування забезпечують ручне і автоматичне керування з використанням терморегуляторів ТЭЗПЗ і ТЭ4ПЗ. Регулювання теплопродуктивності здійснюється переключенням кількості секцій електронагрівників. Номінальний струм ящиків керування (на секцію) 13, 25, 43 і 57 А. Маса не більше 60 кг.

**Електрокалорифери СФОЦ—Х/0,5ІЗ** (ТУ 16.531.687-80) призначені для подачі і підігріву повітря в системах мікроклімату тваринницьких приміщень (табл. 20). Залежно від температурно-вологісного режиму повітря в приміщенні автоматично змінюється теплопродуктивність електрокалориферів. Електрокалорифери мають тиристорний регулятор потужності.

Температура повітря на виході з калорифера не перевищує 50°С. Охолодження тиристорного блоку здійснюється припливним повітрям.

Електрокалорифери СФОЦ виконання ІЗ, порівняно з аналогічними калориферами виконання І1, дають можливість суттєво економити електроенергію за рахунок більш досконалого регулювання температури.

Таблиця 20

## Технічні характеристики електрокалориферів СФОЦ-Х/0,5-ІЗ

Показники		СФОЦ-25/0,5-ІЗ	СФОЦ-40/0,5-ІЗ	СФОЦ-63/0,5-ІЗ	СФОЦ-100/0,5-ІЗ	СФОЦ-160/0,5-ІЗ
Встановлена потужність, кВт:	17,1	24,6	52,1	76	98,5	175,5
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год:						
• мінімальна	1500	1500	4000	6000	6000	10000
• максимальна	3000	3000	8000	12000	12000	20000
Загальний аеродинамічний опір, Па	550	600	850	900	900	900
Різниця температур повітря на вході і виході, °С:						
• при мінімальній продуктивності	40	60	40	40	60	60
• при максимальній продуктивності	20	30	20	20	30	30

Комплектний пристрій керування електрокалориферами СФОЦ-Х/0,5-ІЗ “Електротерм – ХХТВУХЛЗ.1” (ТУ16.536.710-82) складається з трьох ящиків керування (Я4301, Я9201, Я5701) (табл. 21).

Таблиця 21

## Комплектація пристрою керування “Електротерм – ХХТВУХЛЗ.1” ящиками

Тип пристрою	Тип ящиків керування	Потужність регулювання, кВт
1	2	3
Електротерм-16 ТВХУЛЗ.1	Я4301-347ВУХЛЗ.1 Я9201104 ВУХЛЗ.1 Я5701-3074 ВУХЛЗ.1	16

1	2	3
Електротерм-25 ТВХУЛЗ.1	Я4301-367ВУХЛЗ.1 Я9201104 ВУХЛЗ.1 Я5701-3074 ВУХЛЗ.1	25
Електротерм-40 ТВХУЛЗ.1	Я4301-397ВУХЛЗ.1 Я9201104 ВУХЛЗ.1 Я5701-3274 ВУХЛЗ.1	46,5
Електротерм-60 ТВХУЛЗ.1	Я4301-407ВУХЛЗ.1 Я9201104 ВУХЛЗ.1 Я5701-3474 ВУХЛЗ.1	69
Електротерм-100 ТВХУЛЗ.1	Я4301-427ВУХЛЗ.1 Я9201104 ВУХЛЗ.1 Я5701-3474 ВУХЛЗ.1	94

Ящик керування Я4301 складається з автоматичного вимикача QF, панелі керування, силової панелі керування, виконаної на гібридних модулях діодотронного тиристора, сигнальної лампи, запобіжника FU, захисних кіл R1C1–R6C6 електрокалорифера і електродвигуна вентилятора. Автоматичний вимикач служить для оперативного вмикання і вимикання установки в цілому, а також для вимикання при аварійній ситуації. Плата керування призначена для імпульсно-фазового керування силовим блоком (тиристорним ключем), вимикання автоматичного вимикача за сигналами датчиків, встановлених на силовій панелі, за аварійних режимів.

До складу ящика керування Я9201 входять датчики температури і базового сигналу, забезпечуючи мінімальну теплопродуктивність електрокалорифера.

В ящику передбачена світлова сигналізація про режими роботи установки і температури повітря в опалюваному приміщенні: “Норма”, “Жарко”, “Холодно”.

Вхідний сигнал формується одним термоперетворювачем R41 або чотирма термоперетворювачами R42–R45, усереднюючими температуру в опалюваному приміщенні.

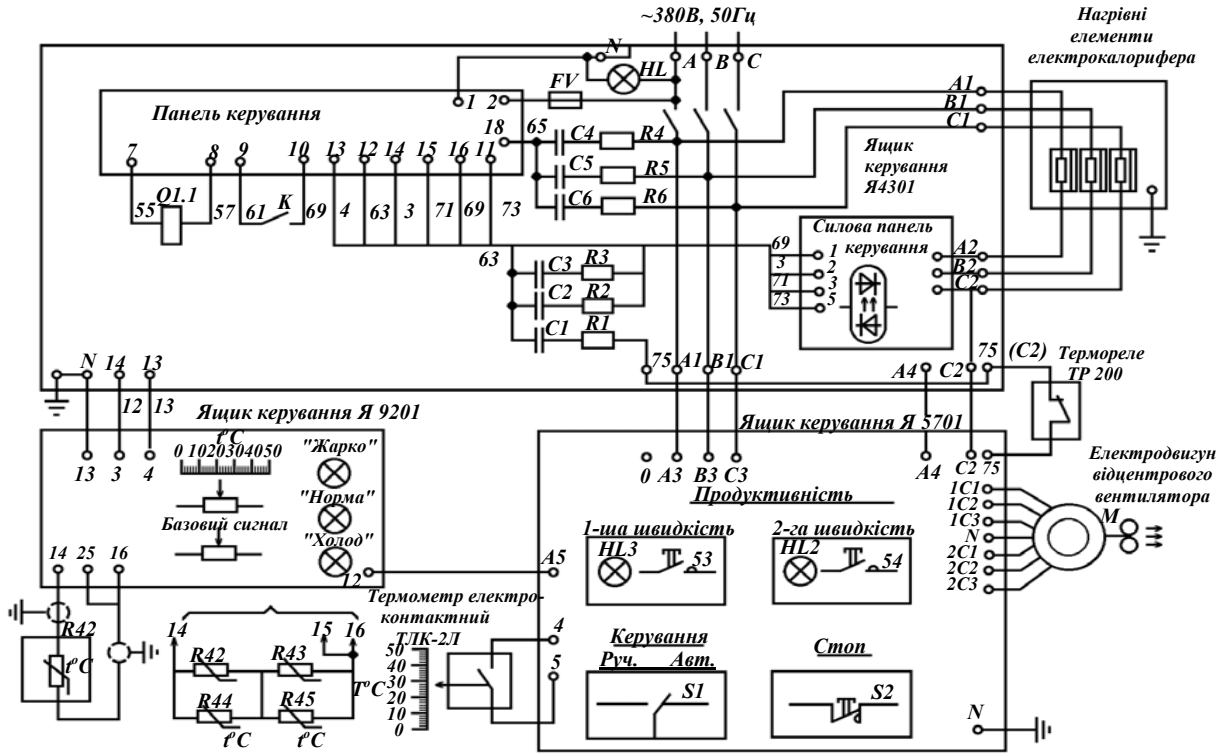


Рис. 40. Електрична схема з'єднань калориферної установки СФОЦ-ХХ/05-ІЗ

Ящик керування Я5701 призначений для ступінчатої зміни частоти обертання електродвигуна М привода відцентрового вентилятора. Режим роботи – ручний або автоматичний – встановлюють перемикачем S1. У ручному режимі за допомогою кнопок S3, S4 і магнітних пускатів вибирають необхідну частоту обертання відцентрового вентилятора. В автоматичному режимі частота обертання і подача вентилятора регулюється залежно від температури зовнішнього повітря, контрольованого термореле TP200.

Потужність електрокалориферної установки наближено визначається за виразом

$$P = \frac{[(g_o V + C\rho L)(\theta_o - \theta_s) - Q_T N - Q_M]}{3600\eta_k}, \quad (1.4.1)$$

де  $g_o$  – теплова характеристика приміщення (для утеплених приміщень  $g_o=2,1-2,9$ , для не утеплених,  $g_o=2,9-5,1$  кДж/(м<sup>3</sup>·год·°C));

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$C$  – об'ємна теплоємність повітря,  $C=1,0$  кДж/(кг·°C);

$\rho$  – розрахункова густина повітря,  $\rho=1,3$  кг/м<sup>3</sup>;

$\theta_o$  – розрахункова температура всередині приміщення, °C;

$\theta_s$  – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C;

$Q_T$  – тепловиділення однієї тварини, кДж/год;

$N$  – кількість тварин, голів;

$Q_M$  – сумарна потужність місцевих нагрівальних установок, якщо такі передбачені, кДж/год;

$\eta_k$  – к.к.д. нагрівальної установки,  $\eta_k=0,95$ ;

$L$  – розрахунковий мінімальний повітрообмін, м<sup>3</sup>/год.

Розрахунковий мінімальний повітрообмін визначається за виразом

$$L = NmL_1,$$

де  $m$  – середня маса тварини, кг;

$L_1$  – мінімальний повітрообмін на 1 кг маси (береться з табл. 22).

Таблиця 22

### Норми вентиляційного обміну повітря

Вид тварин	Мінімальний обмін повітря на 1 кг маси тварин, м <sup>3</sup> /год		
	взимку	у перехідні періоди	влітку
1	2	3	4
Корови і молодняк великої рогатої худоби	0,17	0,25	0,4

1	2	3	4
Телята	0,20	0,25	0,4
Свиноматки, кнурі	0,15	0,45	0,60
Свині на відгодівлі	0,20	0,45	0,65
Кури (утримання на підлозі)	1,4	4,0	7,0
Кури ( кліткове утримання)	1,1	3,6	5,5
Бройлери	1,1	3,0	6,0

#### Приклад 1.4.1

Вибрати електрокалориферну установку для обігріву свинарника-відгодівельника на 1500 голів, середня маса кожної голови – 100 кг, приміщення утеплене, об'єм приміщення за зовнішнім обміром – 5000 м<sup>3</sup>, розрахункова температура всередині приміщення – 18°C, розрахункова температура зовнішнього повітря –20°C.

#### Розв'язання

Визначаємо розрахунковий повітрообмін для зимового періоду

$$L = 1500 \times 100 \times 0,2 = 30000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначаємо потужність електрокалориферної установки

$$P = \frac{[(2,5 \times 5000 + 1 \times 1,3 \times 30000)(18 - (-20)) - 955 \times 1500]}{3600 \times 0,92} = 158,4 \text{ кВт.}$$

Для обігріву свинарника вибираємо дві електрокалориферні установки типу СФОЦ-100/0,5–ІЗ з потужністю нагрівників  $P_{HE} = 90 \text{ кВт.}$

Забезпечення необхідного мікроклімату є одним з найбільш енергоємних технологічних процесів. На нього припадає 40–70% річного енергоспоживання. В умовах дефіциту енергоресурсів необхідний пошук енергозберігаючих технологій, які дозволили б ефективно використовувати теплову і електричну енергію для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища і за рахунок цього значно знизити енергоспоживання опалювально-вентиляційного обладнання.

Основним способом скорочення енергоспоживання систем мікроклімату є зменшення енерговитрат на вентиляцію, у першу чергу, на нагрівання припливного повітря. Це пояснюється тим, що в загальній структурі тепловитрат будівель у холодний період року для цього витрачається до 60% теплоти.

Найбільш ефективним технічним рішенням проблеми зменшення енерговитрат на вентиляцію є утилізація теплоти, що видаляється із тваринницького приміщення.

---

---

У системах опалення і вентиляції сільськогосподарських виробничих будівель відпрацьоване вентиляційне повітря викидається в атмосферу з температурою 10–30<sup>0</sup>С. У зв'язку з цим непродуктивно витрачається значна кількість теплоти. Утилізація і повторне використання теплової енергії вентиляційних викидів дозволяє залежно від призначення будівель і кліматичних умов скоротити від 50 до 70% витрат технологічної теплоти на забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов утримання тварин і птиці.

Комбіновані комплекси припливно-витяжних установок ПВУ-4М-6 та ПВУ-6М призначені для вентиляції та опалення тваринницьких приміщень.

До складу комплексу входять по шість припливно-витяжних установок, в яких суміщені подача свіжого і видалення відпрацьованого повітря. Переміщення повітря забезпечується двоконтурним робочим колесом 2 вентилятора (рис. 41) з двома рядами робочих лопатей. Внутрішні лопаті переміщують відпрацьоване повітря по внутрішньому повітропроводу. Зовнішні лопаті переміщують свіже повітря по кільцевому каналу 1 між корпусом 5 та внутрішнім повітропроводом 3.

Змішувальні заслінки 6 забезпечують рециркуляцію повітря (частина витяжного повітря повертається знову в приміщення).

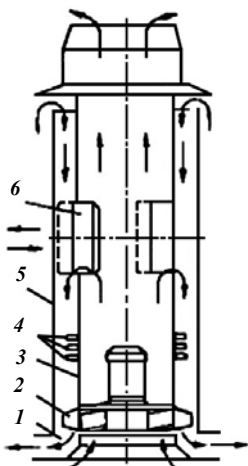
Для підігріву повітря в холодну пору року установки мають нагрівні елементи 4.

Через стінки внутрішнього повітропроводу відбувається теплообмін між потоками відпрацьованого і свіжого повітря, завдяки чому 5–7% теплоти внутрішнього повітря передається припливному повітрю, що забезпечує деяку економію енергоресурсів.

Система крування установками ПВУ забезпечує закриття регулюючих заслінок та регулювання потужності нагрівних елементів установки за  $\pi$ -законом при зниженні температури в приміщенні нижче заданого значення і відкривання заслінок при підвищенні температури вище заданого значення.

Схему керування установкою ПВУ-4М наведено у рис. 41.

Система керування забезпечує закриття регулюючих заслінок і регулювання потужності нагрівних елементів установкою за  $\Pi$ -законом при зниженні температури повітря в приміщенні нижче заданого значення і відкривання регулюючих заслінок при підвищенні температури вище заданого значення.



**Рис. 41. Функціональна схема припливно-витяжної установки ПВУ-М:**

- 1 – кільцевий канал; 2 – робоче колесо вентилятора; 3 – внутрішній повітропровід; 4 – електронагрівачі; 5 – корпус; 6 – заслінки

Електродвигуни МІ–МЗ вентиляторів регулюються кнопковими постами SB1–SB6. Нагрівні елементи можуть працювати тільки після вмикання вентиляторів, для чого автоматичні вимикачі QF1–QF3 обладнані незалежними розчіплювачами. Ручний або автоматичний режими роботи нагрівних елементів встановлюють перемикачем QS.

В автоматичному режимі напруга живлення на нагрівні елементи подається через блок силових тиристорів VS1–VS4. Регулюючі заслінки приводяться в рух виконавчим механізмом М4.

Керування регулюючими заслінками і потужністю нагрівних елементів відбувається за командами регулятора температури А1. На вхід регулятора температури А1 подається сигнал від датчика температури RK, який розміщується в зоні життєдіяльності тварин. Сигнал термперетворювача порівнюється з сигналом датчика температури, при цьому формується сигнал непогодження. На виході регулятор формує імпульси, які чергуються з паузами відповідно до величини сигналу непогодження, які через реле K1 і K2 керують роботою виконавчого механізму М4. Виконавчий механізм відкриває або закриває регулюючі заслінки, змінюючи частку зворотної теплоти, що подається у приміщення. Якщо при досягненні регулюючими заслінками положення “Норма рециркуляції” (спрацьовує кінцевий вимикач SQ2) температура у приміщенні залишається нижчою від заданої, то реле K3, відповідно до команд регулятора А1, починає відкривати тиристори VS1–VS4 і через них вмикати нагрівні елементи ЕК1–ЕК3. Якщо і після цього температура у приміщенні продовжує знижуватися і досягне гранично допустимого значення, встановленого на регуляторі А1, увімкнеться реле K4 і через виконавчий механізм М4 встановить регулюючі заслінки в положення “100% рециркуляції”. При цьому все тепле повітря буде повертатися у приміщення. При підвищенні температури повітря алгоритм регулювання зворотний.

Електродвигуни вентиляторів від аварійних режимів захищаються фазочутливими пристроями захисту F1, F2, F3. Від струмів короткого замикання нагрівні елементи захищені автоматичними вимикачами QF1–QF3, а тиристори – плавкими запобіжниками FU1–FU2.

Апарати керування і захисту – установками ПВУ-4М, які змонтовані у шафі керування ШІ9202-4474УХЛЗ.1. Одна шафа обслуговує три установки.

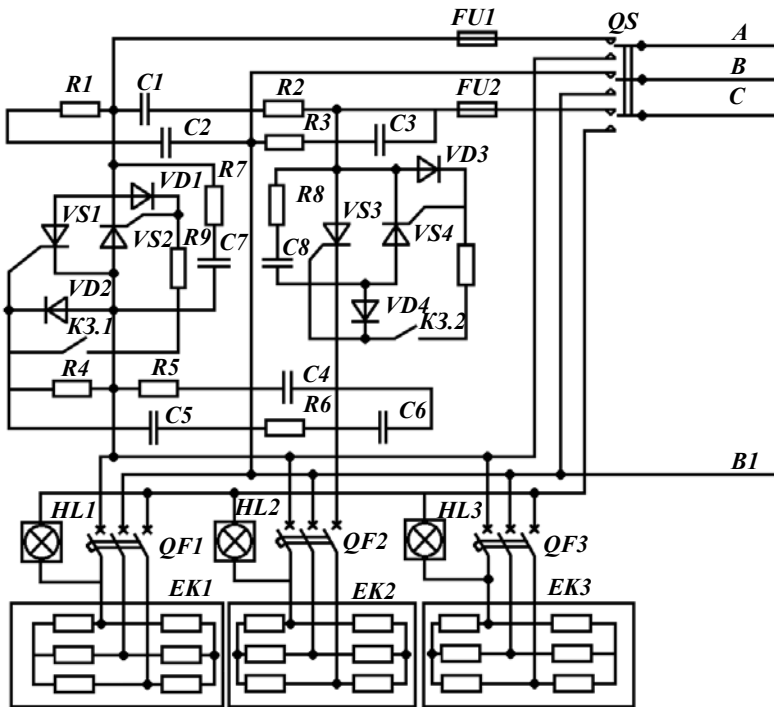
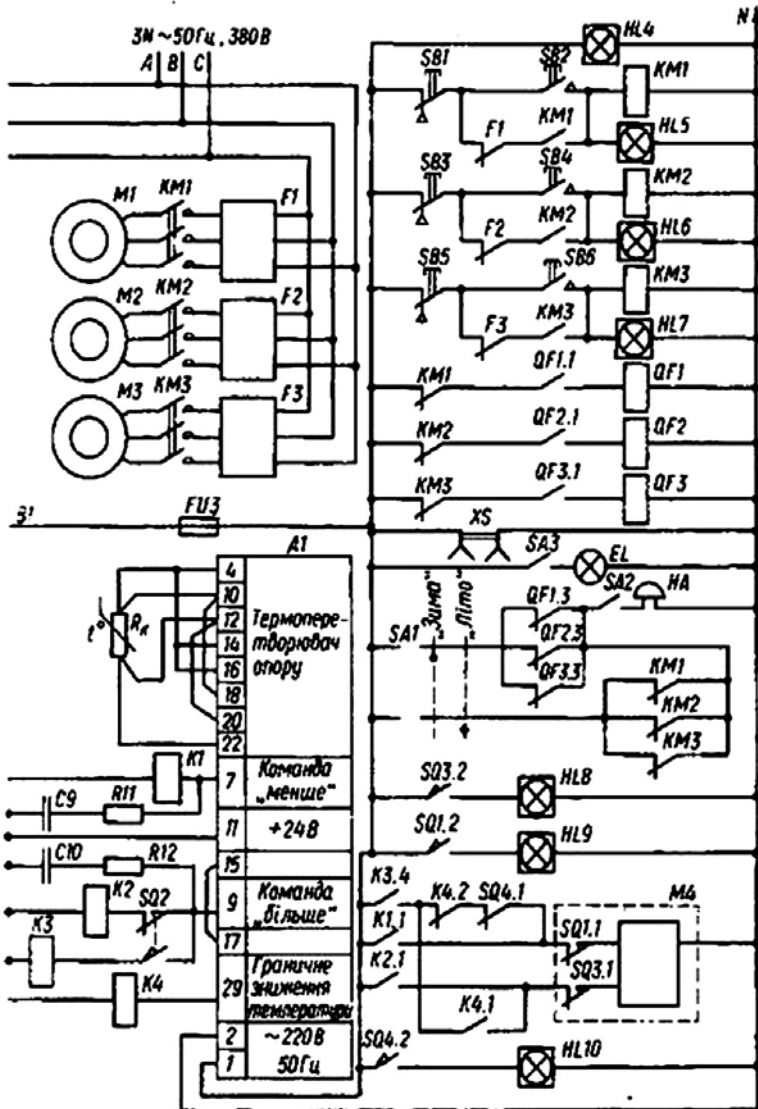


Рис. 42. Принципіальна схема керування припливно-витяжною установкою ПВУ-4М

Продовження рис. 42



---

---

### ***Електроопалювальні установки акумуляційного типу***

Ефективність використання електроенергії для підігрівання припливного повітря в системах вентиляції можна значно підвищити за рахунок використання теплоакumuляційних установок, які вмикаються в електромережу в години добових графіків навантаження. Тому електроопалювальні установки з акумуляцією теплоти, що працюють за примусовим добовим графіком, найбільш перспективні для використання в сільському господарстві.

Електроопалювальна установка акумуляційного типу – це теплоакumuлююче осердя, вкрите тепловою ізоляцією, в якому розміщені нагрівні елементи.

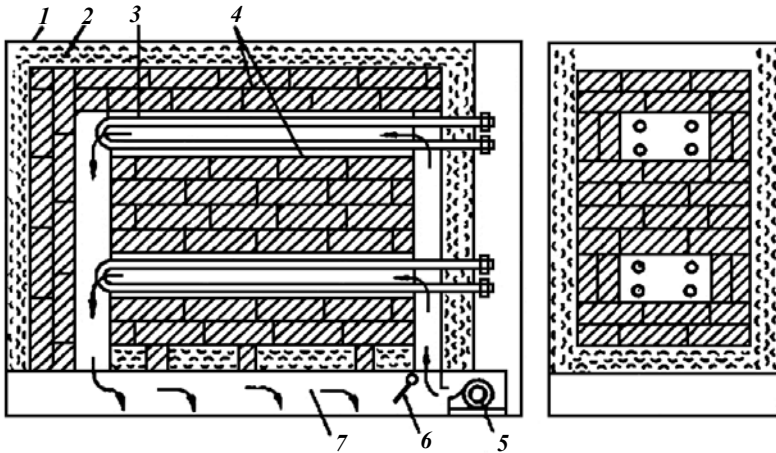
Для регулювання тепловіддачі в ньому є канали, встановлені заслінки та вентилятори.

Теплоакumuлюючі осердя найчастіше виготовляють з керамічних матеріалів з високою термостійкістю і теплоемністю (магнезит, хромомагнезити та шамотна цегла, жаростійкий бетон, гравій, граніт). Як теплоакumuлятор можна використовувати воду.

Схему теплоакumuляційної установки з осердям з магнетитової цегли розміщено у рис. 43. Осердя 4 має канали, у яких встановлені електронагрівники типу ТЭН. Для зменшення тепловіддачі із зовнішньої поверхні теплоакumuлююче осердя вкрите теплоізоляцією. Залежно від положення заслінки 6 повітря спрямовується вентилятором 5 частково через канали в осерді, а частково по обвідному каналу 7.

Зміною відкриття заслінки 6 можна забезпечити підтримання постійної температури повітря на виході.

Останнім часом розроблена теплоакumuляційна установка ЭОКС-15010,4-И1. Вона складається з теплоакumuлюючого осердя, електрокалорифера і вентилятора. Теплоакumuлююче осердя має 30 бетонних блоків з каналами, в яких розміщені нагрівники. Осердя вкрите тепловою ізоляцією і розміщене всередині металевого кожуха. Потужність установки – 150 кВт, зокрема, 105 кВт на акумуляцію і 45 кВт – на підігрівання повітря в період заряджання теплоакumuляційного осердя. Час заряджання – 8 год, перепад температур повітря на вході та виході установки – 40°C, подача повітря – 3000 м<sup>3</sup>/год, габаритні розміри – 390×2315×2285 мм, маса – 6770 кг.



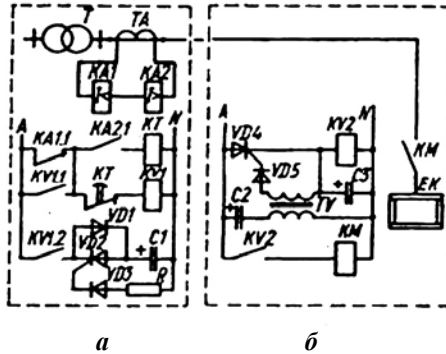
**Рис. 43. Схема електроопалювальної установки акумуляційного типу з осердям з магнезитової цегли:**

- 1 – металевий кожух; 2 – теплоізоляція; 3 – нагрівники (ТЕНи);  
4 – акумулюючі осердя; 5 – вентилятор; 6 – заслінка; 7 – канал

Ефект від використання теплоакумуляційних електроопалювальних установок повною мірою виявляється при автоматичному вмиканні їх у години найменших навантажень енергосистеми. Найпростіші схеми автоматизації на базі програмних реле часу типу 2РВМ використовують не більше 40% резерву позапікової електроенергії, оскільки програму реле важко пристосувати до графіка навантаження трансформаторної підстанції, який постійно змінюється.

Розроблена схема телекерування, яка вмикає і вимикає теплоакумуляційну установку залежно від завантаження трансформатора. Команди керування передаються безпосередньо по силовій повітряній лінії, від якої живиться теплоакумуляційна установка.

Пристрій телекерування (рис. 44) складається з передавального і приймального напівкомплектів. Передавальний встановлюється на трансформаторній підстанції, а приймальний – у місці розміщення теплоакумуляційної електроопалювальної установки.



**Рис. 44. Принципіальна схема телекерування теплоаккумуляційною електронагрівною установкою:**

а – передавальний напівкомплект; б – приймальний напівкомплект;

Т – силовий трансформатор; ТА – трансформатор струму;  
 КА1 і КА2 – реле струму; КТ – реле часу; КV1 і КV2 – проміжні реле;  
 КМ – електромагнітний пускач; VD1, VD3, VD5 – діоди; VD2, VD4 –  
 тиристри; С1–С3 – конденсатори; R – резистор; TV – трансформатор  
 напруги; ЕК – теплоаккумуляційна установка

Передавальний напівкомплект має вимірювальний пристрій завантаження трансформатора, виконаний на основі трансформатора струму ТА, двох струмових реле КА1, КА2, реле часу КТ та імпульсного генератора, до складу якого входять зарядний діод VD1, конденсатор С1, комутуючий тиристор VD2 і схема керування.

Приймальний напівкомплект складається з тиристорного приймача сигналів (VD4, VD5, C2, TV) і виконавчого реле KV2, що керує електромагнітним пускачем чи контактором КМ акумуляційної установки.

Схема працює так: при зменшенні струму навантаження трансформатора нижче уставки реле мінімального струму КА1 замикається контакт КА1.1 і подає живлення через контакт реле часу КТ на котушку проміжного реле КV1. Реле спрацьовує, своїм контактом КV1.1 шунтує контакт КА1.1 і вмикає імпульсний генератор.

У позитивний напівперіод конденсатор С1 заряджається через діод VD1, а на початку наступного негативного напівперіоду розряджається через тиристор VD2. Момент відкриття тиристора VD2 встановлюється за допомогою резистора R і діода VD3. Таким

---

---

чином, у низьковольтну мережу посилаються однополярні імпульси з частотою 50 Гц.

Імпульси виділяються у приймальному напівкомплекті за допомогою фільтра, створеного конденсатором С2 і TV, трансформатором TV. З вторинної обмотки трансформатора TV імпульси подаються на керуючий електрод тиристора VD4.

Останній відкривається і подає живлення на котушку проміжного реле KV2, яке своїми контактами вмикає котушку електромагнітного пускача KM теплоакumuляційної установки.

З вмиканням інших електроспоживачів струм навантаження трансформатора збільшується. Коли він перевищить уставку реле максимального струму KA2, воно спрацює і ввімкне реле часу КТ. З витримкою часу 15–20 сек воно розмикає коло живлення проміжного реле KV1, яке вимикає імпульсний генератор. Імпульси в мережі зникають, і приймальний напівкомплект вимикає теплоакumuляційну установку. Як тільки струм навантаження трансформатора знову зменшиться нижче уставки реле мінімального струму KA1, цикл керування повторюється. При короткочасному збільшенні струму трансформатора (наприклад, у момент запуску асинхронного короткозамкненого двигуна) реле часу КТ затримує вимикання імпульсного генератора, чим запобігає помилковому спрацюванню схеми.

Використання такої схеми керування теплоакumuляційними електронагрівними установками дає змогу електрифікувати енергомосткі процеси без замінування трансформатора.

### ***Електротермічне обладнання систем місцевого електрообігрівання молодняку тварин і птиці***

Під час вирощування молодняку тварин і птиці виникає необхідність створення оптимального температурного режиму в певних зонах приміщення. Для цього використовують установки місцевого обігрівання (теплу підлогу, електробрудери, інфрачервоні опромінювачі, електрообігрівальні килимки, напівпровідникові плівкові нагрівники, електрообігрівальні панелі тощо).

#### ***Електрообігрівальна підлога***

При утриманні на теплій підлозі мікроклімат у зоні знаходження тварин і птиці значно поліпшується: підвищується температура і рух повітря над підлогою, в результаті чого відносна вологість і концентрація шкідливих газів зменшується.

Значно зменшується або зовсім відпадає потреба в підстилці (для курчат підстилкою є безперервно висихаючий на підлозі послід).

---

---

Основною перевагою теплої підлоги над опромінювачами є її велика теплоакумулююча здатність, що дає змогу без шкоди для тварин вимикати нагрівні елементи на 3–4 год у період максимуму навантаження в енергосистемі. Швидкість охолодження її приблизно 1°C на годину.

Така підлога відзначається невеликою металомісткістю, простотою будови, незначними витратами на обслуговування, безпекою в пожежному відношенні тощо.

Конструктивне виконання електрообігрівної підлоги залежить від виду й віку тварин чи птиці; конфігурації і розмірів приміщення, використаних матеріалів і напруги живлення. Найпоширеніша підлога з безпосереднім замуруванням нагрівних елементів.

У приміщеннях для вирощування курчат рівномірно обігрівають всю площу підлоги, а в свинарниках-відгодівельниках і телятниках влаштовують окремі обігрівні смуги підлоги.

Підлогу обігрівають електронагрівними елементами з проводів ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ або сталюого оцинкованого дроту. Провід замурують у бетонну підлогу, а сталюий дріт прокладають у керамічних трубах.

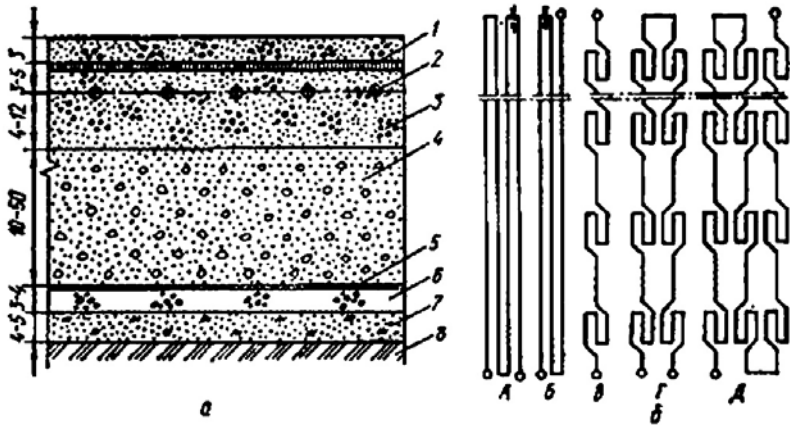
На утрамбований ґрунт насипають шар щебеню і знову утрамбовують. Потім роблять бетонну або цементну стяжку товщиною 4 см і на цю основу кладуть гідроізоляцію з руберойду або поліетиленової плівки. Смуги руберойду чи плівки простилають внакладку, а місця з'єднань заливають гарячим бітумом (рис. 45 а).

На гідроізоляцію насипають шар теплової ізоляції зі шлаку, керамзиту, керамзитобетону, пінобетону або інших теплоізоляційних матеріалів. Теплова ізоляція повинна виступати за межі контуру обігрівного майданчика на 0,1 м. Після цього підлогу бетонують. Товщина шару бетону (10–20 см) залежить від виду й віку тварин та необхідної теплоакумуляційної здатності. При великому механічному навантаженні (утриманні тварин значної маси) і вмиканні електрообігрівання підлоги за примусовим графіком товщина шару бетону рекомендується до 20 см.

Спочатку на теплову ізоляцію укладають шар (4–12 см) бетону. Після укладання нагрівних проводів кладуть другий шар (3–4 см) бетону, а після монтажу екрануючої сітки – третій шар товщиною 3 см.

Відрізкам нагрівного проводу надають різну конфігурацію залежно від призначення і планування приміщення (рис. 45 б). У приміщеннях для вирощування курчат, свинарниках для відгодівлі й дорощування молодняку та свинарниках-маточниках використовують

схеми А і Б. У свинарниках-маточниках, в яких між двома стійлами для свиноматок розміщений станок для поросят, рекомендовано схеми В, Г і Д.



**Рис. 45. Підлога з електрообігріванням:**

а – поперечний розріз; б – конфігурації відрізків нагрівного проводу:  
 1 – захисна сітка; 2 – нагрівний провід; 3 і 6 – бетон; 4 – теплоізоляція;  
 5 – гідроізоляція; 7 – щебінь; 8 – утрамбований ґрунт

Для безпеки обслуговуючого персоналу і тварин при напрузі живлення 380/220 В над нагрівними проводами встановлюють екрануючу сітку з розміром комірок 250×150 мм і діаметром дроту 3–4 мм. Окремі сітки зварюють між собою для створення загального екрану з найменшим електричним опором. До екрануючої сітки перед заливанням її бетоном приварюють заземлюючі проводи.

У випадку живлення від мережі напругою 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю екрануючу сітку приєднують до нульового проводу і заземлюючого контуру приміщення, а за відсутності останнього – до спеціально виконаного заземлення. Заземлень повинно бути два і кожне складається не менш як з трьох заземлювачів.

З'єднують нагрівні проводи між собою та приєднують до проводів живлення в розподільних коробках, які встановлюють у бетоні біля виводів нагрівних проводів кожної секції.

Для автоматичного регулювання температури підлоги використовують напівпровідникові двопозиційні регулятори типу ПТР-2-04. Датчики температури (терморезистори) розміщують у металевих

гільзах, встановлених у бетонній підлозі. Екранований кабель для з'єднання датчиків температури з шафою керування прокладають у металевих трубах у підлозі. Керують нагрівними елементами теплої підлоги з шафи керування типу ШАИ9966-23АУ5.

Таблиця 23

**Вихідні дані для розрахунку електрообігрівної підлоги**

Вид тварин і птиці	Рекомендована температура підлоги, °С	Питома потужність підлоги, Вт/м <sup>2</sup>	Питома площа обігрівання, м <sup>2</sup>	Рекомендований крок укладання проводу, м
Курчата добові	35–40	150–300	0,015–0,017	0,05–0,1
Курчата віком 30–40 діб	35	150–300	0,03–0,04	0,05–0,1
Курчата віком 60–70 діб	35	150–300	0,07–0,08	0,05–0,1
Поросята-сисуні	25–30	160–250	1–1,2 м <sup>2</sup> на приплід	0,1–0,15
Поросята на відгодівлі масою, кг:				
15–30	25	90–150	–	0,1–0,15
30–45	20	90–150	–	0,1–0,15
45–60	15–20	90–150	–	0,1–0,15
Свиноматки	18–20	80–150	2–2,5	0,15–0,2
Корови дійні	10–13	150–190	–	0,15–0,2
Корови хворі (мастит, артрит)	26–29	150–200	–	0,15–0,2

Розрахунок електрообігрівання підлоги проводами ПОСХВ, ПОСХП і ПОСХВТ виконують у певній послідовності.

Площа ділянки підлоги, яку треба обігрівати, м<sup>2</sup>

$$F = fN, \quad (1.4.2)$$

де  $f$  – питома площа обігрівання, м<sup>2</sup>;

$N$  – кількість тварин.

Питома потужність підлоги (поверхнева густина теплового потоку), Вт/м<sup>2</sup>

$$p_{num} = \frac{\alpha(\theta_{nio} - \theta_{нов})}{\eta}, \quad (1.4.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі підлоги,  $\alpha = 10\text{--}13 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ;

$\theta_{nio}$  – температура поверхні підлоги,  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_{нов}$  – температура повітря у приміщенні,  $^\circ\text{C}$ ;

$\eta$  – к.к.д. підлоги,  $\eta = 0,75\text{--}0,85$ .

Загальна встановлена потужність обігрівання підлоги  $P$ , кВт

$$P = p_{num} F \times 10^{-3}. \quad (1.4.4)$$

Потужність на одну фазу

$$P_1 = \frac{P}{3}. \quad (1.4.5)$$

Вибирається марка електронагрівального проводу і визначається кількість паралельних секцій на одну фазу

$$Z = \frac{P_1 \times 10^3}{U_\phi} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}}, \quad (1.4.6)$$

де  $r$  – опір 1м проводу при робочій температурі, Ом/м (табл. 6);

$\Delta P$  – допустима потужність нагрівального проводу, Вт/м (табл. 6);

$U_\phi$  – фазна напруга, В.

Загальна довжина проводу на фазу

$$l = \frac{P_1 \times 10^3}{\Delta P}. \quad (1.4.7)$$

Довжина паралельної секції

$$l_c = \frac{l}{Z}. \quad (1.4.8)$$

Крок укладання проводу

$$h = \frac{F}{3l}. \quad (1.4.9)$$

Крок укладання проводу можна також взяти з табл. 23.

*Електрообігрівальні панелі та килимки*

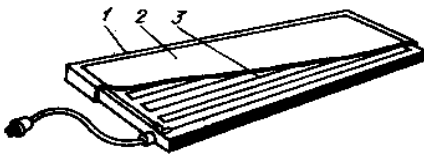
Для обігрівання поросят у свинарниках-маточниках застосовують також електрообігрівальні килимки (рис. 46). Електронагрівник килимка виготовлений із нагрівального проводу ПОСХВ, який укладено між гумовими прокладками. Килимок розрахований на вмикання в електричну мережу напругою 36 або 24 В. Він призначений для обігрівання восьми поросят. Задана температура на поверхні килимка підтримується автоматично за допомогою терморегулятора (одного на 16 килимків).

Для обігрівання молодняку тварин і птиці застосовують також струмопровідні плівки органічного і неорганічного типів. Плівки мають малу масу і низьку вартість. Плівковий нагрівник (рис. 47) – це тонколистова штампована сталевана панель, покрита зверху склоемалевою ізоляцією знизу по всій площі тонкою струмопровідною феросиліцієвою плівкою. Струм до плівки підводиться за допомогою гнучких провідників і двох металевих стрічок, нанесених по всій ширині плівки з обох боків. Одна панель має потужність близько 200 Вт і забезпечує обігрівання поросят одного опоросу або до 130 курчат.

Електрообігрівальні панелі призначені для опалення виробничих і побутових приміщень. Нагрівальні елементи закладають у пустоти в бетоні або безпосередньо в бетонну масу. Панель має металевий каркас і екрануючу сітку. Найбільш поширені панелі з нагрівальними елементами з проводів ПОСХВ, ПОСХП і ПОСХВТ.

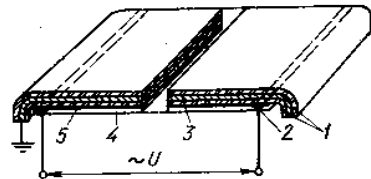
Для місцевого обігрівання молодняку тварин і птиці широко застосовують інфрачервоні опромінювачі.

Найкращі умови для молодняку створюють при комбінованому обігріванні з використанням інфрачервоних опромінювачів і теплої підлоги.



**Рис. 46. Електрообігрівальний килимок:**

- 1 – металевий каркас;
- 2 – гумове покриття;
- 3 – електронагрівник



**Рис. 47. Плівковий нагрівник:**

- 1 – склоемалева ізоляція;
- 2 – контактний електрод;
- 3 – електронагрівник;
- 4 – теплостійке покриття;
- 5 – електронагрівальний плівковий елемент опору

---

---

## Приклад

Розрахувати електрообігрівну підлогу в свинарнику .

*Вихідні дані:*

вид тварин – порсята відлучені;

кількість – 100 станків;

температура підлоги  $\theta_{\text{під}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

температура повітря  $\theta_{\text{пов}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

питома площа обігрівання  $f = 1,2 \text{ м}^2/\text{станок}$ .

### *Розв'язання*

Визначаємо площу ділянки підлоги, яку треба обігрівати

$$F = fN,$$

де  $f$  – питома площа обігрівання ( табл. 21);

$N$  – кількість станків.

$$F = 1,2 \times 100 = 120 \text{ м}^2 .$$

Визначаємо питому потужність підлоги (поверхнева густина теплового потоку)

$$P_{\text{пит}} = \frac{\alpha(\theta_{\text{під}} - \theta_{\text{пов}})}{\eta},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі підлоги (  $\alpha = 10\text{--}13 \text{ Вт}/\text{м}^2, \text{ }^{\circ}\text{C}$ );

$\eta$  – к.к.д. підлоги (  $\eta = 0,75\text{--}0,85$  ).

$$P_{\text{пит}} = \frac{12(24-18)}{0,75} = 96 \text{ Вт}/\text{м}^2 .$$

Визначаємо установлену потужність обігрівання підлоги

$$P = P_{\text{пит}} F \times 10^{-3} = 96 \times 120 \times 10^{-3} = 11,52 \text{ кВт} .$$

Визначаємо потужність на одну фазу

$$P_1 = \frac{P}{3n},$$

де  $n$  – кількість секцій .

$$P_1 = \frac{11,52}{3 \times 1} = 3,84 \text{ кВт} .$$

Вибираємо провід ПОСХП і визначаємо кількість паралельних секцій, на які потрібно розподілити загальну довжину проводу однієї фази

$$Z = \frac{P_1 \times 10^3}{U_{\phi}} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}},$$

де  $\gamma$  – опір одного метра проводу при робочій температурі (для ПОСХП – 0,19, для ПОСХВ – 0,174 Ом·м<sup>-1</sup>);

$\Delta P$  – допустима потужність нагрівального проводу (для ПОСХП – 12–13, для ПОСХВ – 9–10 Вт·м<sup>-1</sup>).

$$Z = \frac{3,84 \times 10^3}{220} \sqrt{\frac{0,194}{12}} \approx 2$$

Визначаємо загальну довжину проводу на фазу

$$l = \frac{P_1 10^3}{\Delta P} = \frac{3,84 \times 10^3}{12} = 320 \text{ м.}$$

Визначаємо довжину проводу однієї секції

$$l_1 = \frac{l}{2} = \frac{320}{2} = 160 \text{ м.}$$

Визначаємо крок укладання проводу

$$h = \frac{F}{3l} = \frac{120}{3 \times 320} = 0,18 \text{ м.}$$

### **Електрообігрівання парників і теплиць**

*Агротехнічні вимоги до мікроклімату споруд захищеного ґрунту*

До споруд захищеного ґрунту відносяться парники, весняні й зимові теплиці, оранжерей.

Основний параметр мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту – температура повітря, яку підтримують на оптимальному рівні залежно від виду і віку рослин. Рекомендовані значення температури повітря для деяких культур наведені в табл. 24.

Таблиця 24

### **Рекомендована температура повітря для основних культур**

Культура	Рекомендована температура, °С				
	у період проростання насіння та пересаджування	у період появи сходів	у наступний період		
			хмарний день	сонячний день	вночі
1	2	3	4	5	6
Розсада капусти	17–20	5–7	10–14	17–18	7–8

1	2	3	4	5	6
Розсада помідорів, перцю і баклажанів	20–29	8–10	16–20	20–22	10–14
Розсада цибулі	25	12	16–20	20–25	15
Редиска	15–18	5–8	12–15	17	7–8
Кріп, шпинат	24	8–10	16–18	22	8–12
Цибуля на перо	20–25	20	18–20	20–25	15
Цвітня капуста	18–20	7–8	10–14	18	12
Салат	18–20	8–10	15–20	25	12–15
Кабачки	26	13	20	25	15
Помідори на плоди			18–22	24–30	15–20
Огірки на плоди	25–32	16–18	20–25	26–30	16–20
Баклажани, перець на плоди			18–22	24–30	15

Поряд із температурою повітря велике значення має також і температура ґрунту.

Прийнято вважати, що температурний перепад між ґрунтом і повітрям не повинен перевищувати 3–5<sup>0</sup>С, вдень повітря повинно нагріватися більше, ніж ґрунт, а вночі – навпаки.

Електрообігрівання парників і теплиць може бути ґрунтовим, повітряним і комбінованим.

Ґрунтовий спосіб забезпечує швидке розігрівання парників і теплиць, відзначається найменшою енергомісткістю і великою теплоакумулюючою здатністю, а тому допускає перерви в електропостачанні.

При повітряному обігріванні витрата електроенергії в 1,5 разу більша порівняно з ґрунтовим. Ґрунт розігрівается повільно, теплоти акумулюється мало. Перевагою повітряного способу є менші капітальні вкладення на будівництво. Повітряне обігрівання рекомендується при середніх та пізніх строках введення парників і теплиць в експлуатацію.

Комбіноване (ґрунтово-повітряне) обігрівання забезпечує найкращі умови для рослин, але капітальні затрати при цьому найбільші. Використовується за ранніх строків введення в експлуатацію парників і теплиць.

У парниках найчастіше влаштовують ґрунтове обігрівання, а в теплицях при ранніх строках введення в експлуатацію використовують ґрунтово-повітряне обігрівання, при пізніх – тільки повітряне.

---

---

Розроблено декілька способів електрообігрівання у парниках і теплицях: елементне, електродне, електрокалориферне та променисте. Найпоширеніші елементне та електрокалориферне способи електронагрівання.

При елементному обігріванні використовують такі нагрівні елементи: сталевий оцинкований дріт діаметром 2–3 мм в ізоляційних трубах; нагрівні проводи ПОСХВ, ПОСХП та ПОСХВТ; неізольований дріт діаметром 5–7 мм, прокладений у шарі піску або безпосередньо в ґрунті при зниженій напрузі живлення (50 В); сталевий дріт, прокладений у шарі асфальтобетону.

Обігрівання сталевим дротом в ізоляційних трубах відзначається простотою виконання монтажних робіт, легкістю заміни дроту в разі перегорання, доброю ізоляцією нагрівного елемента. Недоліками цього способу є дефіцитність азбестоцементних труб, невеликий строк служби дроту (1–2 роки), втрати до 20% корисної площі парників, зайнятої трубами повітряного обігрівання і монтажними каналами у торці.

Переваги обігрівання неізольованим сталевим дротом при зниженій напрузі живлення полягають у простоті конструкції та монтажу нагрівного пристрою, підвищеному строку служби (8–10 років), рівномірності температурного поля, легкості розігрівання ґрунту, невеликих капітальних вкладеннях і експлуатаційних витратах. Недоліками такого способу є необхідність встановлення додаткових знижувальних трансформаторів, складність заміни перегорілого дроту, великі витрати проводів. Крім того, несталість електричних властивостей сталевих дротів і залежність електропровідності ґрунту від його вологості ускладнюють розрахунок нагрівних елементів і регулювання температурного режиму.

При обігріванні ґрунту парників і теплиць нагрівними проводами ПОСХВ, ПОСХП і ПОСХВТ забезпечується рівномірність розподілу температури, надійність і довговічність нагрівних елементів. До недоліків цього способу належать складність заміни нагрівних елементів, збільшені капітальні витрати у зв'язку з необхідністю захисту нагрівного проводу від механічних пошкоджень.

Обігрівання асфальтобетонними блоками відзначається довговічністю і високою механічною міцністю нагрівників, рівномірністю розподілу температури і великою теплоаккумуляційною здатністю. Основними недоліками цього способу обігріву є значна трудомісткість виготовлення нагрівного блока і неможливість заміни нагрівного елемента.

---

---

У теплицях нагрівні елементи зі сталюого дроту в ізоляційних трубах ненадійні, бо під час вирощування овочеві культури поливають більше, ніж у парниках розсаду. При цьому зволожується не тільки ґрунт, але й шар піску з розміщеними нагрівними елементами, в результаті чого вони часто перегорять. Більш надійні в теплицях нагрівні елементи, виготовлені з проводів ПОСХВ, ПОСХП і ПОСХВТ.

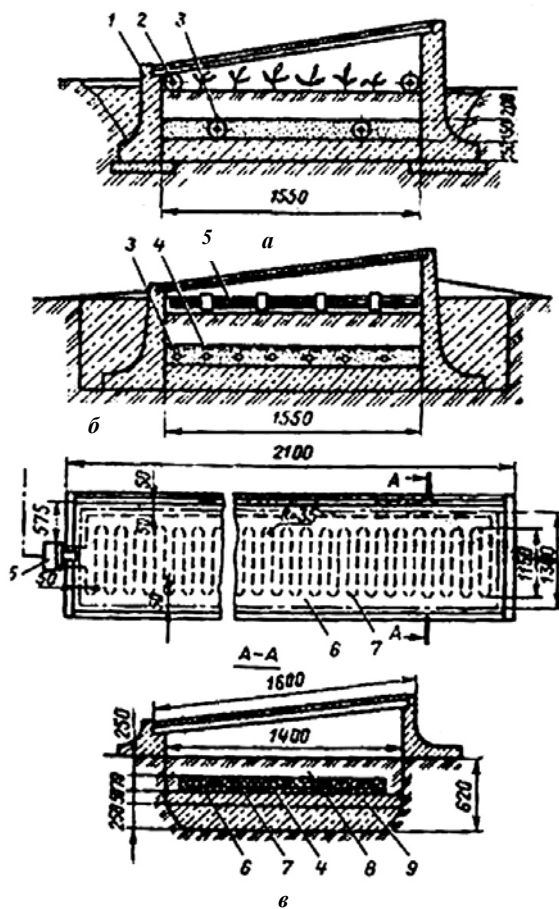
### ***Електрообігрівання парників***

Для обігрівання ґрунту трубчастими нагрівальними елементами (рис. 48 а) використовують азбестоцементні або гончарні труби діаметром 100–150 мм, а для обігрівання повітря – труби діаметром 50–75 мм. Для підвищення електроізоляційних властивостей азбестоцементні труби попередньо просочують у гарячому бітумі або трансформаторному маслі. Труби ґрунтового і повітряного обігрівання з'єднують за допомогою муфт з промазуванням місць з'єднання цементним розчином.

Труби ґрунтового і повітряного обігрівання прокладають з нахилом 0,002–0,003. Всередині труб на ізоляційних опорних дисках протягують нагрівальний провід або голий оцинкований дріт. На виході з труб провід закріплюють у монтажних каналах по торцях парника. Використання голого дроту живлення здійснюють пониженою напругою.

При безпосередньому укладанні в пісок провід від пошкоджень захищають металеву сіткою з вічками 30–50 мм, яка укладається в піску над проводом на відстані 50 мм (рис. 48 б) або цементною стяжкою. Сітку заземлюють, і вона служить додатковим заходом електробезпеки на випадок пошкодження ізоляції проводу. Крок укладання проводу біля патрубків 50 мм із збільшенням до 130 мм в середині парника.

При необхідності нагрівним проводом у парнику можна обігрівати повітря, для чого його підвішують до сталюого дроту, натягнутого вздовж парника на відстані 20–30 мм від патрубків.



**Рис. 48. Будова електрообігріву ґрунту і повітря в парниках:**  
 а – обігрів трубчастими нагрівними елементами; б – обігрів нагрівними проводами в піску; в – обігрів асфальтобетонним монолітом; 1 – патрубні; 2 – елементи повітряного нагріву; 3 – елементи ґрунтового обігрівання; 4 – захисна металева сітка; 5 – клемна коробка; 6 – асфальтобетонний моноліт з обігрівним проводом і захисною металевою сіткою; 8 – ґрунт, 9 – гравій

### **Електрообігрівання теплиць**

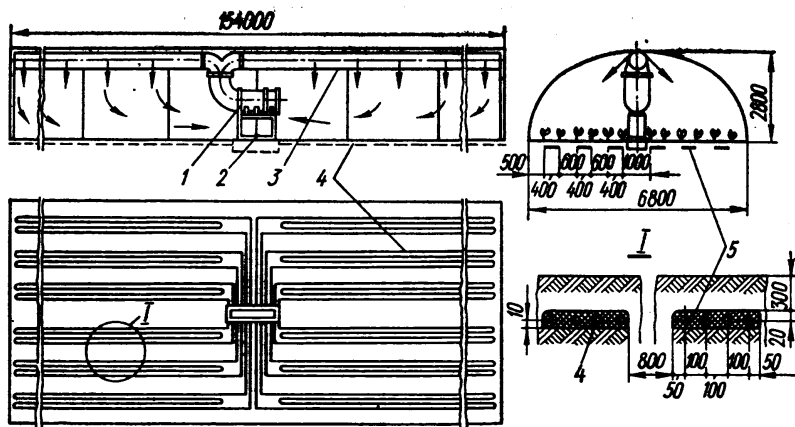
Для обігрівання повітря в теплицях використовують електрокалориферні установки серії СФОЦ. Грунт найчастіше обігрівають нагрівними проводами ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ та неізолюваним сталевим дротом при зниженій напрузі живлення.

У теплицях, які вводяться в експлуатацію на початку березня, потужність нагрівних елементів для обігрівання повітря становить 120, а для ґрунту – 60–80 Вт/м<sup>2</sup>.

У теплицях, які використовуються з кінця березня, звичайно, обігрівають тільки повітря, при цьому потужність нагрівних елементів становить 70–100 Вт/м<sup>2</sup>.

Теплиці будують ангарні та блочні. В ангарних відсутні внутрішні опори. Блочні теплиці – це поєднання довільної кількості арочних теплиць з загальним коридором для обслуговування.

Найбільше поширені ангарні теплиці з ґрунтово-повітряним обігріванням площею 1000 і 500 м<sup>2</sup> (рис. 49).



**Рис. 49. Теплиця з ґрунтово-повітряним обігріванням:**

1 – електрокалорифер; 2 – шафа керування; 3 – розподільний повітропровід; 4 – нагрівні проводи; 5 – цементно-піщаний розчин

Обігрівання повітря в теплиці здійснюється електрокалорифером, встановленим у центрі. Для забезпечення рівномірної температури підігріте в калорифері повітря розподіляється за допомогою двох перфорованих повітропроводів з поліетиленової

---

---

плівки. Вздовж повітропроводів через 1 м виконані два ряди отворів діаметром 5 см для виходу підігрітого повітря, а їх кінці заглушені.

Ґрунт обігривається проводом ПОСХВ. Нагрівні елементи прокладають смугами шириною 400 мм на глибині 300 мм і заливають шаром цементного розчину товщиною 40–50 мм. Між обігрівними смугами залишають ділянки шириною 600 мм. При такому способі монтажу нагрівних елементів зменшується витрата матеріалів і забезпечується відведення зайвої води під час поливу ґрунту в теплиці. У середні обігрівні смуги укладають по два, а в крайні – по три відрізки проводу довжиною 160–170 м кожний.

### ***Розрахунок електрообігрівання парників і теплиць***

Потужність нагрівних елементів парників і теплиць повинна бути достатньою для компенсації втрат теплоти у навколишнє середовище вночі, коли зовнішня температура мінімальна.

У спорудах закритого ґрунту теплота втрачається через плівкове чи скляне покриття, ґрунт і нещільності конструкції: найбільше (близько 85 %) через плівку або скло.

З достатньою для практичних розрахунків точністю потужність нагрівних елементів визначають за формулою, кВт:

$$P = KF(\theta_{\text{вн}} - \theta_{\text{зов}}) \times 10^{-3}, \quad (1.4.10)$$

де  $K$  – наведений коефіцієнт теплопередачі через плівку чи скло, Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Він залежить від швидкості вітру та утеплення. При зміні швидкості вітру від 0 до 10 м/с значення  $K$  змінюється від 4 до 12 Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$F$  – площа скляного чи плівкового покриття, м<sup>2</sup>;

$\theta_{\text{вн}}$ ,  $\theta_{\text{зов}}$  – розрахункова температура повітря в парнику чи теплиці та зовнішня, °С.

Площа заскленої поверхні парників визначається за формулою

$$F = abn\beta, \quad (1.4.11)$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина однієї парникової рами, м ( $a=1,6$  м;  $b=1,06$  м);

$n$  – кількість рам;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує наявність дерев'яних частин у рамах,  $\beta=0,95$ .

При комбінованому обігріванні парників і теплиць розрахункову потужність ділять між нагрівними елементами ґрунту  $P_{\text{Г}}$  і повітря  $P_{\text{П}}$  у співвідношенні:

для теплиць  $P_{\text{Г}} : P_{\text{П}} = 1:1$  або  $1:2$ ;

---

---

для парників  $P_T : P_{II} = 1:1$  або  $2:1$ .

Нагрівні елементи для обігріву ґрунту і повітря розраховують окремо, використовуючи методику розрахунку електрообігрівної підлоги.

### Приклад

Розрахувати електрообігрів ґрунту для 20-рамного парника, в якому вирощують розсаду капусти. Розрахункова температура зовнішнього повітря  $\theta_{\text{зов}} = -5^{\circ}\text{C}$ .

### Розв'язання

Площа заскленої поверхні парників визначається за формулою

$$F = abn\beta,$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина однієї парникової рами, м ( $a=1,6$  м;  $b=1,06$  м);

$n$  – кількість рам;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує наявність дерев'яних частин у рамах,  $\beta=0,95$ .

$$F = 1,06 \times 1,6 \times 20 \times 0,95 = 32,2 \text{ м}^2$$

Розрахункову потужність нагрівальних елементів парника визначаємо за формулою

$$P = KF(\theta_{\text{вн}} - \theta_{\text{зов}}) \times 10^{-3},$$

де  $K$  – наведений коефіцієнт теплопередачі через плівку чи скло,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ . Він залежить від швидкості вітру та утеплення. Беремо  $K=11,6$ .

$F$  – площа скляного чи плівкового покриття,  $\text{м}^2$ ;

$\theta_{\text{вн}}$ ,  $\theta_{\text{зов}}$  – розрахункова температура повітря в парнику та зовнішня,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$P = 11,6 \times 32,2 [20 - (-5)] \times 10^{-3} = 9,34 \text{ кВт}.$$

Розрахункову потужність нагрівальних елементів ґрунту визначаємо за формулою

$$P_{\text{zp}} = \frac{P}{2} = \frac{9,34}{2} = 4,67 \text{ кВт}.$$

Визначаємо потужність на одну фазу

$$P_1 = \frac{P}{3n},$$

де  $n$  – кількість секцій.

$$P_1 = \frac{4,67}{3 \times 1} = 1,56 \text{ кВт.}$$

Вибираємо провід ПОСХП і визначаємо кількість паралельних секцій, на які треба розподілити загальну довжину проводу однієї фази

$$Z = \frac{P_1 10^3}{U_\phi} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}},$$

де  $r$  – опір одного метра проводу при робочій температурі (для ПОСХП – 0,19, для ПОСХВ – 0,174 Ом $\cdot$ м $^{-1}$ );

$\Delta P$  – допустима потужність нагрівального проводу (для ПОСХП – 12–13, для ПОСХВ – 9–10 Вт м $^{-1}$ ).

$$Z = \frac{1,56 \times 10^3}{220} \sqrt{\frac{0,194}{12}} \approx 1.$$

Визначаємо загальну довжину проводу на фазу

$$l = \frac{P_1 10^3}{\Delta P} = \frac{1,56 \times 10^3}{12} = 130 \text{ м.}$$

Визначаємо довжину проводу однієї секції

$$l_1 = \frac{l}{1} = \frac{130}{1} = 130 \text{ м.}$$

Визначаємо крок укладання проводу

$$h = \frac{F}{3l} = \frac{32,2}{3 \times 130} = 0,08 \text{ м.}$$

### ***Автоматичне підтримання температури***

Нормами технологічного проектування парників і теплиць встановлені межі відхилення температури ґрунту  $\pm 1$ , повітря  $\pm 2$  °С. Такі вимоги можна задовольнити лише при застосуванні електричного обігріву і відповідної системи регулювання.

Парники і теплиці – це енергоємні споживачі, тому система керування повинна забезпечити можливість вмикання пристроїв обігріву лише у відведений енергосистемою час. Для автоматичного підтримання заданої температури ґрунту в плівкових теплицях застосовують комплектний пристрій КЭПТ-1УХЛЗ.1 (рис. 50). Схема – це силовий тиристорний блок (VS1–VS6), елементи захисту, вимірювання і сигналізації.

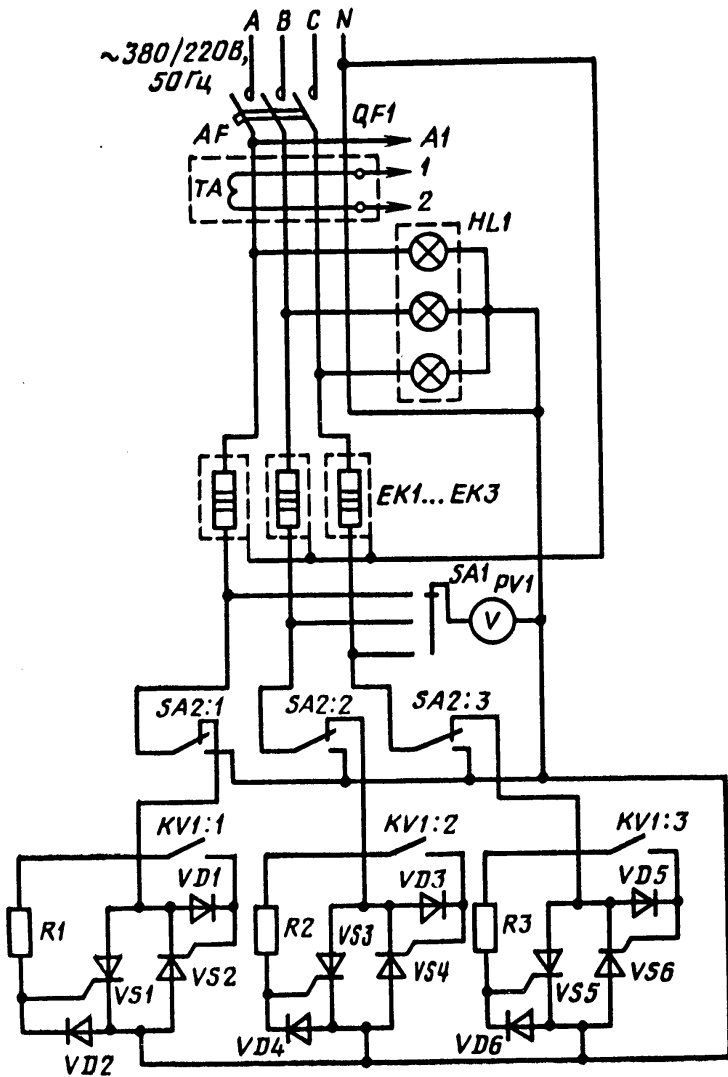
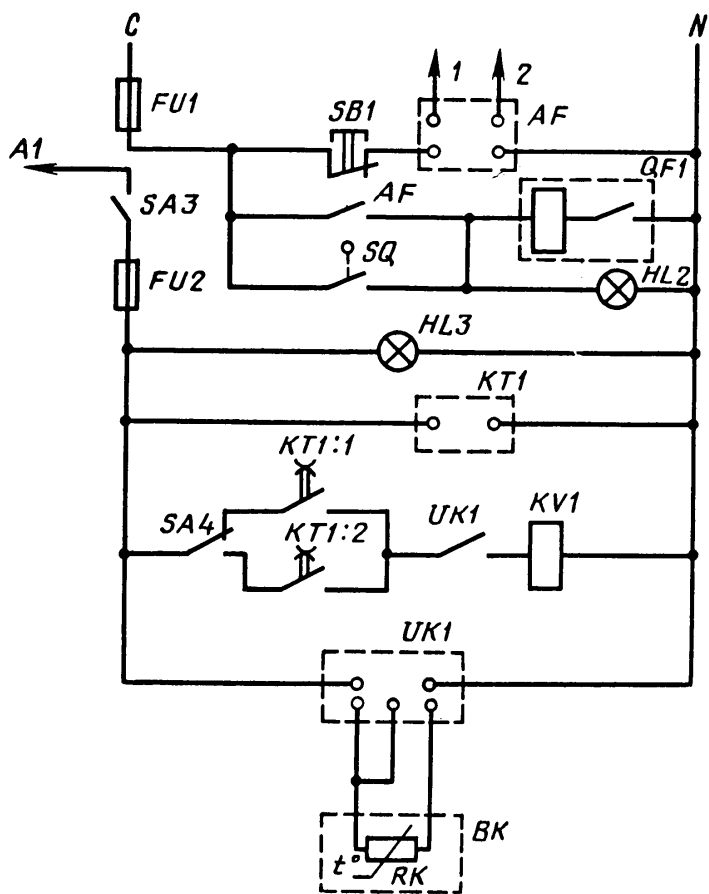


Рис. 50. Принципіальна електрична схема пристрою КЕПТТ-1УХ.Л3 для регулювання потужності в плівкових теплицях



Продовження рис. 50.

---

---

Керування силовими тиристорами здійснюється шляхом закорочування через резистори R1–R3 кіл керуючих електродів кожної пари тиристорів при замиканні контактів KV1.1–KV1.3 проміжного реле KV. Реле KV спрацьовує за програмою, яка задається реле часу KT, і при температурі ґрунту нижче заданої (контакт SK терморегулятора).

При розігріванні нагрівні елементи EK1–EK3 вмикаються на повну потужність  $P_H$ , а далі здійснюється двопозиційне регулювання за програмами реле часу KT, яке має дві програми: на  $0,5P_H$  (ввімкнений і вимкнений стан по 20 хв) і на  $0,25P_H$ . Реле часу не дозволяє вмикати нагрів у години максимуму навантаження енергосистеми. Захист пристрою обігріву від струмів витікання здійснює реле струму КА з датчиком ТА. Сигнал із КА надходить в котушку незалежного розчіплювача автоматичного вимикача QF, який вимикає живлення. При спрацюванні КА, а також при відкриванні дверей теплиці (кінцевий вимикач SQ) подається світловий сигнал “Аварія” (лампа HL1). Знімають сигнал кнопкою SB.

Вольтметр PV з перемикачем SA2 служать для контролю цілісності нагрівних проводів по фазах.

*Особливості техніки безпеки під час експлуатації електро-нагрівних установок у парниках і теплицях*

Споруди захищеного ґрунту, обладнані електротермічними пристроями для нагріву ґрунту і повітря, мають підвищену небезпеку ураження електричним струмом. За умовами гарантування електробезпеки парники і теплиці з електрообігрівом поділяють на категорії А і Б.

До категорії А відносяться споруди захищеного ґрунту, в яких для живлення нагрівних елементів використовується напруга вище 65 В, а нагрів ґрунту і повітря здійснюється неізольованими електро-нагрівними пристроями. Сюди входять пристрої електродного і елементного нагріву з нагрівниками з неізольованого дроту, із нагрівних проводів типу ПОСХВ, ПОСХП, ПОХВТ і ПНВСВ без застосування металевої екрануючої сітки, а також із неізольованого дроту в асфальтобетонному моноліті.

До категорії Б відносяться споруди захищеного ґрунту, в яких для живлення електротермічних пристроїв використовують напругу нижче 65 В та вище 65 В, якщо нагрівні елементи виконані з нагрівних проводів типів ПОСХВ, ПОСХП, ПОХВТ і ПНВСВ з застосуванням металевої екрануючої сітки або пристрою захисного вимикання, а також з прокладанням нагрівних елементів в азбестоцементних трубах.

---

---

Забороняється виконувати будь-які роботи в парниках і теплицях категорії А, якщо пристрої електрообігріву знаходяться під напругою. Парники і теплиці цієї категорії обносяться суцільною огорожею висотою не менше 2 м, і повинні бути від найближчих споруд на відстані не менше 1 м.

У спорудах захищеного ґрунту категорії Б дозволяється при ввімкненому електрообігріві виконувати роботи, використовуючи інструмент з ізолюючими рукоятками, якщо при цьому його не занурюють у ґрунт на глибину більше 25 см.

Опір ізоляції нагрівних елементів відносно землі і між фазами повинен бути не менше 0,5 Мом.

### ***Електричні інкубатори***

Для інкубації яєць і виведення молодяку птиці застосовують інкубатори “Універсал-55” та ИКП-90 “Кавказ”.

Інкубатор “Універсал-55” складається з двох самостійних шаф: інкубаційної з трьома камерами в одному корпусі і вивідної. Камери інкубатора обладнані однаковими приладами для створення і автоматичного підтримання необхідного режиму. Барабани, на яких розміщені лотки з яйцями, повертаються щогодини на кут  $+45^\circ$  або  $-45^\circ$  відносно їх горизонтального положення за допомогою електродвигуна з реверсивним електромагнітним пускачем. Загальна місткість інкубатора – 56055 яєць.

У рис. 50 розміщено принципіальну електричну схему шафи керування інкубаційної камери. Повітря в камері обігрівається двома електронагрівниками ЕК1 та ЕК2 загальною потужністю 2 кВт. Циркуляція повітря забезпечується чотирилопатевим вентилятором, який приводиться в дію електродвигуном М1. Зволоження повітря в камері здійснюється за допомогою дискового розпилювача, що приводиться в дію електродвигуном М2. За допомогою регулятора температури А1 в камері інкубатора підтримується температура в межах  $+36,0 - +39,0^\circ\text{C}$  з точністю  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  в точці встановлення терморезистора РК. Він ввімкнений в діагональ вимірювального моста терморегулятора А1. Терморегулятор подає напругу на котушку електромагнітного пускача КМ2, який вмикає нагрівники на повну потужність. Коли температура повітря в камері досягає заданої, то розмикається коло живлення котушки електромагнітного пускача КМ2, а нагрівники одержують живлення через тиристор VS. При цьому їх потужність знижується до 50% від номінальної.



---

---

Якщо температура підвищується аварійно до  $+38,3^{\circ}\text{C}$ , замикається контакт температурного реле SK1 в колі живлення котушки проміжного реле K1. Реле K1 спрацьовує і вимикає проміжне реле K2, що призводить до вимикання терморегулятора A1 і вмикання тягового магніта охолодження YA1, сигнальної лампи HL1 “Аварія” та дзвінка.

Вологість у камері підтримується автоматично регулятором вологості A2 в межах 40–70% з точністю  $\pm 3\%$  в точці встановлення датчика вологості SK2. Якщо вологість у камері знижується нижче від встановленої норми, регулятор вологості включає соленоїд зволоження YA2 і вода надходить на диск розпилювача. Паралельно соленоїду зволоження ввімкнена сигнальна лампа HL5 “Зволоження”. У схемі керування інкубатора передбачена також світлова сигналізація: лампа HL4 “Розігрівання”, лампа HL3 “Норма”, лампа HL2 “Охолодження”.

Інкубатор ИКП-90 “Кавказ” розрахований на одночасну інкубацію великих партій яєць. Він складається з шести камер. Кожна камера має автономну систему створення і автоматичного підтримання повітряно-теплого режиму і обладнується чотирма візками для розміщення лотків з яйцями, системою обігрівання, зволоження, охолодження й повітрообміну. Обігрівається кожна камера чотирма закритими трубчастими електронагрівниками. Температура в камері інкубатора регулюється за допомогою терморегулятора. Контролює температуру платиновий датчик, ввімкнений в одне плече вимірювального містка терморегулятора. Якщо температура в камері знижується менш як на  $0,2^{\circ}\text{C}$ , то на два нагрівальні елементи подається через керований діод напруга, пропорційна величині, на яку розбалансовано вимірювальний місток. При зниженні температури в камері більш як на  $0,2^{\circ}\text{C}$  вмикаються всі чотири нагрівальні елементи.

Якщо з якихось причин температура в камері підвищиться до  $38,3^{\circ}\text{C}$ , то аварійний блок вимкне всі електронагрівники, ввімкне аварійне охолодження і подасть звуковий сигнал.

### ❖ Питання для самоперевірки

1. Які параметри характеризують мікроклімат тваринницьких приміщень?
2. Які ви знаєте системи і види опалення сільськогосподарських приміщень?

- 
- 
3. Як впливає на тварин і птицю температура навколишнього середовища?
  4. Назвіть типи електрокалориферних установок, їх призначення.
  5. Будова електрокалориферних установок.
  6. Поясніть роботу принципіальної електричної схеми електрокалориферної установки СФОЦ-25/0,5-И1.
  7. Як визначити потужність електрокалориферної установки?
  8. Яким чином змінюється потужність електрокалориферної установки?
  9. Назвіть переваги електрокалориферної установки СФОЦ виконання ИЗ.
  10. Типи комплектних пристроїв керування електрокалориферними установками.
  11. Будова і принцип дії електроопалювальних установок аккумуляційного типу.
  12. Назвіть електротермічне обладнання, що використовується для місцевого електрообігрівання тварин і птиці.
  13. Основні переваги місцевого електрообігрівання тварин і птиці.
  14. Будова, застосування і визначення основних параметрів електрообігрівної підлоги.
  15. Які існують способи електрообігріву ґрунту і повітря парників і теплиць?
  16. Агротехнічні вимоги до мікроклімату споруд захищеного ґрунту.
  17. Будова електрообігріву ґрунту в парниках.
  18. Визначення основних параметрів електрообігріву ґрунту і повітря парників і теплиць.
  19. Агротехнічні вимоги до мікроклімату споруд захищеного ґрунту.
  20. Будова електрообігріву ґрунту в парниках.
  21. Визначення основних параметрів електрообігріву ґрунту і повітря парників і теплиць.
  22. Особливості техніки безпеки під час експлуатації електронагрівних установок в парниках і теплицях.
  23. Типи інкубаторів і їх будова.
  24. Які процеси автоматизовані в інкубаторах?

---

---

## Тести

1. Системи загального обігрівання ...
  - а) підтримують температуру у всьому приміщенні на заданому рівні;
  - б) створюють локальні зони підвищених температур у певних місцях;
  - в) підтримують оптимальний хімічний склад повітря.
2. При надмірному зниженні температури у приміщенні...
  - а) підвищується продуктивність тварин, зменшується потреба в кормах;
  - б) знижується продуктивність тварин, зростає потреба в кормах і захворювання;
  - в) продуктивність тварин і потреба в кормах не змінюються.
3. Потужність електрокалориферної установки наближено визначається за виразом
  - а) 
$$P = \frac{[(g_0V - C\rho L)(\theta_6 - \theta_3) + Q_T N - Q_M]}{3600\eta_k},$$
  - б) 
$$P = \frac{[(g_0V + C\rho L)(\theta_6 - \theta_3) - Q_T N - Q_M]}{3600\eta_k},$$
  - в) 
$$P = \frac{[(g_0V + C\rho L)(\theta_6 + \theta_3) - Q_T N + Q_M]}{T3600\eta_k}.$$
4. Для загального обігрівання тваринницьких і птахівничих приміщень використовуються такі електронагрівні установки:
  - а) електрокотельні, тепловентилятори, електрокалориферні установки, електроконвектори, припливно-витяжні установки з підігрівом повітря, кондиціонери повітря;
  - б) електрообігрівна підлога, електробрудери, інфрачервоні опромінювачі, електрообігрівальні килимки, напівпровідникові плівкові нагрівники, електрообігрівальні панелі;
  - в) теплогенератори, газові котельні.
5. Для місцевого обігрівання тваринницьких і птахівничих приміщень використовуються такі електронагрівні установки:
  - а) електрообігрівна підлога, електробрудери, інфрачервоні опромінювачі, електрообігрівальні килимки, напівпровідникові плівкові нагрівники, електрообігрівальні панелі;
  - б) теплогенератори, газові котельні;

---

---

в) електрокотельні, тепловентилятори, електрокалориферні установки, електроконвектори, припливно-витяжні установки з підігрівом повітря, кондиціонери повітря.

6. Регулювання теплопродуктивності електрокалориферних установок СФОЦ-Х/0,5-І1 здійснюється ...

- а) переключенням кількості секцій електронагрівників;
- б) зміною кутової швидкості вентилятора;
- в) зміною напруги живлення секцій електронагрівників.

7. Електрокалорифери СФОЦ виконання ІЗ, порівняно з аналогічними калориферами виконання І1, дають можливість ...

- а) краще опалювати приміщення;
- б) суттєво економити електроенергію за рахунок більш досконалішого регулювання температури;
- в) зменшити капіталовкладення на опалення.

8. Найбільш ефективним технічним рішенням проблеми зменшення енерговитрат на вентиляцію є ...

- а) підігрів припливного повітря;
- б) утилізація теплоти повітря, що видаляється із тваринницького приміщення;
- в) підігрів повітря, що видаляється із тваринницького приміщення.

9. Основною перевагою теплої підлоги над опромінювачами є ...

- а) її мала теплоакumulююча здатність, що дає змогу без шкоди для тварин вимикати нагрівні елементи на 3–4 год у період максимуму навантаження в енергосистемі;
- б) її вища надійність і безпечність;
- в) її велика теплоакumulююча здатність, що дає змогу без шкоди для тварин вимикати нагрівні елементи на 3–4 год у період максимуму навантаження в енергосистемі.

10. Питома потужність підлоги (поверхнева густина теплового потоку), Вт/м<sup>2</sup>, визначається за формулою

$$а) \quad p_{num} = \frac{\alpha(\theta_{n\dot{u}d} - \theta_{nos})}{\eta}; \quad б) \quad p_{num} = \frac{\alpha(\theta_{n\dot{u}d} + \theta_{nos})}{\eta};$$

$$в) \quad p_{num} = \frac{P(\theta_{n\dot{u}d} + \theta_{nos})}{3600\eta}.$$

11. Потужність нагрівних елементів парників і теплиць визначають за формулою

$$а) \quad P = KF(\theta_{\text{вн}} - \theta_{\text{зов}}) \times 10^{-3}; \quad б) \quad P = P_{\text{пт}} F \times 10^{-3};$$

$$в) P_{\text{ннт}} = \frac{\alpha(\theta_{\text{нїд}} - \theta_{\text{нос}})}{\eta}.$$

12. При комбінованому обігріванні теплиць розрахункову потужність ділять між нагрівними елементами ґрунту  $P_{\Gamma}$  і повітря  $P_{\Pi}$  у співвідношенні:

а)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=1:1$  або  $2:1$ ; б)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=1:1$  або  $1:2$ ; в)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=3:1$  або  $4:1$ .

13. При комбінованому обігріванні парників розрахункову потужність ділять між нагрівними елементами ґрунту  $P_{\Gamma}$  і повітря  $P_{\Pi}$  у співвідношенні:

а)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=3:1$  або  $4:1$ ; б)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=1:1$  або  $2:1$ ; в)  $P_{\Gamma} : P_{\Pi}=1:1$  або  $1:2$ .

14. В інкубаторах автоматизовані такі процеси:

а) завантаження і вивантаження лотків, закривання дверей;  
б) поворот лотків, автоматичне підтримання заданої температури і вологості, охолодження камери при аварійній температурі;

в) опромінення яєць і їх облік.

15. За допомогою регулятора температури в камері інкубатора підтримується температура в межах ....

а)  $+36,0 - +39,0^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ;

б)  $+30,0 - +36,0^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;

в)  $+39,0 - +45,0^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ .

16. Як зміниться потужність  $P$  і температура  $\theta$  нагрівачів електрокалорифера при зупинці вентилятора?

а)  $P$  збільшиться, а  $\theta$  не зміниться; б)  $\theta$  збільшиться, а  $P$  не зміниться; в)  $\theta$  і  $P$  збільшиться.

17. Яка послідовність вмикання електрокалориферної установки правильна?

а) спочатку калорифер, потім вентилятор;

б) спочатку вентилятор, потім калорифер;

в) одночасно вентилятор і калорифер .

18. Яка максимальна температура нагрівачів електрокалорифера

а)  $500^{\circ}\text{C}$ ; б)  $800^{\circ}\text{C}$ ; в)  $180^{\circ}\text{C}$ ;

## Виконайте

### Лабораторні роботи

Дослідження роботи і визначення енергетичних параметрів електрокалориферної установки.

Дослідження роботи припливно-витяжної установки ПВУ-6М.

---

---

### Практичні заняття

Розрахунок і вибір електрокалориферної установки.

Розрахунок основних параметрів електрообігрівальної підлоги.

Розрахунок основних параметрів електронагрівальних елементів ґрунту парника.

#### ***1.5. ЕЛЕКТРОНАГРІВНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ І СУШІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ І КОРМІВ***

Установки для активного вентилявання зерна і сіна, їх будова, схеми керування. Розрахунок електропідігрівачів повітря.

Електротеплова обробка кормових матеріалів. Електропастеризація молока, харчових продуктів. Сушіння і дезінфекція зерна інфрачервоними променями і струмами високої частоти.



**Прочитайте**

Л–2, с. 206–222; Л–4, с. 341–347.

#### **Установки для сушіння зерна і досушування сіна**

Один із найпоширеніших способів збільшення строків зберігання сільськогосподарської продукції є сушіння. Сушать зерно, листя тютюну, траву тощо.

Так, зерно після збирання може мати відносну вологість 20–22%, а тривало зберігати його можна за відносної вологості не вище 14–16%. Сушіння також прискорює процес дозрівання зерна. Для сушіння зерна використовують шахтні й барабанні зерносушарки. За відносної вологості повітря менше 65% зерно можна сушити без підігрівання повітря. На зернотоках і в сховищах для сушіння зерна широко використовують електрокалориферні установки, тепло-вентиляційні агрегати ВПЭ-6А та бункери активного вентилявання, БВ-6, БВ-12,5, БВ-25, БВ-50.

Активне вентилявання з електропідігрівом повітря – найбільш ефективний і економічний спосіб сушіння. Активне вентилявання зерна застосовують для короткочасної консервації зерна перед сушінням у зерносушарках, а також для сушіння.

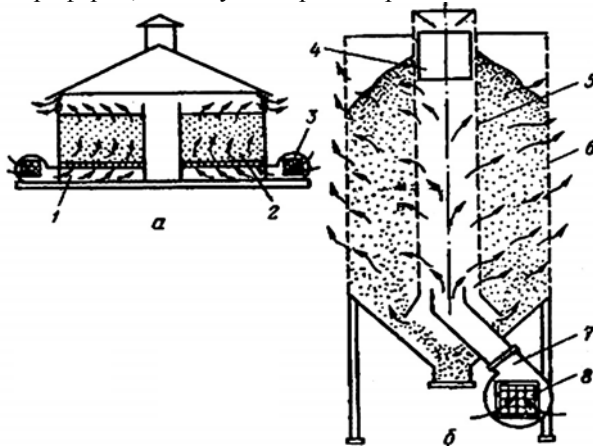
Для активного вентилявання зерна в засіках (рис. 52 а) використовують агрегат ВПЭ-6А з високонапірним вентилятором і ТЕНами. Агрегат встановлюють ззовні приміщення і по мірі обробки переміщують від одного засіка до іншого, під'єднуючи повітро-

розподільчу мережу. Теплова продуктивність – 80000 кДж/год, подача повітря агрегату – 13000 м<sup>3</sup>/год, установлена потужність – 32 кВт, зокрема нагрівників – 22 кВт. Регулювання подачі повітря здійснюється за допомогою жалюзі на вході в агрегат, а потужності – кількістю ввімкнених груп ТЕНів.

Агрегатом ВПЭ-6А одночасно можна сушити зерно у засіках з площею підлоги до 18 м<sup>2</sup> при висоті шару до 1,5 м.

Сушіння закінчують, якщо відносна вологість верхнього шару зерна досягає 15–16%.

Бункер активного вентилявання (рис. 52 б) складається з двох концентричних перфорованих циліндрів 5 і 6, які створюють кільцеподібну камеру, в яку завантажують вологе зерно. Відцентровий вентилятор 7 забирає зовнішнє повітря і нагнітає його у внутрішній циліндр, де змонтовано пересувний запірний поршень з приводом від ручної лебідки. Цей поршень встановлюють трохи нижче верхнього рівня зерна для запобігання виходу теплого повітря у верхню незаповнену частину бункера. Повітря пронизує шар зерна від внутрішнього циліндра до зовнішнього і відбирає надлишкову вологу. За відносної вологості зовнішнього повітря понад 65% вмикається електрокалорифер 8, в якому повітря підігрівається на 5–6°С.



**Рис. 52. Схеми активного вентилявання зерна в засіках (а) і бункерах активного вентилявання (б) :**

1 – повітророзподільний канал; 2 – засік із зерном; 3 – агрегат ВПЭ-6А; 4 – поршень-заглушка; 5 і 6 – внутрішній і зовнішній перфоровані циліндри; 7 – вентилятор; 8 – електрокалорифер

Керування бункером активного вентилявання БВ-25 здійснюється станцією керування ШАИ5803-23А3. У рис. 53 зображено принципіальну електричну схему вентиляваного бункера.

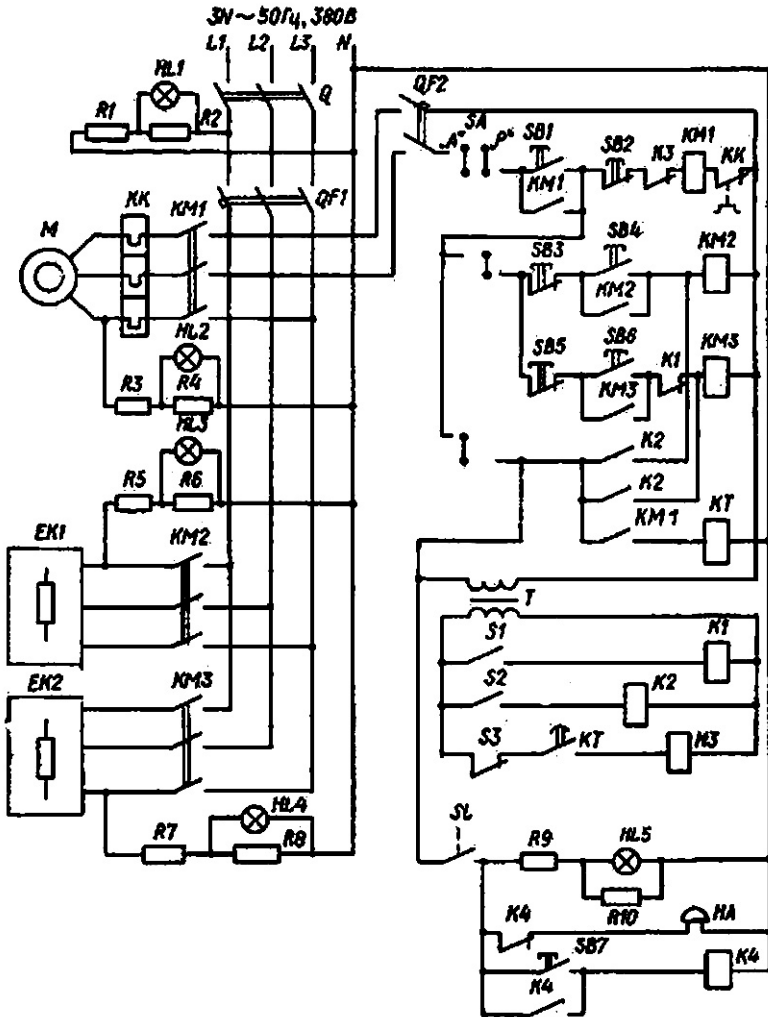


Рис. 53. Принципіальна електрична схема бункера активного вентилявання БВ-25

Схема передбачає ручне і автоматичне керування. При ручному керуванні перемикач SA встановлюють у положення “Р” і вмикають та вимикають електродвигун вентилятора і нагрівальні елементи електрокалорифера за допомогою кнопок SB1–SB6. Про заповнення бункера зерном сигналізують лампа HL5 та дзвоник HA, які вмикаються в електромережу за допомогою датчика рівня зерна SL мембранного типу. Кнопкою SB7 можна вимкнути дзвінок.

При автоматичному керуванні перемикач SA встановлюють у положення “А” і натискають на кнопку SB1. При цьому одержує живлення котушка електромагнітного пускача KM1, останній спрацьовує, вмикає електродвигун вентилятора і замикає коло живлення реле часу KT.

Датчики вологості Sφ1 і Sφ2, відрегульовані відповідно на відносну вологість повітря 70 і 80%, залежно від вологості зовнішнього повітря вмикають одну або дві секції нагрівальних елементів електрокалорифера. За відносної вологості повітря, яке виходить з бункера і дорівнює 65%, контакт датчика вологості Sφ3 розмикається, що призводить до вимикання вентилятора і нагрівальних елементів електрокалорифера. Реле часу KT має витримку часу 9–10 хв, щоб тепле повітря пройшло через зерно і датчик вологості Sφ3, контролювати відносну вологість повітря на виході з бункера.

Таблиця 25

**Технічні дані бункерів активного вентилявання**

Тип	Об'єм бункера, м <sup>3</sup>	Місткість пшениці, т	Подача повітря, м <sup>3</sup> /год	Установлена потужність, кВт		Маса, кг
				нагрівників	двигуна	
СЗЦ-1,5	1,5	1,3	1600	3,3	1,0	275
К-839	38,0	32,5	11000	26,0	8,0	2400
БВ-6	8,5	6,0	3300	9,0	3,0	800
БВ-12,5	17,6	12,5	5600	17,5	5,5	1000
БВ-25	35,0	25,0	11300	25,5	7,5	1750
БВ-50	70	50,0	22500	49,0	13,0	2500

Бункери активного вентилявання вибирають за потужністю електропідігрівників повітря і подачі повітря.

Розрахункову потужність електропідігрівників визначають за формулою

---

---

$$P = \frac{L_B(h_1 - h_0)}{3600\eta_e}, \quad (1.5.1)$$

де  $L_B$  – подача повітря;

$h_0, h_1$  – ентальпії повітря на вході і виході з калорифера;

$\eta_e$  – ККД електрокалорифера.

Для досушування сіна використовують установку УДС-300 (рис. 54), що складається з вентилятора, електрокалорифера потужністю 15 кВт та системи повітропроводів. Установка займає площу 50 м<sup>2</sup> і призначена для досушування сіна з 40–45% вологості. На труби повітропроводів можна накладати шар сіна висотою 6 м.

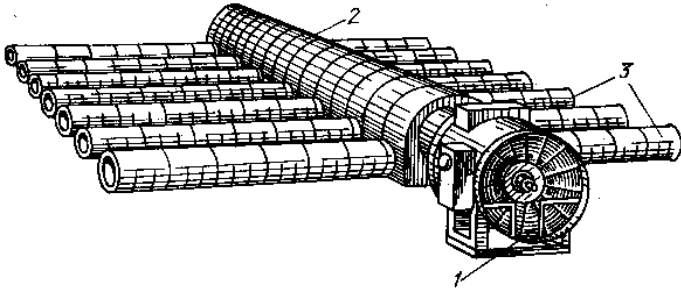
Продуктивність установки – 50–60 т сіна за сезон.

Для сушіння і дезінсекції зерна використовують також інфрачервоні промені. Сушіння зерна інфрачервоними променями відрізняється високою інтенсивністю підведення теплоти. Промені проникають у зерно на глибину 1,2–2 мм. Зерно швидко нагрівається, що може призвести до його псування. Тому в установках для сушіння зерна інфрачервоними променями використовують переривчасте опромінення з одночасним обдуванням холодним повітрям. Як джерела інфрачервоних променів у сушарках зерна використовують інфрачервоні лампи та трубчасті нагрівальні елементи. Зерно у сушарці тонким шаром повільно пересипається по похилому ряду барабанів, які обертаються, і опромінюється інфрачервоними променями. При цьому воно нагрівається до температури +50°C. Шкідники, які знаходяться в зерні, нагріваються до більш високої температури завдяки кращому поглинанню інфрачервоних променів і гинуть.

Дозована дія інфрачервоних променів на насіння сільськогосподарських культур позитивно впливає на їх посівні якості. Розроблено ряд установок для передпосівного опромінення зерна інфрачервоними променями.

Інфрачервоними променями можна також сушити фрукти, овочі та інші сільськогосподарські продукти.

Застосовують інфрачервоні промені і для пастеризації молока. Під дією інфрачервоних променів протягом 3–4 сек знищується близько 100% бактерій, після чого молоко можна тривалий час зберігати при температурі +5°C.



**Рис. 54. Установка УДС-300 для штучного досушування сіна:**  
1 – вентилятор; 2 – повітропровід ; 3 – труба

Для сушіння і дезінсекції зерна використовують високочастотне електричне поле. При цьому теплота виділяється рівномірно по всьому об'єму тіла, тому волога з середини зерна значно скоріше переміщується до поверхні порівняно з іншими способами сушіння.

Доведено також, що перебування зерна в високочастотному електричному полі поліпшує його посівні якості.

#### ***Електротеплова обробка кормів***

Одним з найважливіших питань у тваринництві є приготування високоякісних кормів. Важливу роль може відіграти електротеплова обробка кормів. Уже розроблено технічні рішення для електричного запарювання картоплі, електротермохімічної обробки зерна і соломи, електросилосування кормів тощо. У неелектричних запарниках картоплю витримують протягом 40–60 хв, що призводить до погіршення кормової якості картоплі.

В електричних запарниках через подрібнену на частки розміром 1,5–3 мм і вміщену між пластинчастими електродами картоплю пропускають струм густиною 0,2–0,4 А·см<sup>-2</sup>. Проходячи через картопляну масу, він швидко нагріває її до заданої температури.

*Електротермохімічну обробку соломи* проводять так: спочатку її обробляють 2% содово-сольовим розчином кальцинованої соди і кухонної солі. Потім її завантажують у ящик, на дні якого встановлюють електрод з листової сталі. Зверху також ставлять електрод з листової сталі. Потім установку вмикають у електромережу. Густину струму на пластинчастих електродах при електротермохімічній обробці соломи рекомендують у межах 0,1–0,3 А·см<sup>-2</sup>. В

---

---

установках для електротермохімічної обробки соломи бажано використовувати електроди з високохромистої нержавіючої сталі, а при електрозапарюванні картоплі – графітні.

### ***Електричні пастеризатори***

Для знищення хвороботворних бактерій молоко пастеризують. Пастеризація буває тривалою, короткочасною і миттєвою. При тривалій пастеризації молоко нагрівають до температури + 63–65°C і витримують у нагрітому стані протягом 30 хв. При короткочасній пастеризації його нагрівають—до +72 – +76°C і витримують 15–20 сек, при миттєвій пастеризації до +85 – +87°C без витримування.

Після пастеризації молоко охолоджують до температури +5 – +10°C.

У найбільш поширених пастеризаторах молока пара нагріває стінки резервуара, по яких тонким шаром протікає молоко.

В електропастеризаторах тонкий шар молока нагрівається інфрачервоними променями, які добре поглинаються молоком. При цьому молоко можна ще й опромінювати ультрафіолетовими променями, які закріплюють бактерицидний ефект пастеризації і збагачують молоко вітамінами групи D.

### **◆ Питання для самоперевірки**

1. Для чого застосовують активне вентилявання зерна і сіна?
2. Які агрегати і установки застосовують для активного вентилявання зерна?
3. За якої вологості можливе тривале зберігання зерна?
4. Як здійснюється активне вентилявання зерна в засіках?
5. Будова і принцип дії бункера активного вентилявання зерна.
6. Робота принципіальної електричної схеми бункера активного вентилявання зерна.
7. Якими параметрами визначається потужність електропідігрівачів в установках активного вентилявання?
8. Як здійснюється активне вентилявання сіна?
9. Як здійснюється електротермохімічна обробка соломи?
10. Як здійснюється сушіння зерна інфрачервоним випромінюванням?
11. Як здійснюється електропастеризація молока?

---

---

## Тести

1. Для сушіння зерна широко використовують ...
  - а) припливно-витяжні установки ПВУ-4М, УДС-300;
  - б) комплекти вентиляційного обладнання “Клімат-4М”, тепло-вентилятори ТВ-6;
  - в) електрокалориферні установки, тепловентиляційні агрегати ВПЭ-6А та бункери активного вентилявання, БВ-6, БВ-12,5, БВ-25, БВ-50.
2. Тривало зберігати зерно можна за відносної вологості не вище ...
  - а) 18–22%; б) 14–16%; в) 25–30%.
3. Зерно можна сушити без підігрівання повітря за відносної вологості повітря менше ...
  - а) 65%; б) 70%; в) 75%.
4. Бункери активного вентилявання вибирають ...
  - а) за потужністю електропідігрівників повітря і подачі повітря;
  - б) за температурою і вологістю зерна;
  - в) за кількістю зерна і його засміченістю.
5. Розрахункову потужність електропідігрівників установок активного вентилявання зерна визначають за формулою ...
  - а)  $P = \frac{m c L_B (h_1 - h_0)}{3600 \eta_e}$ ; б)  $P = \frac{m c L_B (h_1 - h_0)}{3600 \eta_e}$ ;
  - в)  $P = \frac{G L_B (h_1 + h_0)}{3600 \eta_e T}$ .
6. Автоматичне керування процесом активного вентилявання зерна здійснюється у функції ...
  - а) часу; б) температури; в) вологості.
7. В установках для сушіння зерна інфрачервоними променями використовують ...
  - а) переривчасте опромінення з одночасним обдуванням холодним повітрям;
  - б) безперервне опромінення з одночасним обдуванням холодним повітрям;
  - в) переривчасте опромінення без обдування холодним повітрям.
8. Установка УДС-300 призначена для ...
  - а) активного вентилявання зерна;
  - б) досушування сіна вологістю 40–45%;

- 
- 
- в) очищення і сушіння зерна вологістю 20–22%.
9. Установка УДС-300 займає площу ...
- а) 25 м<sup>2</sup>; б) 50 м<sup>2</sup>; в) 70 м<sup>2</sup>.
10. На труби повітропроводів установки УДС-300 можна накладати шар сіна висотою ...
- а) 2 м; б) 4 м; в) 6 м.
11. В електричних запарниках через подрібнену на частки розміром 1,5–3 мм і вміщену між пластинчастими електродами картоплю пропускають струм густиною ...
- а) 0,05–0,1 А·см<sup>-2</sup>; б) 0,1–0,15 А·см<sup>-2</sup>; в) 0,2–0,4 А·см<sup>-2</sup>.
12. Перед електротермохімічною обробкою соломи її обробляють ...
- а) 10% содово-сольовим розчином кальцинованої соди і кухонної солі;
- б) 2% содово-сольовим розчином кальцинованої соди і кухонної солі;
- в) 20% содово-сольовим розчином кальцинованої соди і кухонної солі.
13. За короткочасної пастеризації молоко ...
- а) нагрівають до температури +63–65°C і витримують у нагрітому стані протягом 30 хв.
- б) нагрівають до +72 – +76°C і витримують 15–20 сек;
- в) нагрівають до +85 – +87°C без витримування.
14. В установках для електротермохімічної обробки соломи бажано використовувати електроди ...
- а) з високохромистої нержавіючої сталі; б) графітні; в) алюмінієві.
15. В установках для електротермохімічної обробки картоплі бажано використовувати електроди ...
- а) алюмінієві; б) з високохромистої нержавіючої сталі; в) графітні;

### Виконайте

#### Лабораторна робота

Дослідження електрообладнання бункера активного вентилявання зерна.

---

---

## Практичне заняття

Розрахунок і вибір установки для активного вентилявання зерна.

### **1.6. ЕЛЕКТРИЧНІ ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ І ТЕПЛОВІ НАСОСИ**

Компресорні холодильні машини, їх будова, принцип дії, термодинамічний цикл, технічні характеристики, основні енергетичні параметри, схеми керування.

Термоелектричне охолодження. Фізичні принципи, енергетичні співвідношення. Принцип побудови термоелектричної батареї. Термоелектричні холодильники.

Електротеплові насоси (ЕТН). Принцип дії ЕТН компресорного і термоелектричного типів, коефіцієнт перетворення енергії. Економічна ефективність застосування ЕТН. Побутові холодильники.



#### Прочитайте

Л–4, с. 347–352; Л–10, с. 298–306.

#### ***Холодильні машини***

Одним з ефективних способів консервації і зберігання сільськогосподарських продуктів є їх охолодження. Охолоджують молоко, м'ясо, свіжу рибу, масло, овочі, ягоди при короткочасному зберіганні, а при тривалому зберіганні заморожують у спеціальних холодильних камерах. Для одержання холоду застосовують холодильні машини.

Пристрій, який здійснює перенесення теплоти від середовища з нижчою температурою до середовища з вищою температурою, називають трансформаторами теплоти. Залежно від цілей процесу один і той же трансформатор теплоти може охолоджувати робоче середовище, працюючи як холодильна машина, або нагрівати робоче середовище, працюючи як тепловий насос, або одночасно охолоджувати одне робоче середовище і нагрівати інше (комбінований режим). Останній режим найбільш ефективний в енергетичному і економічному відношеннях.

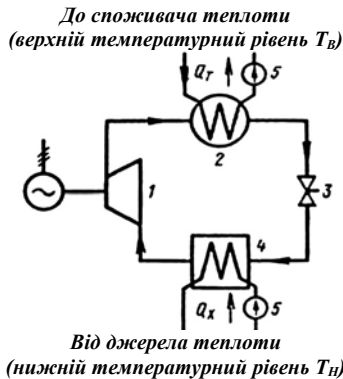
Згідно з законами термодинаміки, перенесення теплоти від середовища з нижчою температурою до середовища з вищою температурою можливе при споживанні трансформатором теплоти зовнішньої енергії (електричної, механічної та ін.)

Трансформатори теплоти можуть бути компресійними (механічними), абсорбційними (термохімічними), напівпровідниковими (термоелектричними). Найбільше розповсюдження мають компресійні трансформатори частоти, а найбільш досконалі і перспективні термоелектричні.

Так, для охолодження і зберігання молока на фермах використовують холодильні установки УВТ-10, АВ 30, МВТ-14, МВТ-20, резервуари-охолоджувачі молока ТОМ-2А, ТО-2, ТОВ-1, РПО-1,6, РПО-2,5 та ін.

Для охолодження і зберігання фруктів у сховищах використовують фреонові холодильні установки ХМФ-16 та ХМФ-32. Всі ці установки мають компресійні електрохолодильні машини.

Принципальну схему роботи компресійної холодильної машини зображено у рис. 55. Компресор 1 відсмоктує з випарника 4 вологу пару газоподібного фреону, стискає її і нагнітає в конденсатор 2. У конденсаторі газоподібний фреон охолоджується і перетворюється на рідину. Під тиском рідкий фреон протікає через терморегулюючий вентиль 3, дроселюється, тобто різко знижує свій тиск, і надходить у випарник 4. Внаслідок зниження тиску фреон випаровується (закипає) і відбирає теплоту з води, яка оточує випарник. Холодна вода подається насосом в охолоджувач. З випарника газоподібний фреон знову засмоктується компресором і далі його рух повторюється.



**Рис. 55. Принципіальна схема роботи компресійної холодильної машини:**

- 1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – терморегулюючий вентиль;  
4 – випарник; 5 – насос (вентилятор)

---

---

В холодильних машинах найчастіше використовують холодильний агент R12 (фреон – 12) – діфтордіхлорметан  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  з температурою кипіння  $(-29,7^\circ\text{C})$  і холодильний агент R17 – аміак  $\text{NH}_3$  з температурою кипіння  $(-33,4^\circ\text{C})$ .

Основними параметрами холодильних машин є *холодопродуктивність*  $P_x$  і *холодильний коефіцієнт*  $\varepsilon$ .

Холодопродуктивність,  $\text{кДж}\cdot\text{год}^{-1}$  (холодильна потужність, кВт) – це кількість теплоти, яку холодильна машина може відібрати з охолоджуваного середовища за одиницю часу.

$$P_x = \frac{Q_x}{T} = \frac{Kmc(\theta_1 - \theta_2)}{3600T}, \quad (1.6.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу,  $K=1,2$ ;

$Q_x$  – кількість теплоти, що відбирається з охолоджуваного середовища за проміжок часу  $T$  (год),  $\text{кДж}$ ;

$m$  – маса охолоджуваного середовища,  $\text{кг}$ ;

$C$  – питома теплоємність охолоджуваного середовища,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;

$\theta_1$  і  $\theta_2$  – початкова і кінцева температури,  $^\circ\text{C}$ .

Холодильний коефіцієнт є величиною безрозмірною і являє собою відношення холодопродуктивності до затраченої компресором роботи за одиницю часу

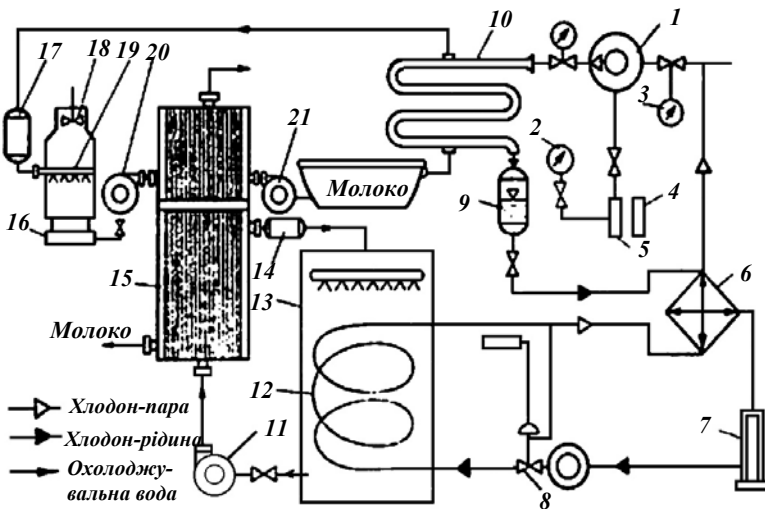
$$\varepsilon = \frac{Q_x}{W\eta_k\eta_d}, \quad (1.6.2)$$

де  $W$  – енергія, яка споживається електродвигуном компресора за час  $T$ ,  $\text{кДж}$ ;

$\eta_k$  – ККД компресора  $(0,6-0,7)$ ;

$\eta_d$  – ККД електродвигуна.

Водохолодильна установка АВ-30 призначена для охолодження води, використовується на молочних фермах і комплексах під час охолодження молока в проточних емкостях-охолодниках (РПО-1,6, РПО-2,5). Температура охолодження молока  $4-5^\circ\text{C}$ . Установка працює за замкнутим циклом (рис. 56). Пари холодоагенту (фреон-Р12) поступають у компресор з випарника, стискаються і попадають у конденсатор, де фреон у вигляді газу перетворюється в рідину і подається в ресивер. З ресивера рідкий холодоагент поступає у випарник, проходить послідовно через фільтр-осушник, теплообмінник і терморегулювальний вентиль.



**Рис. 56. Технологічна схема водоохолоджувальної установки АВ-30:**

- 1 – компресор; 2, 3 – манометри; 4, 5 – реле тиску та контролю мащення; 6 – теплообмінник; 7 – фільтр-осушник;
- 8 – терморегулюючий вентиль; 9 – ресивер; 10 – конденсатор;
- 11, 20 – водяні насоси; 12 – випарник; 13 – бак;
- 14, 17 – водяні фільтри; 15 – охолодник молока; 16 – градирня;
- 18 – вентилятор; 19 – зрошувач; 21 – молочний насос

У випарнику холодоагент випаровується і тепло відокремлюється від холодної води, яка зрошує поверхню випарника. Пари холодоагента йдуть у регенеративний теплообмінник, де нагріваються за рахунок теплообмінника з рідким фреоном і відсмоктуються в компресор. Установка комплектується малогабаритною градирнею ГПВ або МГ. Установка може працювати в автоматичному та напівавтоматичному режимах. Основний режим роботи установки автоматичний. Напівавтоматичний застосовується під час знаходження неполадок і налагодження. Перед початком роботи необхідно ввімкнути вимикач QF1 та вибрати режим роботи керування перемикачами S1 та S2 (рис. 57). При установці перемикачів S1 та S2 з положення “А” (автоматичний режим) відбувається запуск електродвигунів у послідовності: M2, M3 та M1, Двигун M4 приводу вентилятора градирні вмикається температурним реле SK2 при

температурі води на виході вище 23,5°C. Коли температура води буде нижче 7°C, контакт реле SK3 розмикається і двигун M4 від'єднується. Температура холодоносія контролюється температурним реле SK1. Під час зниження температури нижче встановленого рівня контакти реле SK1 розмикаються і електродвигуни компресора та насоса градирні від'єднуються. Реле часу KT контролює режим мащення компресора. Якщо в процесі запуску тиск масла в компресорі недостатній для замикання контактів реле тиску SP2, то через 90 сек після включення реле KT установка вимикається. Реле тиску SP1 від'єднує установку при підвищенні тиску фреону вище норми.

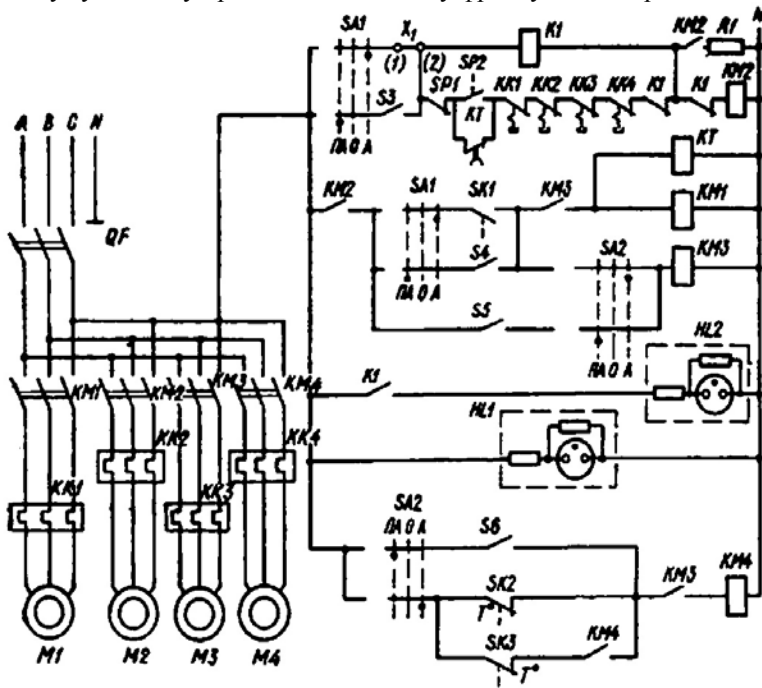


Рис. 57. Принципіальна електрична схема установки АВ-30

Спрацювання будь-якого елемента захисту в ланцюгу котушки пускача KM2 призводить до розшунтування реле K1. При цьому відбувається перерозподіл напруги між обмотками реле K1 та магнітного пускача KM2 таким чином, що пускач KM2 від'єднується, а реле K1 вмикається з живленням через додатковий резистор R1. При

---

---

замиканні контакту апарата захисту (SP1, SP2, KK1, KK2, KK3, KK4) магнітний пускач КМ2, а також установка в цілому автоматично не вмикаються. Обслуговуючий персонал повинен привести схему у висхідне положення: включити і виключити перемикач S1. Світловий індикатор HL1 показує на наявність напруги в схемі керування, а HL2 – про аварійне відключення установки. Під час установки перемикачів S1 та S2 в положення “ПА” (напівавтомат) вмикання і вимикання пускачів КМ1, КМ2, КМ3 та КМ4 виконується тумблерами S3, S4 та S6. Якщо воду з установки АВ-30 подають на приточні охолоджувачі молока, то між зажимами (1) та (2) підключають керуючі контакти від шафи керування резервуара-охолодника.

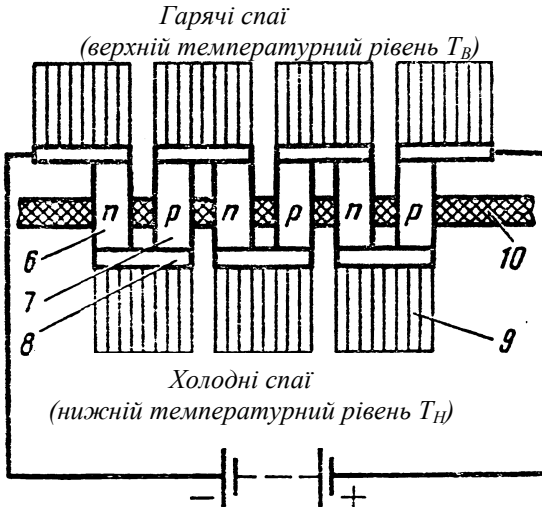
*Резервуар-охолодник молока МКА-2000Л-2А з рекуператором тепла (ТУ 105.2.3Д.797.83) застосовується для зберігання добового надюю молока у тваринницьких фермах без проміжного холодоносія (води) з одночасним одержанням теплої води для технічних потреб. Складається з молочної ванни, компресорно-конденсатного агрегату ДХ2-28-068/0, трубопроводів, розподільної шафи, електронасоса та рекуператора. Дно молочної ванни виконано у вигляді щільного випарника, який є основною частиною компресорно-конденсаторного агрегату. Як холодоагент використовується газ фреон-Р12. Молочна ванна виконана з нержавіючої сталі. Зовнішня частина ванни покрита шаром теплоізоляції. Молоко охолоджується до заданої температури в автоматичному або ручному режимах. Під час роботи холодильного агрегату працює мішалка молока, яка під час досягнення установленної температури вимикається. Відкачують молоко з молочної ванни електронасосом. На одному з торців ванни знаходиться холодильна арматура, ящик керування з чотирипозиційним перемикачем режимів роботи і температур, термометр для візуального контролю температури молока, який знаходиться у ванні. Кількість молока у ванні визначається мірною лінійкою. З ванни молоко відкачується в цистерну насосом 36-3ЦЗ,5–10. Для використання теплоти конденсації перегрітих парів та одержання теплої води резервуар-охолодник обладнано рекуператором, в якому вода нагрівається до температури 50–60°С. Воду з вищою температурою можна одержати використовуючи додатковий електронагрівник. При охолодженні 1 т молока одержують 0,7 т води температурою до 50°С. Резервуар МКА-2000Л-2А дозволяє зекономити до 2,5 т умовного палива в рік.*

## Технічні характеристики холодильних установок

Показники	УВТ-10	АВ-30	МВТ-14	МВТ-20
Холодопродуктивність при температурі на виході з випарника 2°C, кВт	9,0	39,0	14,6	20,4
Витрати води, м <sup>3</sup> /год	1,2	9,0	6,0	6,0
Встановлена потужність, кВт	6,5	18,0	6,5	9,4

**Термоелектричні холодильники**

У термоелектричних холодильниках трансформатором теплоти є термоелектрична батарея, яка складається з великої кількості послідовно з'єднаних напівпровідників термоелементів з електронною ( $n$ ) і дірковою ( $p$ ) провідністю (рис. 58).



**Рис. 58. Принципіальна схема термоелектричного трансформатора теплоти:**

- 6, 7 – гілка термоелементів з електронною ( $n$ ) і дірковою ( $p$ ) провідністю; 8 – пластина спаю термоелементів; 9 – радіатори;
- 10 – перегородка, ізолююча гарячі і холодні спаї

В основі роботи термоелектричних трансформаторів теплоти лежить явище Пельтьє. Під час пропускання постійного електричного струму від додатного  $p$  елемента до від'ємного  $n$  в місці їх контакту

---

---

(спаю) відбувається виділення теплоти, а при зворотному напрямі струму – поглинання. Таким чином, у термоелектричній батареї чергуються гарячі спаї, в яких виділяється теплота – верхній температурний рівень  $T_B$  і холодні спаї, поглинаючі теплоту, – нижній температурний рівень  $T_H$ .

Фізична суть явищ термоелектричного охолодження і нагрівання полягає в такому місці спаю двох різнорідних провідників, де виникає внутрішня (контактна) різниця потенціалів, обумовлена різною роботою виходу електронів. Під час пропускання струму по колу термоелементів в одному контакті, де напрям потоку електронів співпадає з контактною різницею потенціалів, кінетична енергія електронів зростає і спай нагрівається (*p-n-перехід*). В іншому спай контактна різниця потенціалів гальмує електрони (ім необхідно подолати енергетичний бар'єр, для чого потрібна енергія) і спай охолоджується (*n-p-перехід*). При зміні напрямку протікання струму положення змінюється на зворотне.

Теплота, що виділяється гарячими спаями або поглинається холодними, носить назву теплоти Пельтьє і визначається за формулою

$$Q_{II} = \Pi I, \quad (3)$$

де  $\Pi$  – коефіцієнт Пельтьє, В;

$I$  – сила струму в колі термоелементів, А.

Коефіцієнт Пельтьє

$$\Pi = (\alpha_1 - \alpha_2)T, \quad (1.6.4)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти термо-ЕРС гілок термоелемента, В/°К;

$T$  – температура відповідного спаю, °К.

Помістивши холодні спаї в холодильну камеру, а гарячі – зовні, отримаємо термоелектричний холодильник. У практиці тваринництва застосовують невеликі за потужністю переносні термоелектричні холодильники, які живляться від сухих елементів і призначені для швидкого охолодження і зберігання біологічних об'єктів у селекційній роботі і ветеринарії.

Термоелектричні теплові насоси особливо перспективно застосовувати в якості кондиціонерів. Легкий перехід від охолодження на нагрів, висока гнучкість у порівнянні із звичайними системами дають значні переваги термоелектричним кондиціонерам.

### ***Електротеплові насоси***

У сільському господарстві часто виникає потреба одні продукти нагрівати, а інші – охолоджувати. “Перекачувати” теплоту від одних продуктів до інших з невеликою витратою електричної енергії можуть

---

---

компресійні теплові насоси. Ці насоси працюють за оберненим термодинамічним циклом подібно до холодильних машин (рис. 55). Компресор подає газоподібний фреон з температурою +80 – +90°C в конденсатор-теплообмінник, де фреон, віддаючи тепло воді, охолоджується і перетворюється на рідину. Далі фреон надходить у випарник, занурений у розсіл.

Під час випаровування фреон охолоджує розсіл. Холодний розсіл насосом подається в охолоджувач молока. Із випарника газоподібний фреон знову надходить у компресор, і далі його рух повторюється.

Економічність роботи теплових насосів характеризують коефіцієнтом перетворення енергії

$$K_{\text{ПЕ}} = \frac{Q_x + Q_T}{W}, \quad (1.6.5)$$

де  $Q_x$  – холодопродуктивність установки, кДж · год<sup>-1</sup>;

$Q_T$  – теплопродуктивність установки, кДж · год<sup>-1</sup>;

$W$  – спожита тепловим насосом енергія, кДж · год<sup>-1</sup>.

Формула (1.6.5) вірна для циклу, коли доводиться одні продукти охолоджувати, а інші – нагрівати. Якщо тепловий насос використовують тільки для охолодження або нагрівання (наприклад, у системах створення штучного мікроклімату), то коефіцієнт перетворення енергії визначають за формулою

$$K_{\text{ПЕ}} = \frac{Q_T}{W}, \quad (1.6.6)$$

Величина коефіцієнта  $K_{\text{ПЕ}}$  знаходиться в межах 2,5–5. Отже, на одиницю затраченої енергії можна одержати 2,5–5 одиниць теплоти. При цьому енергія не створюється, а передається від одного середовища іншому.

Випускаються компресійні фреонові теплові насоси НТ-25, НТ-40, НТ-80 тепловою потужністю від 11,6 до 128 кВт, термоелектричні ТН-1,5, ТН-3, ТН-5, ТН-7,5 теплопродуктивністю від 2,9 до 14,5 кВт.

---

---

## Приклад

Вибрати холодильну установку для охолодження 2500 кг від температури  $\theta_1 = 36^{\circ}\text{C}$  до  $\theta_2 = 5^{\circ}\text{C}$ , тривалість охолодження  $T=3$  год.

### Розв'язання

Визначаємо холодильну потужність за формулою

$$P_x = \frac{Kmc(\theta_1 - \theta_2)}{3600T} = \frac{1,2 \times 2500 \times 3,932(36 - 5)}{3600 \times 3} = 33,85 \text{ кВт.}$$

Вибираємо холодильну установку типу АВ-30: холодильна потужність  $P_{x,y} = 35$  кВт; споживана потужність – 18 кВт.

## ПОБУТОВІ ХОЛОДИЛЬНИКИ

За принципом дії побутові холодильники поділяються на компресійні, абсорбційні та термоелектричні. Компресійні та абсорбційні холодильники живляться від електромережі напругою 127 і 220 В і використовуються в домашніх умовах. Термоелектричні холодильники виготовляються у вигляді переносних, живляться від джерел постійного струму напругою 12 або 24В і називаються автомобільними.

Холодильники класифікують:

- за призначенням – на холодильники і морозильники (М);
- за способом отримання холоду – на компресійні (К), абсорбційні (А) і термоелектричні (ТЕ);
- за способом встановлення – на вбудовані наземні у вигляді шафи (Ш), вбудовані наземні у вигляді стола (С), вбудовані настінні (Н), блочно-вбудовані (Б), переносні (П);
- за ступенем комфортності – на холодильники звичайні й підвищеної (П) комфортності;
- за кількістю камер – на однокамерні й двокамерні (Д);
- за загальним об'ємом холодильної камери у кубічних дециметрах.

### *Компресійні холодильники*

Холодоагентом у компресійних холодильниках є хладон-12 (дифтордихлорметан). Пара хладону компресором 7 (рис. 59) відсмоктується з випарника 1 через трубку 2. Стиснена компресором пара по напірній трубці 8 подається у конденсатор 3. Там вона віддає тепло у навколишнє середовище, внаслідок чого зріджується.

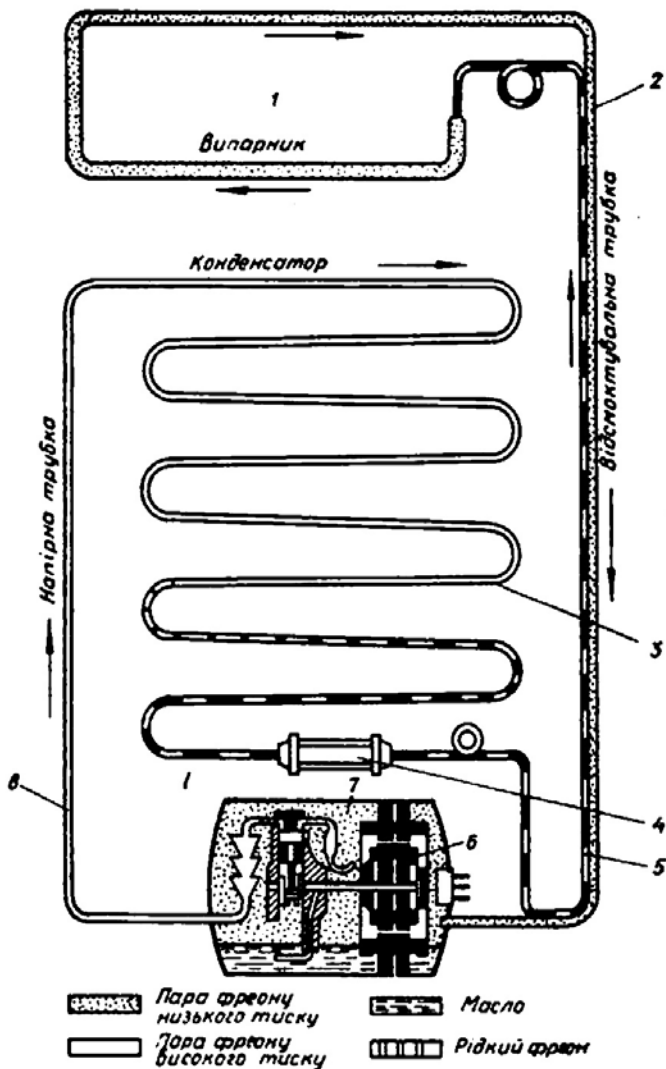


Рис. 59. Холодильний апарат компресійного холодильника:  
1 – випарник; 2 – трубка; 3 – конденсатор; 4 – фільтр осушник;  
5 – капілярна трубка; 6 – електродвигун; 7 – компресор

---

---

Рідкий хладон із конденсатора надходить у фільтр-осушник 4, а з нього через капілярну трубку 5 у випарник 1. Капілярна трубка створює необхідний для роботи агрегату перепад тиску від 600–1050 кПа в конденсаторі до 98 кПа у випарнику.

При низькому тиску рідкий холодоагент кипить, відбираючи теплоту зі стінок випарника і повітря холодильної камери. З випарника пара хладону через всмоктувальну трубку 2 знову засмоктується компресором і далі його рух повторюється. Компресор приводиться в рух електродвигуном 6.

### ***Абсорбційні холодильники***

Побутові холодильники абсорбційного типу призначені для короткочасного зберігання швидкопсувних харчових продуктів і вироблення харчового льоду.

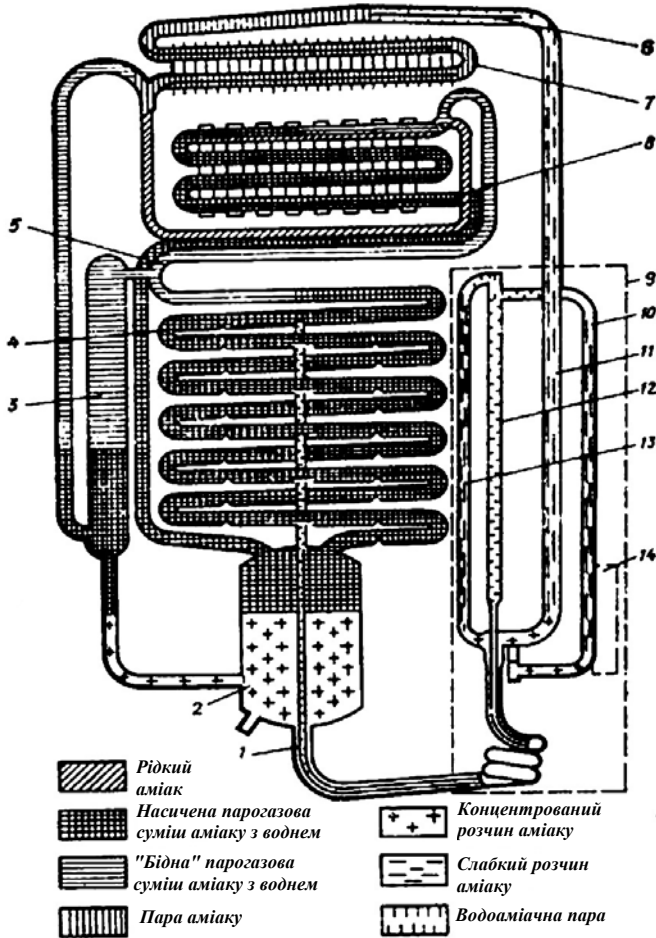
Особливістю абсорбційних холодильників є відсутність рухомих частин, завдяки чому збільшена їх довговічність і усунуто шум, але вони споживають більше електроенергії, ніж компресійні холодильники. Продуктивність абсорбційних холодильників значно нижча за компресійні, тому процес охолодження в них проходить значно повільніше.

В абсорбційних холодильниках відбувається процес поглинання (абсорбції) рідким або твердим поглиначем пари холодоагенту, що утворюється у випарнику. Холодоагентом є аміак, а поглиначем – вода. При цьому утворюється водно-аміачний розчин.

Агрегат заповнюється водно-аміачним розчином і воднем під тиском 1,47–1,96 Мпа. Водень створює протитиск парові аміаку в конденсаторі.

Холодильний агрегат працює так: концентрований водно-аміачний розчин з початковою концентрацією близько 35% підігрівается нагрівником 14 (рис. 60) у термосифоні 10 генератора 9 до температури 165–175°C. Парорідинна суміш, що утворилася під час кипіння розчину, піднімається по термосифону вгору. Після виходу з термосифона суміш розділяється: водно-аміачна пара спрямовується до паровідвідної трубки 13, а слабкий водно-аміачний розчин через трубку 12 і теплообмінник і надходить у верхню частину абсорбера 4. Водно-аміачна пара з трубки 13 проходить через регенератор 11 і дефлегматор 6 у конденсатор 7. У регенераторі відбувається підвищення концентрації аміаку завдяки охолодженню пари концентрованим розчином. Остаточне очищення пари аміаку від домішок води відбувається внаслідок охолодження суміші у

дефлегматорі 6. При цьому флегма (концентрований розчин аміаку) по трубці повертається до генератора, а очищена пара аміаку охолоджується і зріджується в конденсаторі 7.



**Рис. 60. Холодильний агрегат абсорбційного холодильника:**  
 1 – теплообмінник; 2 – збірник розчину; 3 – акумулятор водню;  
 4 – абсорбер; 5 – регенеративний теплообмінник; 6 – дефлегматор;  
 7 – конденсатор; 8 – випарник; 9 – генератор; 10 – термосифон;  
 11 – регенератор; 12, 13 – трубки; 14 – нагрівник

---

---

Охолоджений рідкий аміак надходить у випарник 8, де відбувається його випаровування, що супроводжується поглинанням тепла з холодильної камери.

Між випарником і абсорбером циркулює водень у суміші з аміаком під великим тиском. У випарнику аміачна пара змішується з бідною водно-аміачною сумішшю і через регеративний газовий теплообмінник 5 опускається до збірника розчину 2. Туди ж через теплообмінник 1 надходить і частина рідкого аміаку, що не випарувалася. Опускаючись по трубах абсорбера, слабкий аміачний розчин, що надійшов по трубці 12, абсорбує пару аміаку з багатої водно-аміачної суміші та у вигляді концентрованого розчину нагромаджується у збірнику розчину 2.

Питома вага водно-аміачної суміші, збідненої внаслідок абсорбції, значно зменшується. Суміш виштовхується з абсорбера вгору в регеративний теплообмінник 5, де охолоджується насиченою водно-аміачною сумішшю, що надходить з випарника. Охолоджена бідна водно-аміачна суміш знову надходить у випарник.

Концентрований водно-аміачний розчин із збірника 2 надходить у теплообмінник розчинів 1, де підігрівається слабким водно-аміачним розчином, що повертається з генератора по трубці 12. Нагрітий насичений водно-аміачний розчин піднімається у термосифон 10 і процес повторюється.

Акумулятор водню 3 збирає водень та газоподібний аміак і стабілізує роботу холодильного агрегату при підвищенні температури навколишнього середовища.

### ❖ Питання для самоперевірки

1. Що таке трансформатори теплоти і де вони застосовуються?
2. Як поділяються трансформатори теплоти за принципом дії?
3. Поясніть принцип дії компресорної холодильної машини.
4. Які холодильні агенти використовуються в холодильних машинах?
5. Що таке холодопродуктивність і холодильний коефіцієнт?
6. Поясніть роботу технологічної схеми водоохолоджувальної установки АВ-30.
  1. Поясніть роботу електричної схеми водоохолоджувальної установки АВ-30.
  2. У чому полягає явище Пельтьє?

- 
- 
3. Поясніть принцип дії термоелектричного трансформатора теплоти.
  4. Поясніть принцип дії електротеплових насосів.
  5. Як визначити коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса?
  6. Назвіть типи теплових насосів.

### Тести

1. Пристрій, який здійснює перенесення теплоти із середовища з нижчою температурою до середовища з вищою температурою, називають ...
  - а) підсилювачем теплоти;
  - б) компенсатором теплоти;
  - в) трансформатором теплоти.
2. Трансформатори теплоти можуть бути ...
  - а) компресійними, абсорбційними, напівпровідниковими;
  - б) електродинамічними, діелектричними;
  - в) гідродинамічними, електромагнітними.
3. У компресійних трансформаторах теплоти ...
  - а) термохімічна енергія перетворюється в теплову;
  - б) механічна енергія перетворюється в теплову;
  - в) електрична енергія перетворюється в теплову.
4. Холодопродуктивність,  $\text{кДж}\cdot\text{год}^{-1}$  (холодильна потужність, кВт), – це ...
  - а) кількість теплоти, необхідної для охолодження 1 кг матеріалу;
  - б) потужність, споживана електродвигуном компресора;
  - в) кількість теплоти, яку холодильна машина може відібрати від охолоджуваного середовища за одиницю часу.
5. Холодильний коефіцієнт є величиною безрозмірною і є ...
  - а) відношенням затраченої компресором роботи за одиницю часу до холодопродуктивності;
  - б) відношенням холодопродуктивності до затраченої компресором роботи за одиницю часу;
  - в) відношенням холодопродуктивності до потужності двигуна компресора.
6. У термоелектричних холодильниках трансформатором теплоти є ...
  - а) термоелектрична батарея, яка складається з великої кількості послідовно з'єднаних напівпровідників термоелементів з електронною ( $n$ ) і дірковою ( $p$ ) провідністю;

---

---

б) термоелектрична батарея, яка складається з великої кількості послідовно з'єднаних провідників термоелементів;

в) термоелектрична батарея, яка складається з великої кількості послідовно з'єднаних діелектриків термоелементів.

7. Фреон випаровується (закипає) внаслідок ..

а) підвищення тиску після дроселюючого вентиля;

б) зниження тиску після дроселюючого вентиля;

в) зниження тиску після компресора.

8. Теплота, що виділяється гарячими спаями або поглинається холодними, носить назву теплоти Пельтьє і визначається за формулою...

а)  $Q_{II} = \frac{II}{I}$ ; б)  $Q_{II} = \frac{I}{II}$ ; в)  $Q_{II} = III$ .

9. Коефіцієнтом перетворення енергії теплових насосів визначається за формулою ...

а)  $K_{HE} = \frac{Q_X + Q_T}{W}$ ; б)  $K_{HE} = \frac{Q_X - Q_T}{W}$ ; в)  $K_{HE} = \frac{Q_X Q_T}{W}$ .

10. Температура кипіння (фреону -12) діфтордіхлорметану  $CF_2Cl_2$  ...

а) (-33,4 °C); б) (-23,4 °C); в) (-29,7°C).

11. До чого призводить зміна напрямку протікання струму в термоелектричній батареї ?

а) до збільшення холодопродуктивності;

б) до зменшення холодопродуктивності;

в) холодні спаї стануть гарячими, а гарячі спаї стануть холодними.

12. Холодильна потужність визначається за формулою...

а)  $P_X = \frac{3600T}{Kmc(\theta_1 - \theta_2)}$ ; б)  $P_X = \frac{Kmc(\theta_1 - \theta_2)}{3600T}$ ; в)  $P_X = \frac{IU(\theta_1 - \theta_2)}{3600T}$ .

13. Для живлення термоелектричних холодильників застосовується...

а) постійний струм; б) змінний струм; в) струм високої частоти.

14. Для охолодження молока застосовують такі типи холодильних установок:

а) БВ-25, ВПЕ-6А; б) УВТ-10; АВ-30; МВТ-14; в) ПВУ-6М, СФОЦ-25.

15. У випарнику холодильної установки ...

а) температура холодоносія зростає, а холодильного агента зменшується;

---

---

б) температура холодоносія зменшується, а холодильного агента зростає;

в) температура холодоносія зростає, а холодильного агента не змінюється.

### Виконайте

#### **Лабораторна робота**

Дослідження електрообладнання холодильної установки.

#### **Практичне заняття**

Розрахунок і вибір холодильних установок.

### ***1.7. ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ***

Електричні печі, призначення, будова, електричні схеми керування.

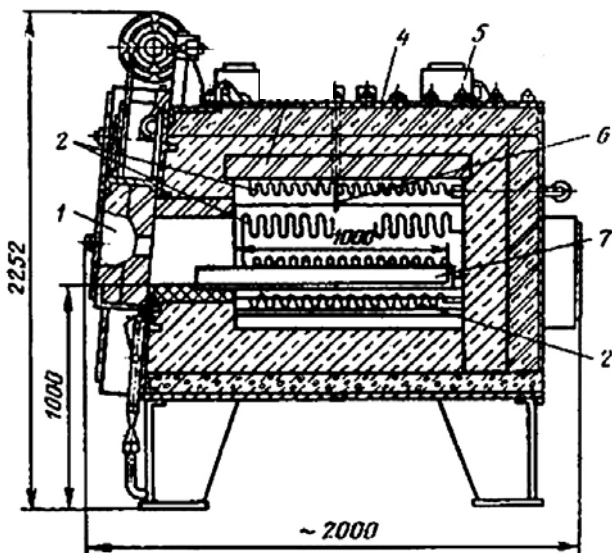
Електричні соляні, масляні, лужні ванни. Електровулканізатори.

### Прочитайте

Л–2, с. 248–257; Л–4, с. 353–357.

У ремонтних майстернях застосовують електричні печі для нагрівання і термічної обробки деталей; електричні соляні, масляні та лужні ванни; установки індукційного нагрівання промислової, середньої та високої частоти.

Під час нагрівання деталей для загартування, відпалу, штампування, пресування, кування, пайки твердими припоями тощо в ремонтних майстернях використовують електричні печі низькотемпературного (до +700°C), середньотемпературного (до +1200°C) і високотемпературного (до +1300°C) нагрівання. Печі мають камеру, викладену з вогнетривкої цегли, теплову ізоляцію, електронагрівальні елементи з ніхрому круглого або прямокутного перерізу, металевий кожух (рис. 61) і шафу керування. Задана температура в камері підтримується автоматично за допомогою двопозиційного регулятора температури. Печі вмикають в електромережу безпосередньо або через автотрансформатори.

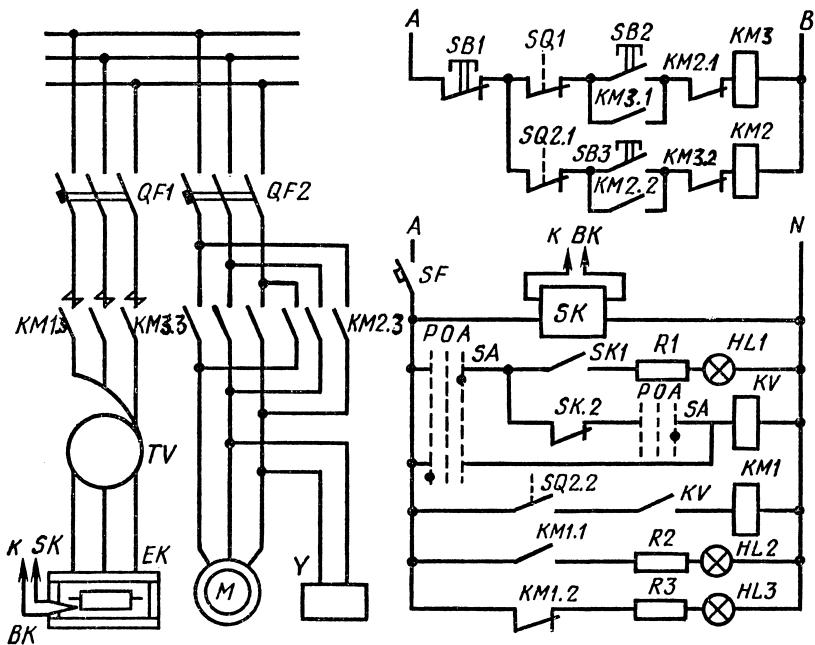


**Рис. 61. Камерна електропіч типу СНО:**

1 – дверці; 2 – нагрівники; 3 – футерівка; 4 – кожух; 5 – коробка виводів; 6 – термопара; 7 – подова плита

Камерні печі випускаються потужністю від 12 до 125 кВт, максимальна температура в робочій камері 1000°C.

Для керування печами випускають щити керування типу ИЗР (вимірювання, записування і регулювання температури) або більш прості (для малопотужних печей) типу ИР (рис. 62).



**Рис. 62. Принципіальна електрична схема керування камерною піччю**

Нагрівники печі ЕК живляться через автотрансформатор ТУ, який вмикається в мережу контактором КМ1. Дверці печі піднімаються й опускаються електродвигуном М, яким керує реверсивний пускач КМ2. У верхньому і нижньому положеннях електродвигун вмикається кінцевими вимикачами SQ1 і SQ2. У вимкненому стані електродвигун гальмується електромагнітом У. Нагрівники можуть вмикатись і вимкатись вручну (перемикач SA в положенні Р) або автоматично (положення А) за допомогою терморегулятора SK.

Датчиком температури терморегулятора служить термопара ВК, що встановлена у верхній зоні робочої камери. Завдяки високій тепловій інерції регулювання температури здійснюється тільки одним контактом SK2. Контакт SK1 замикається при перевищенні температури в печі вище максимального значення. При цьому загорається сигнальна лампа HL1, яка вказує персоналу на неправильний режим роботи. Автоматичне вмикання нагрівників

---

---

можливе тільки при закритих дверцях, коли замикається блокувальний контакт кінцевого вимикача SQ2.2. Лампи HL2 (червона) і HL3 (зелена) сигналізують про ввімкнений і вимкнений стан нагрівників.

*Електричні соляні ванни* застосовують для хіміко-термічної обробки виробів (цементация, ціанування тощо). Тепло в ванні виділяється при проходженні струму через розплав солей між електродами. Робоча температура досягає 850°C. Вмикають соляні ванни через знижувальні трансформатори.

*Електричні масляні й лужні ванни* застосовують для відпуску деталей та інструменту після загартування. Робоча температура становить 200–250°C. Електронагрівальні елементи – ТЕНи.

*Для миття деталей* перед ремонтом і під час технічного обслуговування використовують мийні машини з електронагріванням мийної рідини. Електронагрівання рідини здійснюється ТЕНами, які вбудовують безпосередньо у ванни.

Для поверхневого загартування деталей та інструменту, плавлення металів, підігрівання деталей застосовують також індукційні установки низької (50 Гц), середньої (150–10000 Гц) та високої частоти (від 60 кГц до 100 МГц).

Глибина проникання струму в метал залежить від частоти струму і з її зростанням зменшується. Тому індукційні установки високої частоти дають змогу загартувати поверхню деталі, залишивши в'язкою її серцевину.

Для живлення індукційних установок середньої та високої частоти використовують спеціальні високочастотні генератори типу ВЧГ з коливною потужністю 4, 6, 25, 60 і 100 кВт.

Для місцевого ремонту гумових камер, покришок та інших гумових виробів у майстернях використовують електровулканізатори. Електровулканізатор має електронагрівник, який нагріває затиснуту в спеціальному пристрої пошкоджену ділянку камери до температури 130–150°C. Температура автоматично підтримується за допомогою температурного регулятора. Необхідна витримка часу створюється за допомогою реле часу.

Взимку для полегшення пуску двигунів тракторів і автомобілів за допомогою електронагрівників підігрівають картерне масло. Для цього в піддон картера двигуна вміщують трубчастий електронагрівальний елемент. Потужність його залежить від типу двигуна і температури зовнішнього повітря. Температура масла контролюється за допомогою температурного реле. Для підігрівання

---

---

двигунів взимку використовують також електрокалорифери з розподільними повітропроводами.

Для сушіння лакофарбових покриттів під час проведення ремонтів сільськогосподарської техніки та електродвигунів використовують інфрачервоне нагрівання. Інфрачервоні лампи вмонтовують у стінки сушильної камери на відстані 0,2–0,5 м від пофарбованої поверхні виробу і на такій же відстані одну від одної, щоб забезпечити рівномірне опромінення пофарбованої поверхні.

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Що відноситься до основного електротермічного обладнання ремонтного виробництва і в яких процесах його застосовують?
2. Як влаштована електрична піч опору?
3. Поясніть роботу принципіальної електричної схеми камерної печі опору.
4. Для чого використовують соляні та масляні ванни, індукційні електронагрівні установки?
5. Яким чином можна полегшити пуск автотракторних двигунів взимку?

### Тести

1. Електричні печі в ремонтних майстернях використовують ...
  - а) для обігрівання приміщення;
  - б) для загартування, відпалу, штампування, пресування, кування, пайки твердими припоями;
  - в) для підігрівання припливного повітря і акумулювання теплоти.
2. У ремонтних майстернях використовують електричні печі високотемпературного нагрівання ...
  - а) до 1500°C; б) до 1700°C; в) до 1300°C.
3. Електричні соляні ванни застосовують ...
  - а) для цементації, ціанування деталей;
  - б) для миття деталей;
  - в) для загартування деталей.
4. Теплота в соляній ванні виділяється ....
  - а) при проходженні струму через ТЕНи, які розміщені в солі;
  - б) при проходженні струму через розплав солей між електродами;

- 
- 
- в) при проходженні струму через деталь.
5. Температура в електричній печі контролюється...
- а) термомпарою; б) електроконтактним термометром; в) терморезистором.
6. Для поверхневого загартування деталей та інструменту застосовують індукційні установки високої частоти ...
- а) від 60 кГц до 100 МГц; б) 150...10000 Гц; в) від 100 МГц до 500 МГц.

### ***1.8. ПОБУТОВІ ЕЛЕКТРОНАГРІВНІ УСТАНОВКИ***

Соціальні й економічні аспекти електрифікації побуту сільського населення. Електронагрівальні прилади, що використовуються в домашніх умовах, гарячого водопостачання, опалення та ін., перспективи розвитку, особливості будови й експлуатації. Профілактика електротравматизму в побуті.

#### **Прочитайте**

Л-4, с. 357–362.

У побуті сільського населення найбільш поширені такі електронагрівальні установки й прилади: праски, паяльники, електричні плити, електричні чайники, електросамовари, кип'ятильники, електроводонагрівники, електричні радіатори, електричні каміни, холодильники тощо.

Нагрівальні елементи цих установок і приладів виготовляють з високоомних сплавів (ніхром, фехраль). Електричною ізоляцією служать периклаз, стеатит, слюда та фарфор, а теплоізоляцією – азбест, азбослюда, шамот, шлаковата тощо.

Найбільш поширеними побутовими електронагрівальними приладами є праски. Їх поділяють на дві групи: звичайні, масою не більше 3 кг, та малогабаритні, масою до 0,8 кг. Випускають праски з терморегуляторами, терморегуляторами та зволожувачами, без терморегуляторів. Температура робочої частини (підшови) праски регулюється залежно від тканини, яку потрібно прасувати, в межах 80–240°C.

У рис. 63 зображено принципіальну електричну схему праски. Нагрівальний елемент ЕК може виготовлятись у вигляді пластини з міканіту з намотаним на неї ніхромовим чи фехралевим дротом

(стрічкою), трубчастого нагрівника або спіралі з ніхрому чи фехрало з надітими на неї фарфоровими бусами тощо.

Під час вмикання праски в електричну мережу загоряється низьковольтна сигнальна лампа НЛ, ввімкнена паралельно до невеликого баластного опору. Лампа вимикається, коли температура підшви праски досягне заданого значення.

Для опалення приміщень застосовують електричні радіатори, електричні каміни та інші нагрівальні електричні прилади.

Електричні радіатори складаються з трубчастого електронагрівника, вміщеного в корпус радіатора, залитого трансформаторним маслом. Нагріте трансформаторне масло циркулює в середині корпуса і повільно виділяє теплоту в навколишнє середовище.

Електричні каміни мають вигляд металевого ящика, в який вмонтовані нагрівальні спіралі, намотані на керамічні стержні.

Електричні плити мають чавунні конфорки з електронагрівниками потужністю 500, 800 і 1000 Вт і духову шафу. Триконфоркові електроплити з духовою шафою мають потужність 1,3–5,6 кВт. Потужність конфорок регулюється перемикачами вручну, а у шафі – автоматично біметалевими терморегуляторами.

Для нагрівання води застосовують кип'ятильники з нагрівальними елементами типу ТТН та електроводонагрівники серії УНС. У рис. 64 зображено будову (а) та принципіальну електричну схему (б) електричного водонагрівника УНС-40.

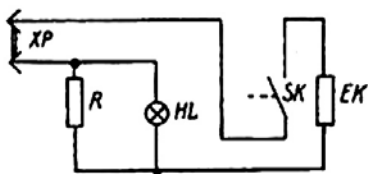


Рис. 63. Принципіальна електрична схема праски

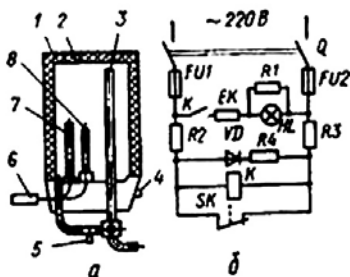


Рис. 64. Електричний водонагрівник УНС-40:

- а – будова; б – електрична схема;
- 1 – теплоізоляція; 2 – корпус; 3 – штуцер відведення води; 4 – сигнальна лампа;
- 5 – штуцер підведення води;
- 6 – терморегулятор; 7 – ТТН;
- 8 – ртутний контактний термометр

---

---

Водонагрівник має резервуар місткістю 40 л і трубчастий нагрівальний елемент потужністю 1,25 кВт. До водопровідної мережі водонагрівник приєднується через штуцер 5. Температура води підтримується автоматично в межах  $85 \pm 5^\circ\text{C}$ . Бак водонагрівника виготовлений з нержавіючої сталі та зверху вкритий теплоізоляцією. Відводиться гаряча вода через штуцер 3 під тиском холодної води. Вмикають водонагрівник в електричну мережу автоматичним вимикачем QF. Якщо температура води нижча  $+ 85^\circ\text{C}$ , то контакт SK ртутного термометра розімкнений. При цьому котушка реле К не буде закороченою, реле К спрацює і ввімкне нагрівальні елементи. Коли вода нагріється до температури  $+ 85^\circ\text{C}$ , то контакт SK замкнеться і закоротить котушку реле К, що призведе до вимикання нагрівального елемента.

Електронагрівальні побутові прилади встановлюють на вогнестійкі підставки. Поблизу не повинно бути матеріалів, які легко займаються при нагріванні.

Електричні кип'ятильники вмикають в електромережу лише за умови занурення у воду.

### ***Електричні плити та інші прилади для приготування їжі***

Електроплити можуть бути стаціонарними і переносними потужністю 3,2–8 кВт з 2–4 конфорками, жарочними шафами, шафами для сушіння кухонного посуду. Конструкція електроплит за компонуванням аналогічна традиційній конструкції газових плит. Конфорки – це круглі (діаметром 145–180 мм) закриті пресовані або литі нагрівні елементи (зі спіралями або ТЕНами), які мають 5–7 ступенів регулювання потужності. Регулювання здійснюють перемикачами, встановленими на передній стінці плити. Жарочні шафи (духовки) обладнані ТЕНами. Промисловість випускає електроплити ЭБЧШ-6-4-7/220 “Електро 1002”, ЭБЧШ-6-4-7/220 “Електро-люкс“, ЭБЧШ-6-4-8/220 “Електро 1001“, ЭБЧШ-5-3-5,8/200 “Томь“ розмірами 0,85×0,6×0,6 м кожна з діапазоном регулювання температури в жарочній шафі від 50 до 300°C. Друга після букв цифра в марці позначає кількість конфорок, третя цифра – номінальну потужність, кВт.

Все більше розповсюдження отримують надчастотні побутові електроплити. Це плити прямої дії, в них харчові продукти нагріваються електромагнітними хвилями частотою 2300–2500 МГц. У таких плитах тривалість приготування блюнд скорочується в десятки

---

---

разів при значному підвищенні їх якості, робота їх повністю автоматизована.

### ***Прилади мікроклімату***

Оптимальні параметри мікроклімату в житлових й адміністративних приміщеннях досягаються, головним чином, за допомогою нагрівних приладів і побутових кондиціонерів. Нагрівні прилади, призначені для додаткового обігріву приміщень, – це електричні каміни, конвектори, радіатори та ін.

*Каміни* (КЗБ-1,25/2-2 – “Тулукє”, КОБ-1,0/2-2 та ін.) – це електроприлади з передачею теплоти випромінюванням. Вони мають нагрівні елементи потужністю 800–1250 Вт у вигляді відкритих або закритих (у кварцевих трубках) спіралей з відбивачами і декоративним оздобленням.

*Конвектори* (“Поток 3Н”, “Салют-3” та ін.) – швидкодіючі опалювальні електроприлади, призначені для нагрівання повітря природною конвекцією від відкритих спіральних нагрівників або ТЕНів. Потужність їх знаходиться в межах 800–2500 Вт.

*Електрорадіатори* (типу “Термо”) – опалювальні прилади з теплопередачею, конвекцією і випромінюванням від поверхні металевого корпусу, заповненого маслом. Всередині корпусу відбувається природна конвекція рідкого теплоносія під час нагрівання від трубчастого нагрівника. Потужність радіаторів складає 500–1250 Вт.

*Побутові кондиціонери* (БК-1500, БК-2000, БК-2500, БК-3000, “Нева” та ін.) призначені для підтримання заданої температури й вологості повітря в житлових приміщеннях, очищення повітря, що надходить, від пилу. Кондиціонер складається з холодильного агрегату, вентиляторів, осушника, випарника вологи, фільтрів для очищення повітря від пилу, пристроїв регулювання режимів, змонтованих в одному корпусі. Потужність кондиціонерів знаходиться в межах 0,4–2,0 кВт.

### ***Профілактика електротравматизму в побуті***

Під час недотримання вимог техніки безпеки та протипожежних заходів побутові електронагрівні прилади можуть бути джерелом пожеж й електротравм. Причини пожеж найчастіше бувають такі:

- коротке замикання між проводами або всередині приладу внаслідок пошкодження ізоляції. Таке може бути результатом механічної, хімічної, термічної дії або її старіння;

---

---

• перевантаження будинкової мережі. Сумарне навантаження на одну розетку не повинно перевищувати 1700 Вт при 220 В. Під час перевищення навантаження проводи перегріваються й ізоляція руйнується та загоряється;

• поганий контакт у приладі або розетці, що призводить до перегріву місць з'єднань і проводів й загоряння ізоляції;

• розміщення електронагрівних приладів поблизу легкозаймистих предметів (штор, паперу, дерев'яних конструкцій та ін.);

• залишення ввімкнених електронагрівних приладів без нагляду;

• ввімкнення електроводонагрівників, чайників, кофеварок без води.

Основні заходи щодо попередження електротравматизму:

1. Категорично забороняється використання приладів заводського і несправних приладів заводського виготовлення;

2. Всі струмоведачі частини використовуваних побутових електронагрівних приладів, до яких можливе доторкування, повинні покриватися електричною ізоляцією;

3. Однофазні прилади, у яких може трапитись вихід потенціалу на корпус, необхідно приєднувати до мережі трижильним проводом, два із яких (фаза і нуль) забезпечують роботу приладу, а третій служить для занулення;

4. Забороняється доторкуватись, вмикати і вимикати побутові електроприлади вологими руками;

5. Категорично забороняється доторкування руками одночасно до електронагрівних приладів і радіаторів та труб опалення і водопроводу, та до інших заземлених предметів житлового приміщення.

### Питання для самоперевірки

1. Які електронагрівні установки найпоширеніші в побуті?

2. Які ви знаєте різновиди електричних прасок?

3. Поясніть роботу електричної схеми праски з терморегулятором.

4. Які побутові електронагрівні установки застосовуються для опалення, їх будова?

5. Які побутові електронагрівні установки й прилади застосовуються для підігрівання води?

6. Поясніть роботу електричної схеми водонагрівника УНС.

---

---

7. Назвіть основні функції, що виконує кондиціонер і поясніть його будову.

8. Назвіть основні переваги надчастотних побутових електроплит.

9. Внаслідок яких причин виникають пожежі під час використання побутових електронагрівних установок?

10. Які основні заходи гарантують безпечне використання побутових електронагрівних приладів?

### Тести

1. Температура робочої частини (підшови) праски регулюється залежно від тканини, яку потрібно прасувати, в межах

а) 60–80°C; б) 80–240°C; в) 240–340°C.

2. Сигнальна лампа вимикається, коли температура підшови праски ...

а) досягне заданого значення; б) зменшиться; в) досягне аварійного значення.

3. У надчастотних побутових електроплитах харчові продукти нагріваються електромагнітними хвилями частотою ...

а) 2300–2500 МГц; б) 300–500 КГц; в) 2500–4500 ГГц.

4. Сумарне навантаження на одну розетку не повинно перевищувати...

а) 2500 Вт при 220 В ; б) 100 Вт при 220 В ; в) 1700 Вт при 220 В.

5. Каміни (КЗБ-1,25/2-2 – “Тулуке”, КОБ-1,0/2-2 та ін) –

а) це електроприлади з передачею теплоти випромінюванням;

б) швидкодіючі опалювальні електроприлади, призначені для нагрівання повітря природною конвекцією від відкритих спіральних нагрівників або ТЕНів;

в) опалювальні прилади з теплопередачею конвекцією і випромінюванням від поверхні металевого корпусу, заповненого маслом.

### Виконайте

#### Лабораторна робота

Дослідження електрообладнання побутових електронагрівальних приладів.

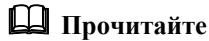
---

---

## 2. ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ

### 2.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЮ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Електрофізичні фактори в природі, їх вплив на рослинний і тваринний світ. Електрофізичні та електрохімічні явища й процеси в біологічних об'єктах. Електротехнологія, визначення й перспективи розвитку.



Л-1, с. 200–202.

Можливість біологічної дії витікає з того, що в комплекс факторів, під впливом яких зароджувалось і формувалось життя на Землі, входить і власне електричне поле Землі. У результаті тривалої еволюції живі організми набули сприйнятливості до електричного впливу зовнішнього середовища. Це проявляється в тому, що всяка жива клітина має власний електричний потенціал, що змінюється залежно від зовнішнього впливу.

*Електронно-іонна технологія* охоплює технологічні й біологічні процеси, в яких електричну енергію у вигляді електричного струму, електромагнітних полів й інших форм електрики використовують для безпосереднього впливу на предмети праці без попереднього (як правило) перетворення її в інші види.

Різні види впливу електрофізичних факторів на живі організми, рослини й матеріали з відповідними дозами й режимами для направленого стимулювання або пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів і клітин, а також вдосконалення технології сільсько-господарського виробництва ще знаходяться в стадії розробок і досліджень. Нині з впевненістю можна сказати, що застосування електротехнології в сільському господарстві є перспективним.

Електричний струм на об'єкт обробки може спричиняти такі дії: теплову, фізико-хімічну, біологічну.

Технологічне застосування фізико-хімічної дії струму базується в основному на таких процесах і методах, які вивчаються фізичною хімією: електролізі, електрокоагуляції, електроосмосі, електродіалізі.

*Електроліз* – це сукупність окислювально-відновлювальних процесів, які відбуваються на електродах, занурених в електроліт, під

---

---

час проходження постійного електричного струму. Основні галузі застосування електролізу – отримання різних речовин і нанесення покриття.

*Електрокоагуляція* – метод очищення водяної суміші від найдрібніших частинок домішок шляхом введення коагулянтів (хімічних речовин, що забезпечують перехід частинок в осад).

*Електроосмос* – це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму під час накладання зовнішнього електричного поля.

Електротехнології засновані на інформаційно-енергетичній дії електрофізичних факторів на біологічні об'єкти. Це означає, що біологічна дія і роль електромагнітних полів у зміні фізіологічного стану біологічного об'єкту слід розглядати не тільки з позиції енергетичних ефектів, але й з точки зору інформаційної взаємодії. Під інформаційною слід розуміти таку взаємодію електромагнітних полів з живою системою, за якої факторами, визначаючими відповідну реакцію, є не енергетичні характеристики діючого поля, а його просторово часова структура. При цьому електромагнітне випромінювання може служити як в якості первинного сигналу, запускаючого внутрішні регуляторні механізми біосистеми, так і в якості безпосереднього регулятора процесів, протікаючих в організмі.

Проведені дослідження підтвердили справедливість резонансно-польової гіпотези біологічної дії екзогенних електромагнітних полів, згідно з якою фізичні фактори полів інформаційно взаємодіють з біологічними електромагнітними полями, а специфічна реакція живого об'єкта на зовнішні фізичні дії пояснюється законами інтерференції взаємодіючих полів. Встановлено, що насіння рослин має амплітудну поляризаційну вибірковість до дії екзогенного електромагнітного поля.

На основі експериментальних досліджень впливу фізичних факторів електромагнітних полів на відгук біологічних об'єктів виявлені основні біотропні параметри: спектр електромагнітного коливання (що визначається вибраним діапазоном частот, видом і параметрами модуляції, тривалістю дії), поляризаційно просторова структура поля (враховуюча векторний характер поля і виражена в його поляризаційних характеристиках) та інтенсивність полів.

Величина й поєднання біотропних факторів у кінцевому результаті визначають характер (стимуляція й пригнічення) і величину відгуку біологічного об'єкта на дію екзогенного електромагнітного поля.

Дуже ефективним є передпосівний обробіток ґрунту. Після підготовки до посіву поверхневий шар ґрунту обробляється

---

---

електромагнітним полем надвисокої частоти із заданою структурою, яке несе інформацію про запуск механізмів росту насіння бур'янів. Ґрунт обробляється за допомогою випромінювача надвисокої частоти (НВЧ) енергії, що переміщується над його поверхнею. Ця обробка виводить насіння бур'янів із стану спокою, забезпечуючи дружне і швидке проростання. Наступна перед посівом механічна обробка ґрунту знищує бур'яни. Обробка ґрунту електромагнітним полем надвисокої частоти призводить також до зростання мікробіологічної активності й вивільнення живильних речовин із мінеральних й органічних резервів ґрунту.

Наступна технологія за характером дії майже не відрізняється від вищенаведеної. Тільки об'єктом у цьому випадку є насіння основних культур. Така стимулююча дія, здійснювана в стаціонарних установках НВЧ, підвищує енергію проростання і схожість насіння, а також конкурентоздатність рослин, біологічну масу й урожай культури. Поліпшується біологічний склад врожаю (збільшується вміст білка, крохмалю, каротину, сахару та ін.), зменшується вміст в овочах нітратів, важких металів і радіонуклідів.

Для кращого збереження плодовоовочевої продукції обробка електромагнітним полем НВЧ проводиться в режимі, який сприяє пригніченню життєдіяльності (продовження стану спокою) продукції, не погіршуючи якість.

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Що таке електротехнологія?
2. Які дії може спричиняти електричний струм на об'єкт обробки?
3. Поясніть фізико-хімічну суть електролізу, електрокоагуляції, електроосмосу.

### Тести

1. *Електроліз* –
  - а) це метод очищення водяної суміші від найдрібніших частинок домішок;
  - б) це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму під час накладання зовнішнього електричного поля;

---

---

в) це сукупність окислювально-відновлювальних процесів, які відбуваються на електродах, занурених в електроліт, під час проходження через нього постійного електричного струму.

*2. Електрокоагуляція –*

а) це сукупність окислювально-відновлювальних процесів, які відбуваються на електродах, занурених в електроліт, під час проходження через нього постійного електричного струму;

б) це метод очищення водяної суміші від найдрібніших частинок домішок;

в) це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму під час накладання зовнішнього електричного поля.

*3. Електроосмос –*

а) це рух рідини через капіляр або пористу діафрагму під час накладання зовнішнього електричного поля;

б) це метод очищення водяної суміші від найдрібніших частинок домішок;

в) це сукупність окислювально-відновлювальних процесів, які відбуваються на електродах, занурених в електроліт, при проходженні через нього постійного електричного струму.

4. Електричний струм на об'єкт обробки може спричиняти такі дії:

а) теплову, фізико-хімічну, біологічну;

б) фотосинтезну, механічну;

в) фотобіологічну, механічну.

*5. Електронно-іонна технологія охоплює...*

а) технологічні процеси, в яких електричну енергію перетворюють у теплову;

б) технологічні та біологічні процеси, в яких електричну енергію у вигляді електричного струму, електромагнітних полів та інших форм електрики використовують для безпосереднього впливу на предмети праці без попереднього перетворення її в інші види;

в) технологічні та біологічні процеси, в яких електричну енергію перетворюють у механічну.

## **2.2. ЕЛЕКТРОННО-ІОННА ТЕХНОЛОГІЯ**

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.



### **Прочитайте**

Л–2, с. 270–308; Л–4, с. 362–365.

В установках електронно-іонної технології широко використовується коронний розряд, який є потужним джерелом утворення електричних зарядів.

Під час підвищення напруги між електродами до значення, за якого починається інтенсивна іонізація, виникає коронний розряд, або корона. Значення цієї напруги залежить від конфігурації і геометрії електродів, густини і температури газу. Найбільш інтенсивна іонізація та свічення відбуваються поблизу поверхні електрода з меншим радіусом кривизни, де напруженість поля найбільша.

Чим менший радіус кривизни поверхні електродів, тим менша напруга, необхідна для виникнення корони.

В якості коронувальних електродів використовується тонкий дріт діаметром 0,2–0,3 мм або загострені пристрої.

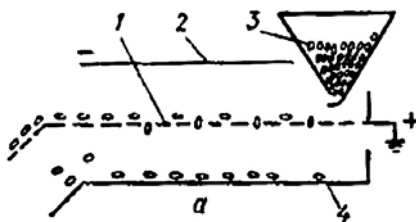
Коли негативний полюс джерела постійного струму, що має напругу достатню для виникнення корони, але меншу, ніж пробивна, з'єднується з коронувальним електродом, а позитивний полюс – з землею, біля негативного електрода виникає коронний розряд з інтенсивним утворенням іонів. Позитивні іони направляються до негативно заряджених елементів коронувального електрода, а негативні – до заземленого електрода.

Негативні іони, утворені у негативній короні, на своєму шляху адсорбуються (поглинаються) внесеними в електричне поле частинками, заряджаючи їх негативним зарядом. Значення цього заряду залежить від напруженості електричного поля та електрофізичних властивостей частинки.

### ***Електричні сепаратори зерна***

В електричних сепараторах зерна використовується його властивість і різних домішок, що в нього потрапляють, одержувати заряд в електричному полі. Величина заряду в основному залежить від діелектричної проникності, провідності, наповненості, форми та розмірів зерна. Діелектрична проникність зерна зі збільшенням його густини і вологості збільшується. Зерно та домішки розділяються залежно від їх фізичних властивостей. У порівнянні з механічними

зерноочисними машинами електричні сепаратори зерна дозволяють отримувати насіння з кращими посівними якостями і за менших витрат електроенергії. Електросепаратори зерна розрізняють за способом зарядження частинок (електростатичні, електрокоронні, діелектричні, трибоелектричні) і за конструктивним виготовленням (камерні, барабанні, транспортерні, решітні).



**Рис. 65. Принципіальна схема решітчастого сепаратора зерна:**

1 – похила коливна решітка; 2 – коронувальний електрод; 3 – бункер;  
4 – решето

Решітні електричні сепаратори працюють так: зерно з бункера 3 (рис. 65) надходить на похилу коливну решітку 1, яка приєднана до позитивного полюса джерела високої напруги. До негативного полюса приєднані електрод 2 та решето 4. Продовгуваті зерна культурних рослин заряджаються й орієнтуються довгою віссю вздовж ліній електричного поля перпендикулярно до решітки 1 з круглими отворами. Завдяки цьому значно зростає продуктивність сепаратора.

Решітний електричний сепаратор зерна ЕЗМ-Р-2 має продуктивність до 1 т/год і до 2 т/год пшениці.

У камерному електричному сепараторі (рис. 66 а) зерно з бункера надходить у сепараційну камеру між коронувальним 1 і осаджувальним 2 електродами. Осаджувальним електродом служить металева пластинка, а коронувальним – металева сітка з тонкого дроту. Під час подачі високої напруги відбувається коронний розряд, іони рухаються від коронувального до осаджувального електрода, заряджають їх та зерно. Різні за розмірами, формою і властивостями частинки отримують різні заряди. Траєкторія руху заряджених частинок визначається значенням і напрямом результуючої сили  $F_{\Sigma}$ ,

яка є геометричною сумою сили тяжіння  $P$  та електричної сили  $F_E$

$$P=mg, \quad (2.2.1)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;

$g$  – земне прискорення,  $\text{м/с}^2$ .

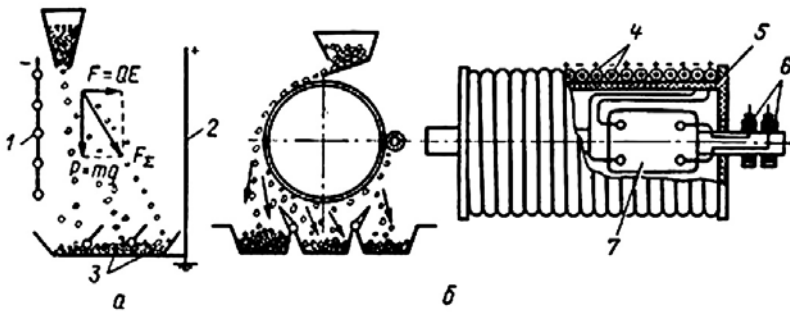
$$F_E = QE,$$

(2.2.2)

де  $Q$  – заряд, Кл;

$E$  – напруженість електричного поля, В/м.

Коронувальні електроди мають форму тонкого (0,2–0,3 мм) горизонтально натягнутого дроту, до якого підводять напругу 40–50 кВ.



**Рис. 66. Схеми електричних сепараторів зерна:**

а – електрокоронний камерний; б – діелектричний барабанний;

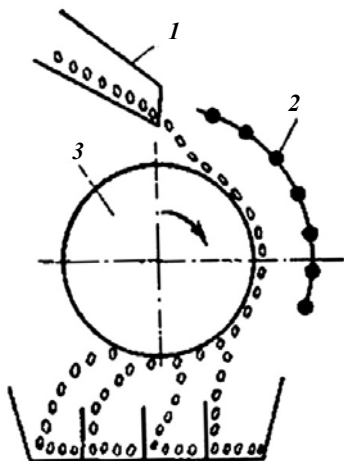
1 – коронуючі провідники; 2 – осаджувальний електрод;

3 – сепараційні відсіки; 4 – провідники-електроди; 5 – діелектричний барабан; кільця з щітками; 7 – трансформатор

### *Перспективні діелектричні сепаратори*

Сепаратор (рис. 66 б) – це барабан із діелектричного матеріалу, на якому розміщена біфілярна обмотка з ізольованого проводу, яка утворює систему електродів. Напруга живлення (1–5 кВ) подається від трансформатора, розміщеного в середині барабана. Трансформатор живиться від автотрансформатора через кільця та щітки. Між електродами утворюється неоднорідне електричне поле, під дією якого зернини, потрапивши у барабан, поляризуються.

Виникла при цьому електрична сила притискує зернини до електродів. Кут відривання зернин (та інших частинок) від поверхні барабана залежить від електрофізичних властивостей зерна й частинок та їх маси.



**Рис. 67. Схема барабанного електрокоронувального сепаратора:**

1 – бункер; 2 – коронувальний електрод; 3 – металевий барабан (осаджувальний електрод)

У барабанному електричному сепараторі (рис. 67) зерно з бункера 3 падає на барабан 6, який обертається. Барабан служить осаджувальним електродом, а коронувальним – металева сітка 5. Іони рухаються від сітки до барабана і заряджають зерна. Зерна прилипають до поверхні барабана на певний час і відриваються від неї під час виходу з електричного поля внаслідок нейтралізації поверхні барабана. Кут відривання зернин (та інших частинок) від поверхні барабана залежить від електрофізичних властивостей зерна й частинок та їх маси.

Барабанні сепаратори ЕЗМ-Б-2 мають продуктивність до 2 т/год вівса і 3,5 т/год пшениці під час очищення насіннєвого зерна.

В електричних сепараторах не тільки якісніше розділяються зернові суміші за фракціями, очищаються від пилу, домішок і мікроорганізмів, але ще й відбувається їх передпосівна обробка, яка сприяє життєдіяльності насіння (підвищується енергія проростання). При цьому врожайність зернових культур підвищується на 10–24%.

### ***Осадження аерозолей в електричному полі***

Аерозольну технологію застосовують у сільському господарстві під час хімічного захисту рослин, протравлювання насіння, розпилення лікарських препаратів, очищення повітря й дезінфекції в тваринницьких і птахівницьких приміщеннях. Використання для цих цілей електрично заряджених аерозолей дозволяє суттєво підвищити ефективність процесів за рахунок збільшення кількості аерозолей, що

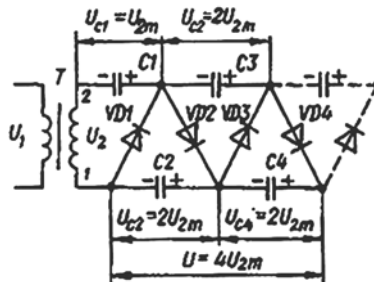
осідають на технологічних об'єктах або в пристроях для очищення повітря.

Під час використання заряджених аерозолей зменшується розпорощення ядохімікатів вітром, поліпшується рівномірність обробки за рахунок осідання аерозолей на верхні та нижні сторони листків. Це досягається в результаті руху аерозолей до поверхні листків по силових лініях електричного поля. Вони створюються об'ємним зарядом уніполярно зарядженого аерозоля і наведенням на поверхні осідання зарядами протилежного знака або спеціальною електродною системою, а також за рахунок сили до дзеркального відображення на заряджену частинку в момент її наближення до поверхні осідання. Ця сила сприяє прилипанню ядохімікатів до поверхні та усуває їх втрати через знесення вітром.

Під час електричного зарядження аерозольних частинок технологічних матеріалів їх витрати можна знизити в 2–4 рази в порівнянні з традиційною аерозольною технологією.

#### *Джерела живлення установок електронно-іонної технології*

Для живлення установок електронно-іонної технології необхідні невеликі за потужністю джерела постійного струму з високою вихідною напругою – від 10 до 100 кВ. Найбільше поширення отримали випрямлячі з множенням напруги.



**Рис. 68. Принципіальна схема однонапівперіодного випрямляча з множенням напруги**

Схеми множення напруги бувають одно- і двонапівперіодними. Однонапівперіодну схему множення напруги зображено у рис. 68. Працює вона так: коли електрорушійна сила вторинної обмотки трансформатора направлена від точки 2 до точки 1, то через діод VD1 заряджається конденсатор C1 до амплітудного значення напруги на

вторинній обмотці трансформатора. Під час зміни напрямку електрорушійної сили заряджається конденсатор С2 по колу 2-С1-VD2-С2-1. Якщо електрорушійна сила знову змінить свій напрямок, то заряджається конденсатор С3, а далі при зміні напрямку електрорушійної сили заряджається конденсатор С4.

Таким чином, у режимі холостого ходу можна одержати напругу на виході схеми

$$U_{XX} = 2nU_{2m}, \quad (2.2.3)$$

де  $n$  – число каскадів множення;

$U_{2m}$  – амплітудне значення напруги на вторинній обмотці підвищувального трансформатора.

Під час струму навантаження  $I$  спад напруги  $\Delta U$  в однонапівперіодній схемі

$$\Delta U = \frac{I}{6fC} (4n^3 + 3n^2 + 2n), \quad (2.2.4)$$

де  $f$  – частота мережі живлення;

$C$  – ємність конденсаторів.

Напруга на виході схеми

$$U = 2n\sqrt{2}U_2 - \Delta U, \quad (2.2.5)$$

де  $U_2$  – діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора.

Під час розрахунку схем множення приймають номінальну напругу конденсаторів більшу або яка дорівнює  $2,85 U_2$ . Зворотну напругу напівпровідникових вентилів приймають такої самої величини.

Схеми випрямлячів з множенням напруги установок електронно-іонної технології повинні мати захист від коротких замикань і зникнення високої напруги, прилади для контролю напруги і струму навантаження. Для захисту людей від ураження електричним струмом високовольтні джерела розміщують у захисному корпусі та заземлюють, передбачають блокувальні вимикачі, які контролюють стан огорожувальних пристроїв, закриття люків і дверей. Елементи установок, що знаходяться під високою напругою, повинні мати автоматичний пристрій, який замикає їх на землю після зняття напруги.

### **Електричні іонізатори повітря**

Для нормальної життєдіяльності людей, тварин і птиці потрібно, щоб в  $1 \text{ см}^3$  повітря було близько 1000 легких негативно заряджених

---

---

іонів. Доведено, що легкі негативні іони проявляють сприятливу і цілющу дію на живі організми. Без них живі організми гинуть.

В атмосфері Землі легкі негативні іони створюються під дією космічних променів та радіоактивних речовин, що містяться в ґрунті, воді та повітрі, під час грозових розрядів тощо.

Проходячи через вікна та вентиляційні канали, зовнішнє повітря втрачає майже половину іонів. Тому люди і тварини, які тривалий час перебувають у закритих приміщеннях, відчують аероіонне голодування, яке спричиняє передчасне старіння і хворобливість.

Для штучної іонізації повітря у тваринницьких приміщеннях застосовують коронувальні та радіоактивні джерела іонів.

Електричні іонізатори повітря складаються з джерел високої напруги та металеві сітки з напаяними на неї гострими металевими голками. Позитивний полюс джерела живлення заземлюють, а на металеву сітку подають високу напругу негативної полярності такого значення, при якому проходить тихий коронний розряд без утворення озону і окислів азоту.

Для іонізації повітря в приміщеннях коронувальні електроди ставлять на виході повітря з трубопроводів вентиляційних установок. На коронувальні електроди подають напругу 35–50 кВ постійного струму. Таке поєднання іонізації повітря з вентиляцією приміщення сприяє рівномірному розподілу легких негативно заряджених іонів у повітрі приміщення. Для іонізації повітря в інкубаторах промисловість випускає аероіонізатор ИЗ-1. Голчасті електроди іонізатора виконані з резисторів типу МЛТ-10 на 3,6 МОм для електробезпеки. На електроди подається напруга постійного струму 5 кВ.

Електрокоронні установки застосовують також для очищення газів і повітря. Дрібні частки, які знаходяться в повітрі, заряджаються і під дією електричних сил осідають на електродах.

Розроблено також ряд електрокоронних установок для обезпилювання повітряного середовища вивідних шаф інкубаторів. Ці установки є комплексною системою, яка забезпечує зарядження, осадження, утримання і видалення зібраного пилу.

Дія аероіонів на біологічні об'єкти залежить від концентрації іонів, режиму роботи іонізатора протягом доби, тривалості циклів і пауз між ними.

Для телят віком до місяця аероіонізацію проводять кожний день по 6–8 годин за концентрації (2–3)  $10^5$  іон/см<sup>2</sup>; для корів – 15–20 днів по 5–8 годин на добу тієї ж концентрації аероіонів з наступною перервою 20–30 діб.

---

---

Для поросят і свиней рекомендована концентрація (3–5)  $10^5$  іон/см<sup>2</sup>. Аероіонізацію проводять протягом 3–4 тижнів два рази на добу по 30 хвилин. Повторюють її через місяць.

Для курчат яйценосних порід аероіонізацію виконують протягом двох місяців за концентрації (2,5)  $10^4$  іон/см<sup>2</sup>. П'ятиденний курс аероіонізації чергується з паузами такої ж тривалості. Тривалість сеансу для курчат віком до 20 днів – 1–2 години, віком 20–40 днів – 3 години і віком 40–60 днів – 4 години.

Для бройлерів аероіонізацію рекомендовано проводити до 18-денного віку сеансами по 30 хв за концентрації (6–7)  $10^4$  іон/см<sup>2</sup>, періоди тридобової аероіонізації чергуються з паузами такої ж тривалості. Потім поступово збільшують сеанс до 3 годин тривалістю дії до 7 діб, а паузи – до 5 діб.

Для курей-несучок аероіонізацію здійснюють місячними циклами, чергуючи їх з паузами такої ж тривалості за концентрації (1–2,5)  $10^5$  іон/см<sup>2</sup> при тривалості сеансу 4–12 годин на добу.

Інкубатори рекомендують аероіонізувати цілодобово протягом 19 днів за концентрації  $1,3 \times 10^4$  іон/см<sup>2</sup>.

Наведені рекомендації орієнтовні, їх уточнюють у кожному конкретному випадку. При цьому завжди концентрація аероіонів не повинна перевищувати допустимого значення –  $10^6$  іон/см<sup>2</sup>.

Крім сприятливої фізіологічної дії, штучна аероіонізація повітря тваринницьких і птахівницьких приміщень знижує вміст у них пилу і мікроорганізмів. У результаті зменшується захворюваність тварин і птиці, а також підвищується їх продуктивність, особливо в комплексі з іншими заходами щодо поліпшення мікроклімату.

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Як виникає електрокоронний розряд і де він застосовується?
2. Від яких параметрів залежить значення напруги коронного розряду?
3. Від чого залежить величина заряду зерна?
4. Як розрізняються електросепаратори зерна за способом зарядження частинок і конструктивним виконанням?
5. Поясніть будову та принцип дії електрокоронного решітного, камерного, барабанного сепараторів зерна та діелектричного барабанного.
6. Назвіть переваги електричних сепараторів зерна перед зерноочисними машинами механічного очищення.

---

---

7. Поясніть принцип дії однонапівперіодного випрямляча з множенням напруги.

8. Як здійснюється аероіонізація повітря і де вона застосовується?

9. В яких сільськогосподарських технологічних процесах застосовують електроаерозолі?

10. Яким чином надають електричний заряд аерозолям?

11. Назвіть основні заходи щодо гарантування безпечної експлуатації установок електронно-іонної технології.

### Тести

1. Величина напруги коронного розряду залежить ...

а) від матеріалу електродів;

б) від потужності джерела живлення;

в) від конфігурації і геометрії електродів, густини і температури газу.

2. Найбільш інтенсивна іонізація і свічення відбувається поблизу поверхні електрода ...

а) з меншим радіусом кривизни, де напруженість поля найбільша;

б) з більшим радіусом кривизни, де напруженість поля найменша;

в) з середнім радіусом кривизни, де напруженість поля стабільна.

3. В електричних сепараторах зерна використовуються ...

а) механічні властивості зерна;

б) властивість зерна та різних домішок, що в нього потрапляють, одержувати заряд в електричному полі;

в) хімічні властивості зерна.

4. Величина заряду зерна в основному залежить від ...

а) діелектричної проникності, провідності, наповненості, форми та розмірів зерна;

б) потужності електричного сепаратора;

в) засміченості, і відстані між електродами.

5. Електросепаратори зерна розрізняють за способом зарядження частинок на ...

а) камерні, барабанні, транспортерні, решітні;

б) періодичної та безперервної дії;

---

---

в) електростатичні, електрокоронні, діелектричні, трибоелектричні.

6. За конструктивним виконанням електросепаратори зерна розрізняють на ...

а) електростатичні, електрокоронні, діелектричні, трибоелектричні.

б) камерні, барабанні, транспортерні, решітні;

в) періодичної та безперервної дії.

7. У діелектричних сепараторах кут відбиття зерна від поверхні барабана залежить ...

а) від електрофізичних властивостей зерна та частинок і їх маси;

б) від діаметра барабана;

в) від механічних властивостей зерна.

8. Напруга на виході схеми множника напруги визначається за формулою...

а)  $U = 2n\sqrt{2}U_2 + \Delta U$ ; б)  $U = 2n\sqrt{2}U_2 - \Delta U$ ; в)  $U = n\sqrt{U_2 - \Delta U}$ .

 **Виконайте**

### **Лабораторна робота**

Дослідження роботи електричного іонізатора повітря, електричного сепаратора зерна.

## **2.3. ОБРОБКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ**

 **Прочитайте**

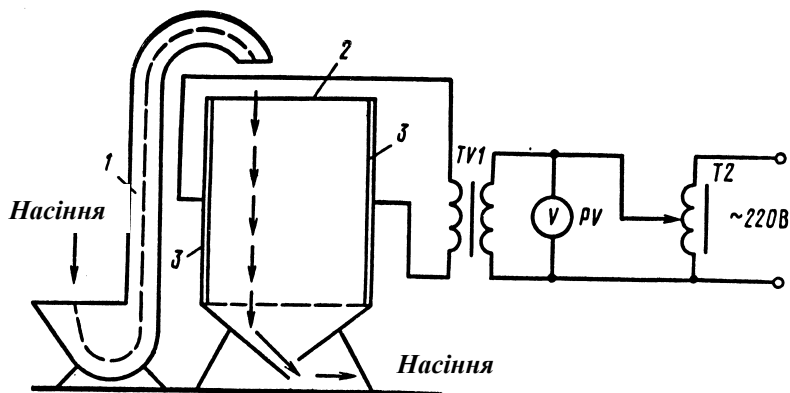
Л–2, с. 303–310; Л–4, с. 365–366.

### ***Електрична обробка насіння***

Передпосівну обробку насіння проводять для активізації в них фізико-хімічних реакцій, що сприяє інтенсивному засвоєнню зародком насінини живильних речовин із ґрунту. При цьому прискорюється проростання насіння, зростає інтенсивність фотосинтезу, а в несприятливих умовах рослини стають стійкішими і дають підвищені врожаї.

Поряд з агротехнічними методами поліпшення посівних якостей насіння пропонуються електротехнологічні способи: обробка іонними потоками в полі коронного розряду, ультрафіолетовими та інфра-

червоними променями, мікрохвильовими електричними полями. Один з найбільш простих та ефективних методів передпосівної обробки насіння – дія на нього електричного поля промислової частоти.



**Рис. 69.** Схема установки для передпосівної обробки насіння: 1 – завантажувальний пристрій; 2 – робоча камера; 3 – електроди

Установка для обробки насіння складається з приймального бункера, з якого зерно за допомогою ковшового елеватора подається в робочу камеру 2 (рис. 69). Зерно в ній рухається під дією сили тяжіння, а його вихід і тривалість обробки регулюють, змінюючи продуктивність вивантажувального пристрою. Робоча камера – це система ізольованих один від одного металевих електродів 3, на які подається живлення від трансформатора TV1, забезпечуючого напруженість електричного поля в робочій камері 1–4 кВ/см.

Установка проста в обслуговуванні, витрати електроенергії не перевищують 0,2 кВт·год/т.

За даними ВІЕСГ під час обробки насіння зернових культур в електричному полі промислової частоти напруженістю 2–4 кВ/см і експозицією 10–120 сек урожайність зернових культур підвищується на 10–20%.

### **Мікрохвильові технології в аграрно-промисловому комплексі**

Слід відмітити, що дослідження ефектів, які виникають під час дії електромагнітного поля, сягають 30-х років ХХ століття. Першим і довгі роки єдиним застосуванням мікрохвильової енергії були радіолокаційні станції в системах ПВО. У 50–60-ті роки в США та в

---

---

інших країнах Західної Європи з'явилися мікрохвильові печі для термічної обробки харчових продуктів, що дало поштовх дослідженням щодо застосування мікрохвильової енергії в медицині, сільському господарстві.

Програмою досліджень за проектом 1400 НТЦУ (Українського науково-технологічного центру), розпочатою в 2000 році, передбачено виконати комплекс робіт щодо вивчення впливу мікрохвильового поля за такими напрямками:

1. Біостимуляція насіння польових культур мікрохвильовим полем;
2. Вплив мікрохвильового поля на фітопатогени збудників небезпечних хвороб насіння злакових і соняшнику та комах-шкідників хлібних запасів;
3. Вплив мікрохвильового поля на основні біохімічні й технологічні показники якості насіння й урожаю;
4. Вплив мікрохвильового поля на технологічні властивості зерна пшениці;
5. Вивчення механізму впливу мікрохвильового поля на біологічні об'єкти.

Для виконання цих досліджень були залучені висококваліфіковані наукові співробітники профільних науково-дослідних і спеціальних закладів: Південний філіал відділення промислової радіоелектроніки Міжнародної академії інформатизації, Селекційно-генетичний інститут Національного центру насінньоведення і сортовивчення Української академії аграрних наук.

На основі багатьох досліджень вищевказаними закладами зроблені такі висновки:

1. Біостимуляція насіння злакових, зернобобових, олійних, круп'яних культур за допомогою мікрохвильового поля – один із суттєвих факторів підвищення їх урожайності;
2. Кожна культура, сорт, гібрид мають свої сприятливі режими обробки насіння і реакції на дію мікрохвильової енергії. Як засвідчили польові дослідження, найбільш чутливі на мікрохвильову енергію овочеві культури: їх урожай, в порівнянні з контролем, підвищується до 450%. Далі йдуть зернобобові (до 51%), круп'яні (до 25%), олійні (до 21%) і злакові культури (від 3,3 до 32% і більше);
3. Позитивний ефект дії мікрохвильового поля на насіння злакових, олійних та інших культур зберігається протягом 3–5 і більше місяців, що дозволяє проводити передпосівну мікрохвильову обробку насіння задовго до посіву.

---

---

4. Мікрохвильове поле суттєво поліпшує посівні якості насіння практично всіх аграрних культур, що вирощуються в Україні, під його дією схожість насіння, залежно від вихідної, підвищується на 18 % і більше. При цьому некондиційне насіння переходить у категорію кондиційного, що має важливе практичне значення, бо дозволяє зберігати без втрат насіннєві ресурси країни;

5. Мікрохвильове поле згубно діє на фітопатогени-збудники основних захворювань насіння злакових і сояшника, а також на складських комах, що відкриває перспективу безпестицидного обеззаражування насіння і змінює таким чином стратегію зерновиробництва країни.

6. Мікрохвильове поле стимулює процеси біосинтезу в насінні і вирощуваних із нього рослин, що в кінцевому результаті позитивно впливає на кількісні та якісні показники врожаю.

7. Мікрохвильове поле поліпшує технологічні та хлібопекарські властивості зерна пшениці, що має важливе народногосподарське значення.

8. Проведені комплексні дослідження щодо вивчення впливу мікрохвильового поля на процеси біостимуляції насіння аграрних культур показали перспективність мікрохвильової технології як екологічно чистої, ефективної та економічної, сприяючої підвищенню врожайності практично всіх аграрних культур і значному поповненню продовольчих ресурсів країни.

Для передпосівної біостимуляції і знезаражування насіння розроблена мікрохвильова установка “Микростим 1”: потужність магнетрона – 1500 Вт; генерована частота – 2450 МГц; кількість магнетронів – 2; спосіб охолодження магнетрона – рідинний; продуктивність – 900–1200 кг/год.

Багатофункціональна мікрохвильова фермерська установка КТ-3 може здійснювати такі функції:

- передпосівну обробку насіння практично всіх видів сільськогосподарських культур;
- холодна пастеризація (обробка мікрохвильовим полем) фруктів, овочів, соків, м'ясних продуктів, що дозволяє збільшити строки зберігання без застосування холодильної техніки;
- дезінсекція сільськогосподарської продукції та її обеззаражування;
- сушіння сільськогосподарської продукції;
- обробка фруктів, овочів, картоплі під час закладання їх на довгострокове зберігання (збереження цибулі – 100%, картоплі – 93–95%).

---

---

Як засвідчили дослідні випробування, вміст нітратів зменшується в два–три рази, вміст сахару і каротину збільшується на 10–20%, проростання насіння прискорюється на 10–20% із збільшенням біоенергетики до 40% і дозрівання рослин на 8–12 днів раніше.

### **Технічні характеристики мікрохвильової установки КТ-3**

Продуктивність	1000 кг/год
Споживана потужність від мережі 220 В, 50 Гц	до 5 кВт

#### ***Обробка вологих кормових матеріалів***

Обробка вологих кормових матеріалів підвищує ефективність їх використання. Електрообробку подрібненої і зволоженої розчином хімікатів (2% хлориду натрію і 4% кальцинованої соди) соломи проводять в електродних камерах струмом низької частоти протягом 6–8 хвилин при густині струму  $(0,1-0,3) \times 10^4 \text{ А/м}^2$ . У результаті обробки вміст кормових одиниць підвищується в 1,5–2 рази, і в стільки ж разів зменшується бактерицидна забрудненість.

Обробка електричним струмом фуражного зерна підвищує його перетравлюваність і засвоюваність на 10–15%. За допомогою електричного струму можна запарювати картоплю, обробляти харчові відходи, кормосуміші тощо.

#### ***Електричне розсолення і знезараження ґрунту***

Для видалення з верхнього шару ґрунту надлишку шкідливих солей його промивають водою. Інтенсивність розсолення ґрунту можна підвищити, пропускаючи через нього постійний електричний струм. Для цього на ділянці поля встановлюють систему електродів з металевих труб або стержнів. Відстані між електродами в ряду 10–20 м. Ряди електродів по чергово є анодами та катодами, до яких підводять постійну напругу 75 В. Аноди занурюють на глибину 1 м, катода – 5 м. Під час протікання струму в результаті електролізу солі розкладаються і внаслідок електрокінетичних явищ і гравітації витісняються в глибші шари ґрунту. В порівнянні зі звичайною технологією електророзсолення в 5–6 раз скорочує витрати прісної води і в 6–8 раз тривалість обробітку.

Густина струму в ґрунті –  $1-10 \text{ А/м}^2$ , витрата електроенергії – 5–20 тис. кВт-год на 1 га.

---

---

У парниках і теплицях необхідно періодично проводити стерилізацію ґрунту. Ґрунт стерилізують на глибину 0,25 м у теплицях і 0,12–0,15 м – у парниках. Застосовують електродний спосіб електронагрівання ґрунту. Для цього використовують стаціонарні або пересувні установки, які є системою електродів зі сталених пластин, розташованих на відстані 0,2–0,25 м один від одного. Досліди показали, що фітопатогенні гриби в ґрунті гинуть при температурі 55–65°C.

### ***Електроплазмоліз рослинної сировини***

Відомо, що тривале сушіння трави призводить до значної втрати поживних речовин. Наприклад, під час природного сушіння трави на полі втрачається 25–50% поживних речовин. Ці втрати можна значно знизити завдяки застосуванню плазмолізу – відшаруванню протопласта клітини від її оболонки, яке веде до стиснення протоплазми. При цьому клітина гине, а біологічно зв'язана з нею рідина стає вільною і легко випаровується. Живі ж клітки чинять опір висиханню.

Плазмоліз рослинної сировини можна здійснити механічним, термічним, електричним та іншими способами. Електроплазмоліз рослинної сировини здійснюють в електроплазмолізаторах. Найбільш поширені валкові плазмолізатори. Вони складаються з двох валків, які обертаються назустріч один одному. Електричний струм підводиться до валків через контактні кільця. Напряга електричного поля в зоні обробки рослинної сировини становить 60–75 кВ·м<sup>-1</sup>.

Під час застосування електроплазмолізу тривалість сушіння трави порівняно з природним сушінням зменшується в 1,5–2 рази.

Електроплазмоліз використовують також у харчовій промисловості для збільшення виходу соків під час пресування ягід, плодів тощо.

Електричний струм використовують під час боротьби з бур'янами, для прорідження культурних рослин, прискорення дозрівання рослин тощо.

### **❖ Питання для самоперевірки**

1. Для чого проводять передпосівну обробку насіння?
2. Назвіть електротехнологічні методи передпосівної обробки насіння?
3. Яким чином насіння обробляється струмом промислової частоти?

---

---

4. В яких процесах і для обробки яких матеріалів застосовується електричний струм?

5. Що ви знаєте про мікрохвильові технології, які застосовуються в агропромисловому комплексі?

6. Для чого і як проводять обробку вологих кормових матеріалів, знезараження ґрунту і гною, електророзсолення ґрунту, електроплазмоліз рослинної сировини?

### Тести

1. Під час обробки насіння зернових культур в електричному полі промислової частоти напруженість поля і експозиція повинні знаходитись у межах ...

- а) 12–44 кВ/см і 120–200 сек;
- б) 24–40 кВ/см і 200–320 сек;
- в) 2–4 кВ/см і 10–120 сек.

2. Для передпосівної біостимуляції і знезаражування насіння в мікрохвильових установках “Микростим 1” застосовується частота ....

- а) 2450 МГц; б) 2450 КГц; в) 2450 ГГц.

3. Електрообробку подрібненої і зволоженої розчином хімікатів (2% хлориду натрію і 4% кальцинованої соди) соломи проводять в електродних камерах струмом низької частоти протягом ...

- а) 26–28 хвилин при густині струму  $(0,5–0,8) \times 10^4$  А/м<sup>2</sup>;
- б) 6–8 хвилин при густині струму  $(0,1–0,3) \times 10^4$  А/м<sup>2</sup>;
- в) 18–26 хвилин при густині струму  $(0,8–1,0) \times 10^4$  А/м<sup>2</sup>.

4. У результаті обробки соломи електричним струмом вміст кормових одиниць підвищується ...

а) в 1,5–2 рази, і в стільки ж разів зменшується бактерицидна забрудненість;

б) в 2,5–3 рази, і в стільки ж разів зменшується бактерицидна забрудненість;

в) в 3,0–3,5 рази, і в стільки ж разів зменшується бактерицидна забрудненість;

5. Для електричного розсолення ґрунту на ділянці поля встановлюють систему електродів з металевих труб або стержнів до яких підводять ...

а) змінну напругу 36 В; б) постійну напругу 75 В; в) постійну напругу 220 В.

6. Відстань між електродами під час електричного розсолення ґрунту ..

- а) 2,5–5 м; б) 25–30 м; в) 10–20 м.  
 7. Ґрунт у теплицях стерилізують на глибину ...  
 а) 0,25 м; б) 0,12–0,15 м; в) 0,3–0,4 м.

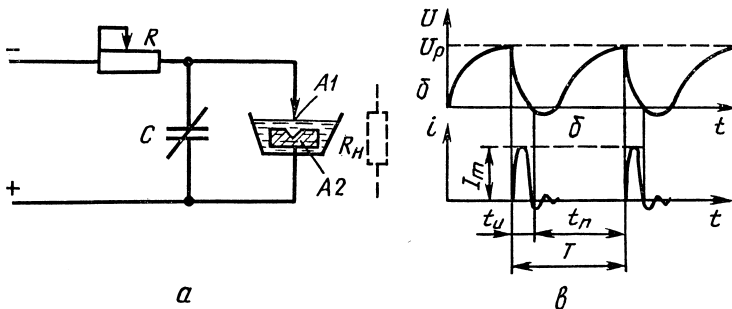
#### 2.4. ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

Електроіскрова обробка металів. Генератори імпульсів. Електричні огорожі . Електроімпульсна обробка рослинної сировини. Електрогідралічний ефект і його використання. Використання імпульсів високої напруги в процесах рослинництва.

#### Прочитайте

Л–1, с. 190–200; Л–2, с. 310–331; Л–4, с. 366–370.

**Електроімпульсна технологія** заснована на впливі на предмети праці імпульсів електричного струму. На відміну від традиційних технологій, заснованих на безперервному споживанні електроенергії, електроімпульсна технологія дозволяє підвищити параметри електричних впливів (напруженість поля, густину струму, миттєву потужність) і , як наслідок, суттєво інтенсифікувати процеси, знизити їх енергоємність, здійснити такі процеси, які взагалі неможливо виконати іншими способами (керування поведінкою тварин, виготовлення складних за формою деталей тощо).



**Рис. 70.** Схема генератора імпульсів RC (а), криві зміни напруги на конденсаторі (б) та струм в розрядному контурі (в):

$R_H$  – еквівалентний опір навантаження; А1 – електрод-інструмент;  
 А2 – деталь

---

---

Технічну основу електроімпульсної технології складають генератори імпульсів. Найпростіші з них – це залежні релаксаційні конденсаторні генератори типу RC (рис. 70). При подачі постійної напруги струм протікає по зарядному контуру і заряджає конденсатор С до напруги початку розряду  $U_p$ , яка визначається електричною міцністю міжелектродного проміжку. Під час пробивання конденсатор С розряджається на міжелектродний проміжок.

Суть цього способу обробки металів полягає в тому, що при електроіскровому розряді між електродом і оброблюваним металом утворюється плазма високої температури (до  $10^4$  К). Обробляють метали в посудині з рідким діелектриком. Тривалість імпульсів розряду  $10^{-5}$ – $10^{-7}$ с, тому теплота виділяється лише на поверхні. Поверхня металу нагрівається. Маленькі краплинки металу вилітають за межі електродів й охолоджуються робочою рідиною.

Електроерозійна обробка дає можливість створювати в металі отвори складної форми діаметром менше 0,3 мм, виготовляти інструменти з будь-якими механічними властивостями тощо.

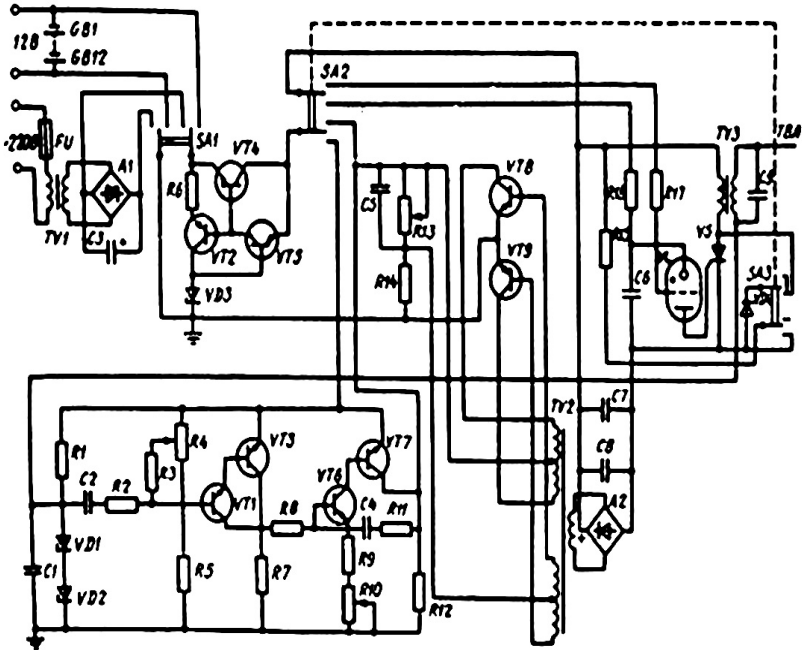
### ***Електричні огорожі***

Електричні огорожі призначені для загінного випасання великої рогатої худоби, свиней, овець і кіз.

Електрична огорожа складається з генератора імпульсів високої напруги, м'якого сталюого оцинкованого дроту діаметром 1,5–2 мм, який огорожує ділянку випасу тварин. Дріт підвішують на ізоляторах, закріплених на опорах. Кількість проводів може бути 1–3, висота підвісу 0,3–0,9 м, відстань між опорами 10–20 м. Провід утворює ізольовану від землі струмоведучу лінію, на яку поступають імпульси високої напруги від генератора імпульсів. Доторкнувшись до огорожі, тварина замикає коло та отримує електричний удар, безпечний для здоров'я тварини, але непримний. Через 2–3 дні у тварин виробляється безумовний рефлекс. Параметри електроогорож установлюють за умовами ефективності огорожі та безпеки для тварин: частота імпульсів 1–2 Гц, амплітудне значення струму не більше 150 мА, кількість електрики в імпульсі не більше 2,5 мКл, тривалість імпульса не більше 5 мс, амплітудне значення напруги на огорожі 2–10 кВ.

Основний вузол електроогорожі – генератор імпульсів. Генератори можуть бути різні за схемою, але всі вони відносяться до незалежних генераторів релаксаційного типу. Розглянемо схему генератора ГИЭ-1 (рис. 71). Живлення генератора здійснюється від внутрішньої батареї сухих елементів GB1–GB12 або від мережі

змінного струму 220 В через знижувальний трансформатор TV із вторинною напругою 12 В. Генератор може працювати в автоколивальному режимі, безперервно подає імпульси на огорожу, або в чекаючому, коли імпульс на огорожу подається тільки в момент доторкування тварини.



**Рис. 71. Принципіальна електрична схема генератора імпульсів ГИЭ-1**

До схеми входять:  
 блок живлення (батарея GB1–GB12 або трансформатор TV1 і випрямляч A1);  
 стабілізатор напруги (стабілітрон VD3, транзистори VT2, VT4, VT5, резистор R6);  
 перетворювач постійного струму (елементи схеми C5, R13, R14, VT8, VT9, T V2, випрямляч A2);  
 ємнісний накоплювач енергії (конденсатори C7 і C8);

---

---

комутуючий пристрій (тиратрон VL з холодним катодом);  
знижувальний трансформатор (TV3 з конденсатором C9);  
датчик порогового пристрою (R1);  
пороговий пристрій (VT1–VT3);  
виконавчий елемент (VT6–VT7).

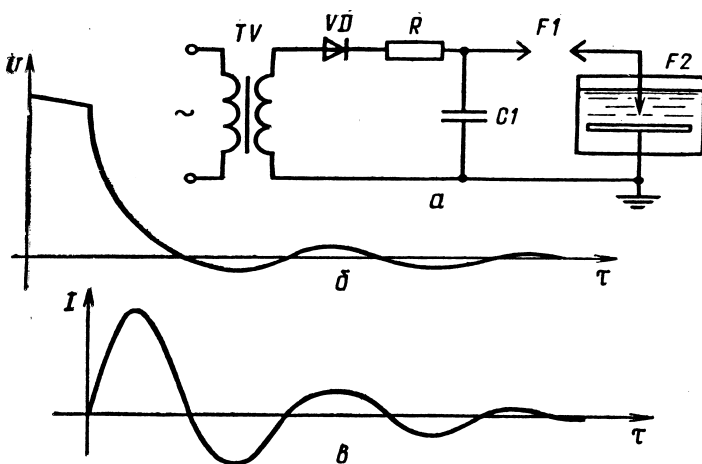
Режим роботи вибирається перемикачем SA2. В автоколивальному режимі SA2 – у верхньому положенні. Живлення від стабілізатора напруги подається в перетворювач постійного струму, і через випрямляч A2 заряджається накоплювач C7–C8. Одночасно через резистор R17 заряджається конденсатор C6.

Коли напруга на C6 досягне порогового значення, відкривається тиратрон VL, і через нього розряджається C6 по колу керування електрода тиристора VS. Тиристор відкривається і накоплювач C7–C8 розряджається на первинну обмотку підвищувального трансформатора TV3. На вторинній обмотці TV3 виникає імпульс високої напруги, який подається на електроогорожу. Коли тварина доторкується до огорожі, імпульс струму замикається по колу: *нижній вивід вторинної обмотки TV3 – стабілітрони VD1–VD2 – тіло тварини – струмоведуча лінія – верхній вивід вторинної обмотки TV3*. Конденсатор C9 підвищує ефективність роботи трансформатора TV3, діод VD4 захищає тиристор VS від зворотної перенапруги.

Під час переведення генератора в чекаючий режим перемикач SA2 встановлюють в нижнє положення. У цьому положенні напруга на перетворювач постійного струму може бути подана тільки за відкритого стану транзистора VT7, який настає при певному (вище порогового значення) спаді напруги на резисторі R1. Якщо тварина не торкається огорожі, то протікаючий через R1 від стабілізатора струм практично рівний нулю (стабілітрони VD1–VD2 не проводять струм зворотного напрямку). Під час доторкування тварини до огорожі струм через R1 і падіння напруги на ньому різко зростають. Сигнал підсилюється в пороговому пристрої VT1–VT3 і подається на несиметричний мультівібратор VT6–VT7. Транзистор VT7 відкривається і підключає джерело живлення до перетворювача постійного струму. Далі процес протікає як і в автоколивальному режимі.

### ***Електрогідролічний ефект***

Суть електрогідролічного ефекту полягає в тому, що при збудженні імпульсного розряду в рідині завдяки малій стискуваності виникає великий імпульсний тиск. Він передається рідиною у всі сторони і діє на зустрічні предмети.



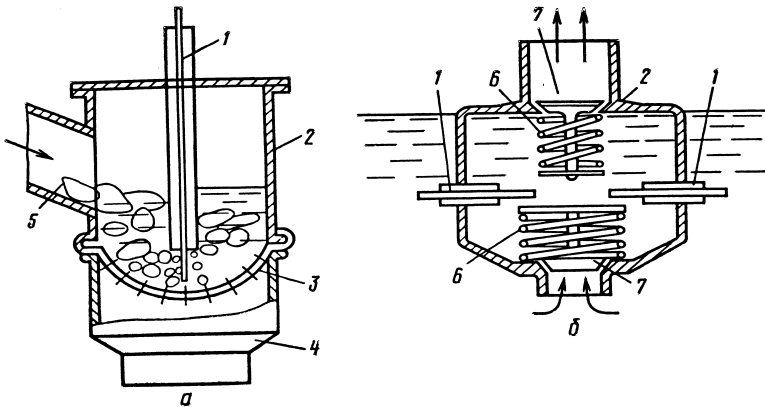
**Рис. 72. Електрична схема (а) електрогідравлічної установки та часові залежності напруги (б) й сили струму (в)**

Спрощену принципіальну схему утворення електрогідравлічного ефекту зображено у рис. 72. У схемі є генератор електричних імпульсів, який складається з підвищувального трансформатора TV, діода VD, конденсатора C, повітряного іскрового розрядника і робочого проміжку в рідині. Якщо на схему подати напругу, то почнеється заряд конденсатора C. Під час досягнення на конденсаторі певної величини напруги пробиваються розрядник FV і робочий проміжок у рідині. Напруга на конденсаторі 30–70 кВ, а струм розряду 15–10 кА. У розрядному каналі робочого проміжку плазма нагрівається до температури близько  $10^4$  К. Ефект супроводжується ударною (прямою і зворотною) хвилями, утворенням газового пузиря із продуктів розкладу води, кавітацією. Потужність імпульсу тиску на фронті ударної хвилі в тисячі разів перевищує потужність джерела живлення.

Електрогідравлічний ефект застосовують у технологічних процесах, де основний діючий фактор – різке підвищення тиску.

При використанні високовольного імпульсного розряду для подрібнення важко розчинних вапняних і фосфоритних добрив підвищується ефективність їх застосування. Схема електрогідравлічної дробарки показана на рис. 73 а.

Електроімпульсні насоси (рис. 73 б), в яких використовується електрогідрравлічний ефект, не мають частин, що обертаються, відрізняються простотою і високою надійністю роботи.



**Рис. 73. Електрогідрравлічна дробарка (а) і насос (б):**

1 – електроди; 2 – робоча камера; 3 – сітка; 4 – корпус; 5 – подрібнений матеріал; 6 – пружина; 7 – клапани

Оскільки електрогідрравлічному ефекту властива бактерицидна дія, його застосовують під час обробки води, молока, стічних вод тваринницьких ферм та інших рідин. Поливання рослин водою, обробленою високовольтними розрядами, підвищує врожайність сільськогосподарських культур. Електрогідрравлічні установки для миття вовни в декілька разів скорочують затрати праці та підвищують якість миття. Високовольтний розряд у воді використовують для очищення фільтрів артезіанських свердловин, що збільшує їх дебіт.

### ❖ Питання для самоперевірки

1. Що таке електричний імпульс?
2. Назвіть основні параметри електричного імпульсу.
3. У чому полягають особливості електроімпульсної дії на технологічні об'єкти?
4. Які установки сільськогосподарського призначення засновані на застосуванні електричних імпульсів?
5. Які основні принципи роботи генераторів електричних імпульсів?

- 
- 
6. Поясніть роботу принципіальної електричної схеми генератора імпульсів ГИЭ-1.
  7. Поясніть фізичну суть електрогідрравлічного ефекту.
  8. Наведіть приклади застосування електрогідрравлічного ефекту в АПК.

### Тести

1. Електроімпульсна технологія дозволяє підвищити параметри таких електричних впливів:
  - а) напруженість поля, густину струму, миттєву потужність;
  - б) питомий опір, діелектричну проникність;
  - в) температуру, тепловіддачу.
2. Електроімпульсна технологія застосовується в сільському господарстві для ...
  - а) нагрівання води, повітря;
  - б) електророзсолення ґрунту, електричної обробки кормів;
  - в) керування поведінкою тварин, виготовлення складних за формою деталей.
3. Електроерозійна обробка металів дає можливість...
  - а) прискорити обробку металів;
  - б) створювати в металі отвори складної форми діаметром менше 0,3 мм, виготовляти інструменти з будь-якими механічними властивостями;
  - в) збільшити міцність металів.
4. Під час електроерозійної обробки метали обробляють...
  - а) у посудині з рідким діелектриком;
  - б) у посудині з водою;
  - в) у посудині з електролітом.
5. Для електроерозійної обробки металів використовують ...
  - а) зварювальні трансформатори;
  - б) генератори високої частоти;
  - в) залежні релаксаційні конденсаторні генератори типу RC.
6. Частота імпульсів на електричній огорожі повинна бути в межах ...
  - а) 1–2 КГц; б) 1–2 Гц; в) 50–60 Гц.
7. Амплітудне значення струму електричної огорожі повинно бути ...
  - а) не більше 250 мА;
  - б) не більше 150 мА;

- 
- 
- в) не більше 500 мА;
8. Амплітудне значення напруги на електричній огорожі повинно бути ...
- а) 2–10 кВ; б) 220–380 В; в) 380–1000 В.
9. Суть електрогідравлічного ефекту полягає в тому, що ...
- а) під час збудження імпульсного розряду в рідині завдяки малій стискуваності виникає великий імпульсний тиск;
- б) під час збудження імпульсного розряду в рідині виникає висока провідність;
- в) під час збудження імпульсного розряду в рідині виникає висока термоелектрорушійна сила.
10. Електрогідравлічний ефект застосовують у технологічних процесах, де основний діючий фактор ...
- а) різке підвищення температури;
- б) різке підвищення провідності;
- в) різке підвищення тиску.
11. Для створення електрогідравлічного ефекту необхідна напруга на конденсаторі та струм розряду ...
- а) 1–10 кВ, 100–1000 А; б) 30–70 кВ, 15–10 кА; в) 380–660 В, 1–10 А.

### Виконайте

#### Лабораторна робота

Дослідження роботи електричної огорожі.

### **2.5. УЛЬТРАЗВУКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ**

Природа та властивості ультразвуку. Способи генерування ультразвуку. Застосування ультразвуку в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

### Прочитайте

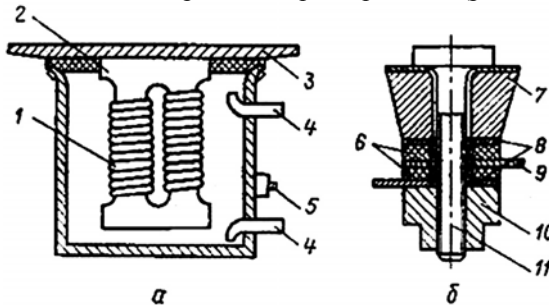
Л–2, с. 332–347; Л–4, с. 370–372.

Ультразвук – це періодичні пружні механічні коливання з частотою від  $2 \times 10^4$  до  $10^{10}$  Гц, тобто вищою за верхню мету чутливості людського вуха.

Ультразвукові коливання виникають за допомогою спеціальних вібраторів (перетворювачів) і розповсюджуються в середовищах у вигляді ультразвукових хвиль. Частинки середовищ коливаються біля деякого положення рівноваги, зазнаючи періодичних стискань (через напівперіод) і розширення (поздовжні хвилі). Вони поширюються у газі, рідині та твердих тілах. Під час розповсюдження ультразвукової хвилі у середовищі проходить перенесення енергії.

Ультразвукове поле в середовищі характеризується частотою та інтенсивністю ультразвуку. Умовно розрізняють ультразвукові коливання низької (до 100 кГц) та високої (вище 100 кГц) частоти, слабкої (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) і високої (до 10<sup>6</sup>–10<sup>7</sup> Вт/м<sup>2</sup>) інтенсивності.

Розповсюдження ультразвуку в середовищах супроводжується акустичним, механічним, термічним і біологічним проявами. Генерація ультразвуку здійснюється за допомогою магнітострикційних або п'єзоелектричних перетворювачів (рис. 74).



**Рис. 74. Ультразвукові перетворювачі:**

- а – магнітострикційний; б – п'єзоелектричний; 1 – обмотка;  
 2 – магнітострикційний пакет; 3 – випромінююча пластина; 4 – вхід і вихід охолоджувальної води; 5 – виводи обмотки; 6 – керамічні пластини; 7 і 10 – накладки; 8 – прокладки з фольги; 9 – електрод;  
 11 – стяжний болт

Генерують ультразвукові коливання так: спочатку за допомогою генераторів ультразвукової частоти перетворюють електричну енергію змінного струму промислової частоти в електричну енергію змінного струму високої частоти, що дорівнює частоті ультразвуку. Найбільш поширені напівпровідникові та лампові генератори ультразвукової частоти. Далі електричну енергію ультразвукової частоти перетворюють в енергію коливання твердого тіла в електроакустичних

---

---

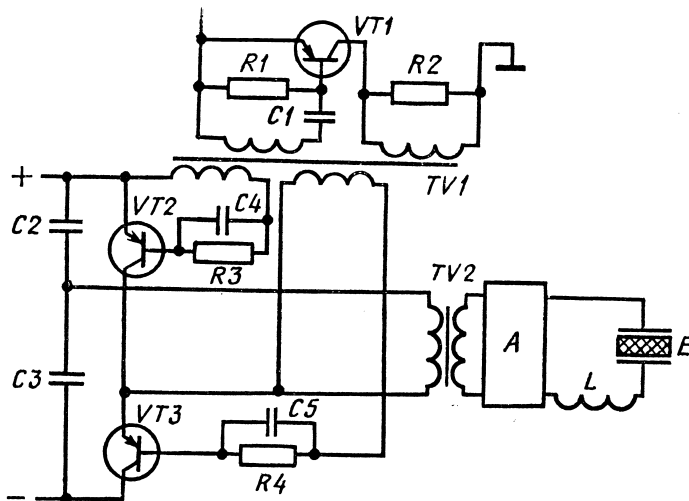
перетворювачах. Для цього використовують магніострикційні і п'єзоелектричні електроакустичні перетворювачі. Робота магніострикційного перетворювача заснована на властивості феромагнітних стержнів змінювати довжину залежно від зміни магнітного поля.

По обмотці 1 проходить змінний струм частотою, що дорівнює частоті ультразвукових коливань. Струм створює в стержнях 2 змінне магнітне поле. Під дією цього поля періодично змінюється довжина стержнів, що веде до збудження в оточуючому середовищі ультразвукових коливань.

Принцип роботи п'єзоелектричного перетворювача ґрунтується на властивості кристалів деформуватись під дією електричного поля. Використовують кристали з кварцу, сегнетової солі та інших матеріалів. Кристали виготовляють у вигляді пластинок, на більші грані яких наносять електроди. До електродів підводять напругу від генератора ультразвукової частоти. Під час зміни електричного поля змінюється товщина пластинки і в оточуючому середовищі поширюються ультразвукові коливання. П'єзоелектричні перетворювачі майже безінерційні, у них відсутні втрати на гістерезис. Однак вони розвивають малі потужності, тому застосовуються в основному в ультразвуковій інформаційно-вимірювальній техніці.

Для концентрації ультразвукових коливань і підведення їх до технологічного середовища використовують акустичні трансформатори, які є стержнями змінного перерізу. Більший торець стержня кріпиться до перетворювача, а менший підводиться до робочого середовища. Енергія концентрується в зоні робочого середовища завдяки зменшенню перетину стержня.

Принципальні схеми лампових генераторів ультразвукового діапазону мало відрізняються від генераторів для високочастотного нагрівання. Ультразвукові генератори на транзисторах найбільш надійні й економічні. Вони призначені для роботи з п'єзоелектричними перетворювачами. У рис. 75 розміщено принципальну електричну схему генератора на транзисторах, виконану за напівмостовою схемою.



**Рис. 75. Принципіальна електрична схема ультразвукового генератора на транзисторі**

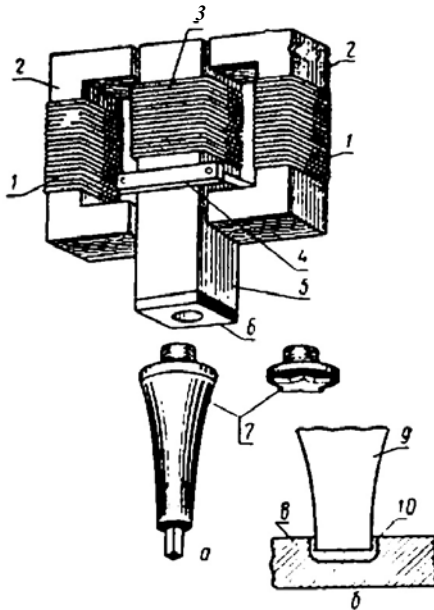
Схема складається із задаючого генератора на транзисторі VT1. Вторинна обмотка трансформатора TV1 подає збудження на транзистори VT2 і VT3 в протифазі.

Транзистори утворюють перший каскад підсилення і працюють у режимі перемикачання, періодично змінюючи напрям струму в первинній обмотці вихідного трансформатора TV2. Пристрій А складається з другого каскаду підсилення і коректуючого фільтра. На виході генератора підключений п'єзоелектричний перетворювач Е.

### ***Обробка твердих матеріалів***

Ультразвукові установки отримали застосування для обробки твердих матеріалів, які мають високу крихкість. До таких матеріалів відноситься скло, фарфор, кераміка, кварц.

Принцип ультразвукової обробки матеріалів можна з'ясувати на прикладі рис. 76. До магнітострикційного сердечника 5 закріплюють концентратор ультразвуку, на кінець якого насаджують робочу частину інструменту (головку).



**Рис. 76. Пристрій магнітострикційного випромінювача для ультразвукового свердління матеріалів:**

- 1 – обмотка підмагнічування сердечника постійним струмом;
- 2 – бокові плечі сердечника; 3 – обмотка змінного струму;
- 4 – кріплення осердя у вузлі ультразвукової хвилі;
- 5 – магнітострикційне осердя; 6 – гайка на вільному кінці осердя для кріплення робочого інструменту, 7 – робочі інструменти;
- 8 – оброблюваний матеріал; 9 – робочий інструмент; 10 – емульсія з абразивним порошком

Оброблювану поверхню матеріалу змочують емульсією абразивного порошку в воді або маслі. В якості абразиву можна використовувати корунд або карбід бора, карбід кремнію та ін.

Коли голівку робочого інструменту підводять до оброблюваної поверхні, то частинки абразиву, що знаходяться між ними, вдаряють по оброблюваному матеріалу і виколують із нього мініатюрні частинки. Якщо частинок абразиву багато, а частота ударів визначається частотою ультразвуку 20–30 кГц, то процес обробки йде доволі швидко.

---

---

### ***Ультразвукові дефектоскопи і прилади***

В ультразвукових дефектоскопах і приладах використовують в основному такі властивості ультразвуку: за певних частот поширюватися в твердих речовинах на велику глибину без помітного послаблення, і властивість відбиватися і заломлюватися на межі розділення двох речовин, різна швидкість поширення та ступінь поглинання в різних середовищах і речовинах.

Принцип дії найпростішого дефектоскопа можна пояснити на такому прикладі: якщо до досліджуваного предмета з одного боку підвести ультразвукові коливання, а з протилежного ці коливання будуть прийматися приймачем, наприклад, у вигляді п'єзоелектричної пластини, яка коливаючись, створює електричні потенціали, підсилювані за допомогою підсилювача, то покази приладів і характер зміни вихідних електричних величин будуть характеризувати внутрішній стан речовини матеріалу.

Якщо всередині досліджуваного об'єкта є дефект, то частина ультразвукових хвиль відображається від межі дефекту і не потрапляє на приймальну п'єзоелектричну пластинку, створюючи звукову тінь за дефектом і викликаючи відповідні зміни в показах електричних приладів, запису осцилографа або зображення на екрані дисплея.

За допомогою ультразвуку можна в різних деталях визначати дефекти, їх розміри, глибину залягання і склад окремих компонентів речовини. Ультразвуковими дефектоскопами контролюють якість зварювання, цілісність болтів тощо.

Існують ультразвукові прилади, які дозволяють вимірювати відстань, виявити перешкоду, визначити товщину сального шару у свиней, вимірювати концентрацію багатьох газів, ступінь засміченості повітря тощо.

У сільському господарстві ультразвук високої інтенсивності застосовується в процесах очищення і миття деталей та вузлів, доїльної апаратури, молочної посуду, пастеризації та гомогенізації молока, стерилізації парникового ґрунту, передпосівної обробки насіння.

### **❖ Питання для самоперевірки**

1. Що таке ультразвук?
2. Назвіть основні параметри ультразвуку.
3. Як проявляється дія ультразвуку на фізичні та біологічні об'єкти?

- 
- 
4. Поясніть принцип дії ультразвукових перетворювачів.
  5. В яких технологічних процесах використовують ультразвук?
  6. Поясніть роботу принципіальної електричної схеми ультразвукового генератора.

### Тести

1. Ультразвук – це ...
  - а) періодичні коливання електромагнітного поля з частотою від  $2 \times 10^2$  до  $10^3$  Гц ;
  - б) періодичні пружні механічні коливання з частотою від  $2 \times 10^4$  до  $10^{10}$  Гц;
  - в) періодичні коливання електромагнітного поля з частотою від 50 до 10000 Гц.
2. Розповсюдження ультразвуку в середовищах супроводжується ...
  - а) хімічним, електрофізичним проявом ;
  - б) оптичним, радіаційним проявом;
  - в) акустичним, механічним, термічним і біологічним проявами.
3. Генерування ультразвуку здійснюється за допомогою ...
  - а) магнітострикційних або п'єзоелектричних перетворювачів;
  - б) термоелектричних перетворювачів;
  - в) термохімічних перетворювачів.
4. Робота магнітострикційного перетворювача ґрунтується ...
  - а) на властивості стержнів змінювати свою довжину залежно від зміни температури;
  - б) на властивості стержнів змінювати свою довжину залежно від зміни магнітного поля;
  - в) на властивості кристалів деформуватись під дією електричного поля.
5. Принцип роботи п'єзоелектричного перетворювача ґрунтується ...
  - а) на властивості кристалів деформуватись під дією електричного поля;
  - б) на властивості стержнів змінювати свою довжину залежно від зміни температури;
  - в) на властивості стержнів змінювати свою довжину залежно від зміни магнітного поля.
6. В ультразвукових дефектоскопах і приладах використовують в основному такі властивості ультразвуку:

---

---

а) властивість при певних частотах поширюватися в твердих речовинах на велику глибину без помітного послаблення і властивість відбиватися і заломлюватися на межі розділення двох речовин, різна швидкість поширення і ступінь поглинання в різних середовищах і речовинах;

б) змінювати хімічні й фізичні властивості середовища;

в) змінювати електрофізичні властивості матеріалів.

## **2.6. МАГНІТНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ**

Використання магнітного поля для очищення насіння. Електромагнітні насіннеочисні машини, будова, принцип дії, технічні характеристики. Магнітна обробка води. Використання магнітного поля для очистки кормів і у ветеринарії.



### **Прочитайте**

Л–2, с. 347–351; Л–4, с. 372–373.

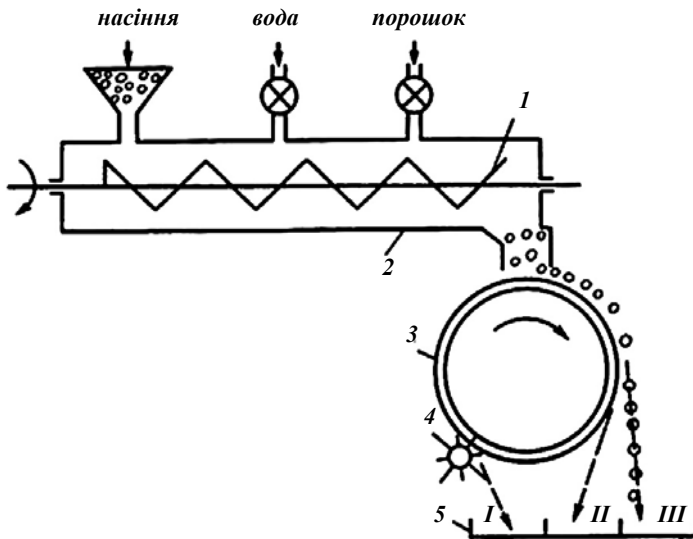
Вплив магнітного поля на живі організми вивчено ще недостатньо. Однак у сільському господарстві магнітне поле застосовують для очищення насіння проса та багаторічних трав від бур'янів, видалення залізних предметів з кормів та шлунку великої рогатої худоби, для магнітної обробки води тощо. У перелічених вище процесах використовують електромагніти та постійні магніти. Постійні магніти прості за конструкцією, дешеві, для них не потрібно джерел живлення. Однак їх магнітне поле з часом зменшується, а регулювання магнітної індукції пов'язане з великими труднощами. Цих недоліків позбавлені електромагніти.

*Магнітне очищення насіння.* Для очищення насіння проса та багаторічних трав від бур'янів використовують машину ЭМС-1А (електромагнітний сепаратор). Насіння перед очищенням змішують з магнітним порошком. До гладенької поверхні насіння культурних рослин порошок не пристає, а шорстка поверхня насіння бур'янів добре утримає порошок. Оброблене магнітним порошком насіння надходить на поверхню барабана, який обертається. Барабан виготовлений з неферомагнітного матеріалу (латуні). У середині барабана вміщено електромагніт, який займає приблизно половину його внутрішньої поверхні. Насіння бур'янів затримується на поверхні барабана і поступає у бункер, розташований під барабаном. Насіння

---

---

культурних рослин зісковзують з барабана значно раніше і потрапляють в інший бункер.



**Рис. 77. Схема магнітної сепарації зерна:**

1 – шнек; 2 – змішувальна камера; 3 – магнітний барабан; 4 – щітка;  
5 – класифікатор

У рис. 77 показано схему магнітної сепарації насіння за структурою поверхні, яка складається з попередньої підготовки насіння і пропускання його над магнітним барабаном.

*Магнітне очищення кормів від залізних предметів.* У концентровані та інші види кормів можуть потрапляти залізні предмети (цвяхи, гайки тощо). Тому корми доводиться очищати від металевих предметів. Суть такого очищення полягає в тому, що насипані тонким шаром корми переміщують під полюсами електромагнітів або постійних магнітів. При цьому металеві предмети притягуються до полюсів магнітів і таким способом відокремлюються від корму.

---

---

*Видалення залізних предметів зі шлунка великої рогатої худоби.*

Поїдаючи корм, корови часто проковтують дрібні металеві частини. Потрапивши в шлунок, металеві предмети можуть поранити оболонку шлунка і спричинити хворобу.

Для видалення металевих предметів зі шлунка коровам періодично вводять через рот і стравохід сильний електромагніт, виготовлений у вигляді стержня. Металеві предмети притягуються до намагніченого стержня і разом з ним їх витягують зі шлунка.

*Магнітна обробка води.* Під час роботи електричних котлів на внутрішніх стінках відкладається накип. Для зменшення відкладання накипу застосовують магнітну обробку води. Для цього воду з невеликою швидкістю пропускають через апарат (рис. 78), в якому чергується полярність магнітного поля. У корпусі 7 апарата розміщена котушка електромагніту 2 з кільцевими пазами, в яких розташовані секції. Котушка закрита кожухом 8, заповненим трансформаторним маслом. Вода протікає через зазор між кожухом і корпусом знизу вгору. Зазор не повинен перевищувати 10 мм, бо при збільшенні зазору сильно зростає опір магнітного поля. Температура води повинна становити 60–70°C.

Фізичну суть магнітної обробки води спрощено можна пояснити так: при пропусканні води через магнітне поле, полярність якого змінюється, у воді утворюються центри кристалізації солей. Тому при нагріванні такої води солі кристалізуються і випадають на дно котла. У необробленій у магнітному полі воді таких центрів кристалізації немає, тому створюються сприятливі умови для кристалізації солей на стінках котла.

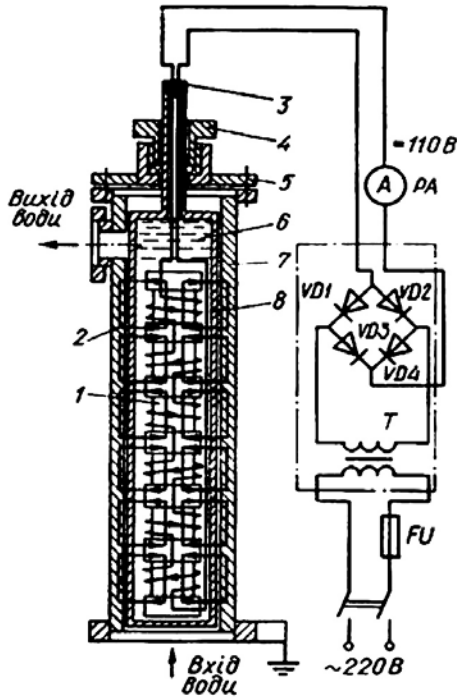
Обробляти в магнітному полі воду потрібно безпосередньо перед подаванням її в котел, бо утворені центри кристалізації нестійкі і поступово розпадаються.

Загальна жорсткість оброблюваної води не повинна перевищувати 12–14 мг екв/л, а вміст солі – 1100 мг/л.

Із зростанням жорсткості води ефективність магнітної обробки значно зменшується.

Швидкість води повинна бути 0,4–1 м/с, напруженість магнітного поля 120–150 кА/м.

Вода, оброблена в магнітному полі, має й інші корисні властивості. При поливанні такою водою підвищується енергія проростання й урожайність цукрового буряку, рису, гороху, овочів.



**Рис. 78. Апарат для магнітної обробки води:**

- 1 – кeрн; 2 – кoтушкa eлeктрoмaгнiту; 3 – прoбкa; 4 – штyцeр;  
 5 – крiшкa; 6 – трaнсфoрмaтoрнe мaслo; 7 – кoрпyс;  
 8 – лaтyнний кoжyх

### ◆ Питання для самоперевірки

1. Поясніть принцип дії магнітних сепараторів.
2. В яких технологічних процесах використовують магнітні поля?
3. З якою метою та яким чином воду обробляють магнітним полем?

---

---

## Тести

1. Магнітне поле в сільському господарстві застосовують ...
  - а) для очищення насіння зернових культур від насіння бур'янів;
  - б) для очищення насіння проса та багаторічних трав від насіння бур'янів, для видалення залізних предметів з кормів та зі шлунка великої рогатої худоби, для обробки води;
  - в) для очищення насіння овочевих культур від насіння бур'янів.
2. Магнітну обробку води застосовують для...
  - а) очищення води від домішок;
  - б) зменшення відкладання накипу;
  - в) поліпшення питних якостей води.
3. Фізична суть магнітної обробки води полягає ...
  - а) у створенні сприятливих умов для кристалізації солей на стінках котла;
  - б) у створенні сприятливих умов для розвитку бактерій ;
  - в) в утворенні центрів кристалізації солей і при нагріванні такої води солі кристалізуються і випадають в осад.
4. Обробляти в магнітному полі воду потрібно ...
  - а) безпосередньо перед подаванням її в котел;
  - б) за 12–24 години перед подаванням її в котел;
  - в) за декілька діб перед подаванням її в котел.
5. Із зростанням жорсткості води ефективність магнітної обробки...
  - а) значно збільшується; б) значно зменшується;
  - в) залишається незмінною.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Відповідно до навчального плану студент виконує контрольну роботу.

Написання контрольної роботи найбільш ефективна форма засвоєння опрацьованого матеріалу.

Самостійне виконання контрольної роботи дає змогу студентам глибше вивчити програмний матеріал дисципліни, перевірити уміння самостійно працювати над літературою, нормативними матеріалами, розв'язанням задач, пов'язаних з впровадженням у сільськогосподарське виробництво електропривода.

---

---

Контрольну роботу необхідно виконувати дотримуючись таких вимог:

роботу слід писати в окремому зошиті, охайно, грамотно, залишаючи поля для зауважень викладача і чисту сторінку для написання рецензії;

на обкладинці зошита написати назву дисципліни, номер контрольної роботи, шифр (номер особової справи) студента, варіант, прізвище, ім'я та по батькові, домашню адресу;

запитання та умови задач переписати повністю;

відповіdatи на запитання у тій послідовності, яка зазначена у завданні;

відповіді на теоретичні питання повинні бути чіткими і конкретними;

креслення і схеми слід виконувати олівцем, дотримуючись позначень, які відповідають діючим державним стандартам;

сторінки контрольної роботи слід пронумерувати, а в кінці її зазначити використану літературу, поставити свій підпис і дату виконання;

**роботи, виконані не за своїми варіантами, не рецензуються.**

Контрольна робота складається з трьох теоретичних питань і трьох задач, які розподілені за стоваріантною системою. Номер варіанта відповідає двом останнім цифрам шифру студента-заочника. Якщо, наприклад, шифр 132, то номер варіанта 32. У таблиці розподілу питань і задач контрольної роботи за варіантами у графі “Передостання цифра шифру” знаходите цифру 3 (для цього прикладу) і в графі “Остання цифра шифру” знаходите цифру 2. На перетині цих граф знаходиться прямокутник з номерами питань і задач, на які слід дати відповіді. Номери задач складаються з двох цифр, перша з яких – порядковий номер задачі, а друга – варіант у задачі.

Одержавши після перевірки прорецензовану контрольну роботу, необхідно уважно прочитати рецензію з зауваженнями викладача, проаналізувати свої помилки і внести необхідні доповнення в контрольну роботу.

Якщо роботу незаховано, то її виконують повторно.

## **ПИТАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ**

1. Роль і значення електротехнології в сільськогосподарському виробництві, перспективні напрямки використання в технологічних процесах.

- 
- 
2. Техніко-економічне обґрунтування застосування електричної енергії в технологічних процесах.
  3. Загальні принципи перетворення електричної енергії в теплову. Класифікація електронагрівних установок за способом нагріву та іншими ознаками.
  4. Методика теплового й електричного розрахунку електронагрівних установок.
  5. Фізичні основи електронагрівання опором.
  6. Пряме електронагрівання опором.
  7. Переваги електронагрівних установок в порівнянні з традиційними паливними джерелами.
  8. Особливості, переваги й недоліки прямого нагрівання опором.
  9. Електродні системи та їх розрахунок.
  10. Матеріали для нагрівальних елементів.
  11. Методи розрахунку відкритих нагрівників під час нагрівання опором.
  12. Трубчасті електронагрівники, будова, структура позначень, застосування.
  13. Розрахунок і вибір ТЕНів.
  14. Нагрівальні проводи й кабелі, призначення, технічні характеристики, застосування.
  15. Фізична природа і властивості електричної дуги.
  16. Вимоги до джерел живлення для дугового зварювання, їх основні параметри і характеристики.
  17. Умови стійкого горіння зварювальної дуги.
  18. Будова й типи зварювальних трансформаторів.
  19. Способи регулювання зварювального струму.
  20. Фізичні основи індукційного нагрівання.
  21. Принципи та пристрої індукційного нагріву струмами промислової частоти.
  22. Індукційний нагрів струмами середньої й високої частоти.
  23. Особливості високочастотного нагріву.
  24. Застосування індукційного нагріву в сільському господарстві.
  25. Фізичні основи діелектричного нагрівання, його застосування в сільському господарстві.
  26. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.

---

---

27. Методика визначення розрахункової потужності та вибір теплогенеруючих установок за добовим графіком теплових навантажень.

28. Класифікація водонагрівників і котлів.

29. Призначення, будова, технічні характеристики, застосування, принципи керування та автоматизації елементних водонагрівників періодичної дії.

30. Призначення, будова, технічні характеристики, застосування, принципи керування та автоматизації елементних водонагрівників безперервної дії.

31. Будова і принцип дії електродного водонагрівника ЕПЗ-100, принципи керування і автоматизації.

32. Способи регулювання потужності електродних водонагрівників.

33. Будова та принцип дії електродного котла КЕВ, принципи керування й автоматизації.

34. Будова та принцип дії електродного котла КЕВЗ, принципи керування й автоматизації.

35. Будова та принцип дії електродного парового котла КЕПР, принципи керування й автоматизації.

36. Електрокотельні, їх обладнання й схеми автоматизації.

37. Основні правила техніки безпеки під час експлуатації електричних водонагрівників і котлів.

38. Системи та види електроопалення виробничих приміщень.

39. Будова, технічні характеристики, застосування електрокалориферних установок.

40. Будова, технічні характеристики припливно-витяжних установок з підігрівом повітря.

41. Методика розрахунку потужності й вибір електрокалориферних установок.

42. Будова, методика визначення основних параметрів електрообігрівальної підлоги.

43. Параметри мікроклімату інкубатора, будова, типи.

44. Види й способи електрообігрівання ґрунту та повітря в парниках, теплицях.

45. Методика визначення основних параметрів нагрівальних елементів ґрунту й повітря в парниках і теплицях.

46. Вимоги техніки безпеки під час експлуатації парників і теплиць з електрообігріванням.

- 
- 
47. Установки для активного вентилявання зерна, будова, типи, розрахунок електропідігрівачів повітря.
  48. Установки для активного вентилявання сіна, будова, типи.
  49. Електротеплова обробка кормових матеріалів.
  50. Електропастеризація молока. Конструкція пластинчастого пастеризатора. Визначення потужності установки.
  51. Сушіння і дезінфекція зерна інфрачервоними променями та струмами високої частоти.
  52. Компресорні холодильні машини, їх будова, принцип дії.
  53. Термоелектричні холодильники, їх будова, принцип дії.
  54. Принцип дії електротеплових насосів компресорного й термоелектричного типів, коефіцієнт перетворення енергії.
  55. Призначення, будова, технічні дані електричних печей та сушильних шаф, які застосовуються у ремонтних майстернях.
  56. Електрофізичні фактори в природі та їх вплив на рослинний і тваринний світ.
  57. Фізичні основи електронно-іонної технології.
  58. Електричні сепаратори зерна, класифікація, будова, принцип дії, технічні характеристики.
  59. Передпосівна обробка насіння в електричному полі.
  60. Будова й принцип дії електричних іонізаторів повітря.
  61. Джерела високої напруги для живлення установок електронно-іонної технології.
  62. Передпосівна обробка насіння електричним струмом.
  63. Обробка вологих кормових матеріалів електричним струмом.
  64. Знезаражування ґрунту і гною електричним струмом.
  65. Електророзсолення ґрунту.
  66. Вплив електричного струму на рослини.
  67. Електроіскрова обробка металів. Генератори імпульсів.
  68. Електрогідравлічний ефект і його використання.
  69. Дія електричної огорожі. Накреслити схему генератора імпульсів, пояснити її роботу.
  70. Природа й властивості ультразвуку.
  71. Способи генерування ультразвуку.
  72. Застосування ультразвуку в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.
  73. Електромагнітні насіннеочисні машини, будова, принцип дії, технічні характеристики.
  74. Магнітна обробка води.
  75. Регулювання потужності електронагрівних установок.

- 
- 
76. Будова і призначення осциляторів.
  77. Зварювальні перетворювачі.
  78. Зварювальні випрямлячі.
  79. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника УАП-400 і пояснити її роботу.
  80. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника САОС -400 і пояснити її роботу.
  81. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника ВЭП-600 і пояснити її роботу.
  82. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника ЭВ-Ф-15 і пояснити її роботу.
  83. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника ЭПЗ 100/04 И2 і пояснити її роботу.
  84. Навести принципіальну електричну схему керування водонагрівника ЭПЗ 100/04 И3 і пояснити її роботу.
  85. Навести принципіальну електричну схему керування котлом КЭВ-04 і пояснити її роботу.
  86. Навести принципіальну електричну схему керування котлом-пароутворювачем КЭПР-160/04 і пояснити її роботу.
  87. Будова і принцип дії вентильного зварювального генератора.
  88. Електробезпека при електрозварюванні.
  89. Джерела живлення установок індукційного і діелектричного нагрівання.
  90. Навести принципіальну електричну схему електропарогенератора ЭЭП-160 И1 і пояснити її роботу.
  91. Навести принципіальну електричну схему електрокалориферної установки СФОЦ-25/05-И1 і пояснити її роботу.
  92. Будова і принцип дії електроопалювальних установок акумуляційного типу.
  93. Призначення і будова електрообігрівних панелей і килимків.
  94. Будова електрообігріву ґрунту і повітря в парниках.
  95. Навести принципіальну електричну схему пристрою КЕПТТ-1УХЛЗ для регулювання потужності електрообігріву в теплицях.
  96. Навести технологічну схему водоохолоджувальної установки АВ-30 і пояснити її роботу.
  97. Навести принципіальну електричну водоохолоджувальної установки АВ-30 і пояснити її роботу.
  98. Навести технологічну схему холодильного апарату компресійного побутового холодильника і пояснити її роботу.

99. Навести технологічну схему холодильного апарату абсорбційного побутового холодильника і пояснити її роботу.

100. Навести принципіальну електричну схему праски і пояснити її роботу.

101. Профілактика електротравматизму в побуті під час використання електронагрівних установок.

102. Осадження аерозолів в електричному полі.

103. Використання мікрохвильових технологій в сільсько-господарському виробництві.

104. Електроплазмоліз рослинної сировини.

105. Навести принципіальну електричну схему ультразвукового генератора і пояснити її роботу.

106. Обробка твердих матеріалів ультразвуковими установками.

107. Ультразвукові дефектоскопи і прилади.

### Задачі

**Задача 1.** Для варіантів 1–15 розрахувати відкритий резистивний нагрівник у вигляді спіралі для нагрівання повітря. Напруга живлення – 220 В.

Вихідні дані взяти з табл. 1.

Для варіантів 16–30 виконати перевірочний розрахунок електричного водонагрівника періодичної дії, визначити загальну потужність, вибрати ТЕНи і визначити їх кількість. Вихідні дані взяти з табл. 2.

Таблиця 1

**Вихідні дані до задачі 1 (варіанти 1–15)**

Варіанти	Потужність нагрівника, кВт	Матеріали для нагрівного елементу	Термічний опір нагрівника, $m^2 \cdot ^\circ C \cdot Bm^{-1}$	Допустима робоча температура, $^\circ C$
1	2	3	4	5
1	2,0	X20H80	$11,0 \times 10^{-3}$	700
2	3,5	X20H80	$11,5 \times 10^{-3}$	780
3	4,0	X20H80	$12,0 \times 10^{-3}$	760
4	5,0	X15H60	$12,5 \times 10^{-3}$	740

1	2	3	4	5
5	3,0	X15H60	$13,0 \times 10^{-3}$	720
6	5,5	X15H60	$13,5 \times 10^{-3}$	680
7	4,5	X13Ю4	$14 \times 10^{-3}$	450
8	6,0	X13Ю4	$14,5 \times 10^{-3}$	430
9	1,0	X13Ю4	$14,2 \times 10^{-3}$	400
10	1,5	X20H80	$11,0 \times 10^{-3}$	750
11	2,5	X20H80	$11,5 \times 10^{-3}$	720
12	3,0	X20H80	$12,0 \times 10^{-3}$	710
13	2,0	X15H60	$11 \times 10^{-3}$	730
14	3,5	X15H60	$11 \times 10^{-3}$	650
15	4,0	X15H60	$11 \times 10^{-3}$	670

Таблиця 2

**Вихідні дані до задачі 1 (варіанти 16–30)**

Варіанти	Потужність одного ТЕНа, кВт	Маса води, кг	Початкова температура нагрівання, °С	Кінцева температура нагрівання, °С	Тривалість нагрівання, год
16	1,6	500	5	70	2,0
17	1,0	600	10	80	2,0
18	2,0	600	11	90	3,0
19	2,5	800	8	85	1,5
20	2,5	1600	2	80	4,0
21	3,5	1600	7	75	4,5
22	3,5	1000	6	70	5,0
23	1,6	2100	5	65	4,5
24	1,0	1100	6	60	4,0
25	1,6	1200	7	55	3,5
26	1,6	400	4	90	3,0
27	2,5	750	5	85	2,5
28	4,0	1400	3	80	3,0
29	4,0	1500	4	75	2,0
30	2,0	700	5	80	3,5

**Задача 2.** Розрахувати трифазний електродний водонагрівник. Напряга живлення 380 В. Вихідні дані взяти з таблиці 3.

Таблиця 3

**Вихідні дані до задачі 2**

Варіанти	Продуктивність, кг/год	Початкова температура, °С	Кінцева температура, °С	Питомий опір води, $\rho_{20}$ , Ом·м	Тип електродної системи
1	2	3	4	5	6
1	100	5	90	20	пластинчастий
2	200	7	95	9	коаксіальний
3	300	10	80	8	пластинчастий
4	400	6	85	7	коаксіальний
5	500	7	70	22	пластинчастий
6	500	7	70	10	коаксіальний
7	700	9	60	30	пластинчастий
8	800	10	65	8	коаксіальний
9	900	5	70	9	пластинчастий
10	1000	8	90	19	коаксіальний
11	100	7	80	20	пластинчастий
12	150	4	85	25	коаксіальний
13	200	5	75	30	пластинчастий
14	250	7	70	20	коаксіальний
15	300	6	80	15	пластинчастий
16	350	8	85	18	коаксіальний
17	400	4	75	22	пластинчастий
18	450	5	65	24	коаксіальний
19	500	10	60	26	пластинчастий
20	550	12	80	28	коаксіальний
21	600	4	90	18	пластинчастий
22	650	6	70	15	коаксіальний
23	700	5	75	14	пластинчастий
24	750	8	85	13	коаксіальний
25	800	9	80	12	пластинчастий
26	850	10	70	10	коаксіальний
27	900	6	75	20	пластинчастий
28	200	7	90	20	коаксіальний
29	200	8	65	26	пластинчастий
30	300	9	85	19	коаксіальний

**Задача 3.** Для варіантів 1–15 розрахувати електрообігрівну підлогу в приміщенні. Вихідні дані взяті з табл. 4.

Для варіантів 16–30 розрахувати електрообігрів ґрунту парників та теплиць нагрівальними проводами типів ПОСХВ і ПОСХП. Вихідні дані взяті з табл. 5.

Таблиця 4

**Вихідні дані до задачі 3 (варіанти 1–15)**

Варіант	Вид тварин	Кількість	Температура підлоги, °С	Температура повітря, °С	Питома площа обігрівання	Нагрівальний провід
1	2	3	4	5	6	7
1	Курчата добові	15000	35–40	20	0,016 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХВ
2	Курчата віком 30–40 діб	10000	35–40	21	0,035 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХВ
3	Курчата віком 60–70 діб	8000	35–40	18	0,075 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХВ
4	Поросята-сисуні	70 гнізд (по 10 голів у кожному)	25–30	18	1,1 м <sup>2</sup> /гніздо	ПОСХВ
5	Поросята на відгодівлі масою 15–30 кг	50 станків	25	18	1,1 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХВ
6	Поросята на відгодівлі масою 30–45 кг	70 станків	20	18	1,2 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХВ
7	Свиноматки	150 голів	18–25	15	2 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХВ
8	Свиноматки	85 голів	18–20	15	2 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХП
9	Свиноматки	65 голів	18–25	16	2 м <sup>2</sup> /гол	ПОСХП
10	Курчата добові	20000 гол.	38	22	0,016	ПОСХП
11	Курчата добові	17000 гол.	35	26	0,016	ПОСХП
12	Поросята відлучені	70 станків	25	18	1,2 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХП

1	2	3	4	5	6	7
13	Поросята відлучені	100 станків	24	18	1,2 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХП
14	Поросята відлучені	60 станків	24	16	1,1 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХП
15	Поросята відлучені	150 станків	26	16	1,2 м <sup>2</sup> /станок	ПОСХП

Таблиця 5

**Вихідні дані до задачі 3 (варіанти 16–30)**

Варіанти	Назва і розміри в плані А×В, м	Культура	Нагрівальний провід	Розрахункова температура зовнішнього повітря, °С
1	2	3	4	5
16	Парник на 40 рам	Розсада капусти	ПОСХВ	– 5
17	Парник на 60 рам	Розсада капусти	ПОСХВ	– 4
18	Парник на 80 рам	Розсада помідор	ПОСХВ	– 3
19	Парник на 100 рам	Розсада помідор	ПОСХВ	– 2
20	Парник на 20 рам	Цибуля	ПОСХВ	– 3
21	Парник на 40 рам	Цибуля	ПОСХВ	– 4
22	Теплиця 50×6	Помідори на плоди	ПОСХВ	– 5
23	Теплиця 80×7	Помідори на плоди	ПОСХП	– 6
24	Теплиця 70×7	Помідори на плоди	ПОСХП	– 7
25	Теплиця 80×10	Огірки на плоди	ПОСХП	– 8
26	Теплиця 100×10	Огірки на плоди	ПОСХП	– 9
27	Теплиця 150×7	Огірки на плоди	ПОСХП	– 10
28	Теплиця 80×8	Баклажани	ПОСХП	– 8
29	Теплиця 80×8	Кабачки	ПОСХП	– 6
30	Теплиця 75×7	Кольорова капуста	ПОСХП	– 5

**Таблиця розподілу питань і задач контрольної роботи за варіантами**

Перед-остання цифра шифру	Остання цифра шифру				
	0	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
0	10, 45, 106, 1-15, 2-30, 3-10	9, 50, 105, 1-14, 2-1, 3-9	1, 58, 104, 1-13, 2-29, 3-1	6, 51, 103, 1-12, 2-2, 3-8	2, 59, 97, 1-16, 2-28, 3-12
1	3, 62, 94, 1-3, 2-4, 3-7	11, 61, 102, 1-27, 2-3, 3-13	4, 52, 102, 1-17, 2-27, 3-6	14, 63, 78, 1-4, 2-5 3-14	5, 68, 100, 1-5, 2-6, 3-15
2	7, 73, 104, 1-18, 2-26 3-5	15, 64, 99, 1-19, 2-25, 3-4	8, 53, 103, 1-6, 2-7, 3-16	12, 46, 101, 1-20, 2-24, 3-3	13, 72, 86, 1-7, 2-8, 3-17
3	19, 69, 95, 1-21, 2-27, 3-2	23, 54, 74, 1-8, 2-9, 3-18	16, 74, 85, 1-22, 2-23, 3-1	27, 57, 100, 1-1, 2-30, 3-8	31, 75, 83, 1-30, 2-1, 3-10
4	26, 65, 105, 1-2, 2-29, 3-30	17, 55, 78, 1-29, 2-2, 3-11	28, 77, 98, 1-9, 2-28 3-29	20, 48, 79, 1-28, 2-10, 3-17	29, 76, 101, 1-10, 2-21, 3-28
5	21, 70, 79, 1-26, 2-11, 3-19	18, 71, 96, 1-11, 2-20, 3-27	22, 60, 80, 1-25, 2-13, 3-20	32, 80, 101, 1-12, 2-14, 3-26	24, 47, 83, 1-24, 2-12, 3-21
6	25, 44, 81, 1-13, 2-19, 3-25	38, 84, 103, 1-23, 2-15, 3-23	30, 66, 93, 1-14, 2-18, 3-24	40, 81, 89, 1-16, 2-17, 3-22	33, 49, 103, 1-15, 2-16, 3-9
7	42, 82, 91, 1-15, 2-1, 3-25	34, 45, 63, 1-1, 2-15, 3-14	37, 50, 83, 1-14, 2- 2, 3-26	1, 48, 81, 1-2, 2-16, 3-15	35, 55, 105, 1-13, 2-3, 3-27
8	2, 52, 82, 1-3, 2-17, 3-16	39, 59, 74, 1-12, 2-4, 3-28	41, 62, 83, 1-4, 2-18, 3-17	43, 58, 84, 1-11, 2-5, 3-29	36, 60, 85, 1-5, 2-19, 3-18
9	3, 49, 90, 1-10, 2-7, 3-30	8, 53, 72, 1-6, 2-20, 3-19	27, 51, 75, 1-9, 2-8, 3-1	6, 57, 78, 1-7, 2-21, 3-10	9, 61, 92, 1-8, 2-10, 3-2

Перед- останняя цифра шифру	Останняя цифра шифру				
	5	6	7	8	9
0	28, 54, 69, 1-28, 2-24, 3-20	4, 47, 86, 1-30, 2-9, 3-8	7, 54, 87, 1-17, 2-23, 3-4	29, 52, 70, 1-29, 2-11, 3-7	5, 46, 64, 1-18, 2-12, 3-5
1	10, 39, 77, 1-16, 2-22, 3-9	30, 65, 104, 1-19, 2-13, 3-11	11, 57, 101, 1-27, 2-29, 3-24	15, 53, 76, 1-20, 2-14, 3-21	12, 71, 88, 1-26, 2-30, 3-12
2	16, 66, 89, 1-21, 2-27, 3-6	13, 58, 90, 1-25, 2-28, 3-2	31, 73, 91, 1-27, 2-29, 3-23	14, 84, 92, 1-24, 2-6, 3-2,	17, 60, 82, 1-23, 2-16, 3-10
3	40, 55, 81, 1-15, 2-5, 3-23	18, 79, 93, 1-30, 2-20, 3-18	23, 67, 102, 1-16, 2-6, 3-1	19, 63, 94, 1-29, 2-21, 3-3	22, 68, 95, 1-17, 2-7, 3-24
4	26, 80, 96, 1-28, 2-22, 3-4	20, 43, 100, 1-18, 2-8, 3-30	32, 50, 94, 1-27, 2-23, 3-5	21, 69, 99, 1-19, 2-9, 3-22	24, 51, 97, 1-26, 2-24, 3-11
5	41, 61, 76, 1-20, 2-10, 3-6	33, 59, 95, 1-25, 2-26, 3-7	37, 62, 85, 1-21, 2-11, 3-25	42, 44, 91, 1-24, 2-27, 3-8	38, 85, 97, 1-23, 2-12, 3-27
6	34, 87, 106, 1-22, 2-25, 3-12	36, 56, 90, 1-1, 2-13, 3-9	35, 81, 88, 1-14, 2-26, 3-19	25, 43, 92, 1-2, 2-14, 3-18	20, 56, 86, 1-13, 2-28, 3-14
7	28, 49, 96, 1-3, 2-29, 3-13	16, 48, 89, 1-12, 2-1, 3-18	33, 92, 106, 1-4, 2-15, 3-14	13, 87, 98, 1-11, 2-2, 3-16	4, 45, 93, 1-5, 2-16, 3-15
8	5, 56, 90, 1-10, 2-3, 3-20	38, 72, 88, 1-6, 2-17, 3-24	35, 63, 99, 1-9, 2-4, 3-15	14, 47, 101, 1-7, 2-18, 3-26	40, 73, 97, 1-8, 2-19, 3-28
9	42, 74, 104, 1-5, 2-24, 3-11	36, 78, 85, 1-12, 2-16, 3-5	3, 39, 75, 1-3, 2-18, 3-22	34, 52, 98, 1-7, 2-15, 3-27	37, 68, 99, 1-11, 2-27, 3-5

**Чинні стандарти з питань термінології**

- ГОСТ 19341    Енергетика и электрификация народного хозяйства.  
Основне поняття
- ДСТУ 3120-95    Електротехніка. Літерне позначення основних величин
- ДСТУ 3440-95    Системи енергетичні. Терміни та визначення
- ДСТУ 2791-94    Системи електропостачальні з номінальною напругою до 1000В.  
Джерела, мережі, перетворювачі та споживачі електричної енергії.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2976-95    Трансформатори струму та напруги.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 3270-95    Трансформатори силові.  
Терміни та визначення
- ДСТУ3827-98    Оберткові електричні машини.  
Характеристики машин.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2818-94    Машини електричні оберткові.  
Позначення літерні та одиниці виміру
- ДСТУ 2313-93    Електроприводи. Терміни та визначення
- ДСТУ2267-93    Вироби електротехнічні.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2848-94    Апарати електричні комутаційні.  
Основні поняття.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2290-93    Контакти електричні.  
Терміни та визначення

- 
- 
- ДСТУ 2815-94 Електронні й магнітні кола та пристрої.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 3540-96 Електронні засоби вимірювальної техніки для  
електричних та магнітних вимірювань.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2305-93 Підсилювачі операційні.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2306-93 Мікросхеми інтегровані.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 3212-95 Мікросхеми інтегровані.  
Класифікація та система умовних позначень
- ДСТУ 2681-94 Метрологія.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 3021-95 Випробування і контроль якості продукції.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2865-94 Контроль неруйнівний.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2866-94 Контроль неруйнівний електричний.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування і контроль технічного стану.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 2275-93 Енергозбереження.  
Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії.  
Терміни та визначення
- ДСТУ 3818-98 Енергозбереження. Вторинні енергетичні ресурси.  
Терміни та визначення

ДСТУ 2804-94 Енергобаланс промислового підприємства.  
Загальні положення.  
Терміни та визначення

ДСТУ 3896-99 Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції.  
Терміни та визначення

ДСТУ 2293-99 Охорона праці.  
Терміни та визначення

ДСТУ 2156-93 Безпечність промислових підприємств.  
Терміни та визначення

ДСТУ 2272-93 Система стандартів безпеки праці.  
Пожежна безпека.  
Терміни та визначення

Додаток Б

**Одиниці СІ**  
**Одиниці фізичних величин (ГОСТ 8.417-81)**

Таблиця Б.1

**Основні одиниці СІ**

Величина		Одиниця		
найменування	розмірність	найменування	позначення	
			міжнародне	українське
Довжина	<b>L</b>	метр	<b>m</b>	<b>м</b>
Маса	<b>M</b>	кілограм	<b>kg</b>	<b>кг</b>
Час	<b>T</b>	секунда	<b>s</b>	<b>с</b>
Сила електричного струму	<b>I</b>	ампер	<b>A</b>	<b>А</b>
Термодинамічна температура	<b>Θ</b>	кельвін	<b>K</b>	<b>К</b>
Кількість речовини	<b>N</b>	моль	<b>mol</b>	<b>моль</b>
Сила світла	<b>J</b>	кандела	<b>cd</b>	<b>кд</b>

Таблиця Б.2

## Додаткові одиниці СІ

Найменування величини	Одиниця		
	найменування	позначення	
		міжнародне	українське
Плоский кут	радіан	<b>rad</b>	<b>рад</b>
Тілесний кут	стерадіан	<b>sr</b>	<b>ср</b>

Таблиця Б.3

## Приклади похідних одиниць СІ, назви яких утворені з назв основних і додаткових одиниць

Величина		Одиниця		
найменування	розмірність	найменування	позначення	
			міжнародне	українське
1	2	3	4	5
Площа	$L^2$	квадратний метр	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>м<sup>2</sup></b>
Об'єм, місткість	$L^3$	кубічний метр	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>м<sup>3</sup></b>
Швидкість	$LT^{-1}$	метр за секунду	<b>m/s</b>	<b>м/с</b>
Кутова швидкість	$T^{-1}$	радіан за секунду	<b>rad/s</b>	<b>рад/с</b>
Прискорення	$LT^{-2}$	метр за секунду в квадраті	<b>m/s<sup>2</sup></b>	<b>м/с<sup>2</sup></b>
Кутове прискорення	$T^{-2}$	радіан за секунду в квадраті	<b>rad/s<sup>2</sup></b>	<b>рад/с<sup>2</sup></b>
Хвильове число	$L^{-1}$	метр у мінус першому степені	<b>m<sup>-1</sup></b>	<b>м<sup>-1</sup></b>
Густина	$L^{-3}M$	кілограм на кубічний метр	<b>kq/m<sup>3</sup></b>	<b>кг/м<sup>3</sup></b>
Питомий об'єм	$L^3M^{-1}$	кубічний метр на кілограм	<b>m<sup>3</sup>/kq</b>	<b>м<sup>3</sup>/кг</b>
Густина електричного струму	$L^{-2}I$	ампер на квадратний метр	<b>A/m<sup>2</sup></b>	<b>А/м<sup>2</sup></b>
Напруженість магнітного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	<b>A/m</b>	<b>А/м</b>

1	2	3	4	5
Молярна концентрація	$L^{-3}N$	моль на кубічний метр	$mol/m^3$	моль/м <sup>3</sup>
Яскравість	$L^{-2}J$	кандела на квадратний метр	$cd/m^2$	кд/м <sup>2</sup>

Таблиця Б.4

## Одиниці електричних і магнітних величин

Найменування величини	Найменування одиниці	Вираз через одиниці СІ	Позначення одиниці	
			українське	міжнародне
1	2	3	4	5
<b>Електричні</b>				
Сила струму	ампер	A	<b>A</b>	<b>A</b>
Кількість електрики, заряд	кулон	$A \cdot c = Кл$	<b>Кл</b>	<b>C</b>
Електричний потенціал, напруга, ЕРС	вольт	$кг \cdot м^2 / (A \cdot c^3) = В$	<b>В</b>	<b>V</b>
Напруженість електричного поля	вольт на метр	$кг \cdot м / (A \cdot c^3) = В/м$	<b>В/м</b>	<b>V/m</b>
Абсолютна діелектрична проникність	фарад на метр	$A^2 \cdot c^4 / (кг \cdot м^3)$	<b>Ф/м</b>	<b>F/m</b>
Електричний момент диполя	кулон-метр	$A \cdot c \cdot м = Кл \cdot м$	<b>Кл·м</b>	<b>C·m</b>
Електричне зміщення (індукція)	кулон на кв. метр	$A \cdot c / м^2 = Кл/м^2$	<b>Кл/м<sup>2</sup></b>	<b>C/m<sup>2</sup></b>
Поляризованість	кулон на кв. метр	$A \cdot c / м^2 = Кл/м^2$	<b>Кл/м<sup>2</sup></b>	<b>C/m<sup>2</sup></b>
Електрична ємність	фарад	$A^2 \cdot c^4 / (кг \cdot м^2) = c/Ом$	<b>Ф</b>	<b>F</b>
Густина струму	ампер на кв. метр	$A/м^2$	<b>A/м<sup>2</sup></b>	<b>A/m<sup>2</sup></b>
Електричний опір	ом	$кг \cdot м^2 / (A^2 \cdot c^3) = В/A$	<b>Ом</b>	<b>Ω</b>
Електрична провідність	сіменс	$A^2 \cdot c^3 / (кг \cdot м^2) = 1/Ом$	<b>См</b>	<b>S</b>
Питомий електричний опір	ом·м	$кг \cdot м^3 / (A^2 \cdot c^3) = Ом \cdot м$	<b>Ом·м</b>	<b>Ω·m</b>

1	2	3	4	5
Питома електрична провідність	сіменс на метр	$A^2 \cdot c^3 / (кг \cdot m^3) = 1 / Ом \cdot m$		
Повна потужність	вольт-ампер	$кг \cdot m^2 / c^3$	<b>В·А</b>	<b>V·A</b>
Активна потужність	ват	$кг \cdot m^2 / c^3$	<b>Вт</b>	<b>W</b>
Реактивна потужність	вар	$кг \cdot m^2 / c^3$	<b>вар</b>	<b>var</b>
<b>Магнітні</b>				
Магнітний потік	вебер	$кг \cdot m^2 / (A \cdot c^2) = B \cdot c$	<b>Вб</b>	<b>Wb</b>
Магнітна індукція	тесла	$кг / (A \cdot c^2) = B \cdot c / m^2$	<b>Тл</b>	<b>T</b>
Абсолютна магнітна проникність	генрі на метр	$кг \cdot m / (A^2 \cdot c^3)$	<b>Гн/м</b>	<b>H/m</b>
Магнітний момент електричного струму, магнітний момент диполя	ампер-кв. метр	$A \cdot m^2$	<b>A·m<sup>2</sup></b>	<b>A·m<sup>2</sup></b>
Намагніченість	ампер на метр	$A/m$	<b>A/m</b>	<b>A/m</b>
Напруженість магнітного поля	ампер на метр	$A/m$	<b>A/m</b>	<b>A/m</b>
Індуктивність, взаємна індуктивність	генрі	$кг \cdot m^2 / (A \cdot c^2) = B \cdot c / A = Bб / A = Ом \cdot c$	<b>Гн</b>	<b>H</b>
Магніторушійна сила, різниця скалярних магнітних потенціалів	ампер	$A$	<b>A</b>	<b>A</b>

Таблиця Б.5

**Літерні позначення основних електричних і магнітних величин**

Назва величини	Позначення	
	головне	запасне
1	2	3
1. Відношення кількостей витків двох котушок	<i>n</i>	q
2. Густина струму	<i>J</i>	-
3. Густина струму лінійна	<i>A</i>	-

1	2	3
4. Довжина електромагнітної хвилі	$\lambda$	-
5. Добротність	$Q$	-
6. Енергія електромагнітна	$C$	-
7. Ємність енергетична хімічного джерела струму	$Q$	-
8. Ємність електрична	$C$	-
9. Заряд електричний	$Q$	-
10. Заряд електрона	$e$	-
11. Зсув фаз між напругою та струмом	$\varphi$	-
12. Індуктивність взаємна	$M$	$L_{mn}$
13. Індуктивність власна	$L$	-
14. Індукція магнітна	$B$	-
15. Кількість витків	$N$	$w$
16. Кількість пар полюсів	$p$	-
17. Кількість фаз багатофазної системи кіл	$M$	-
18. Ковзання	$s$	-
19. Коефіцієнт відбиття	$\beta$	-
20. Коефіцієнт втрат	$d$	-
21. Коефіцієнт послаблення	$a$	-
22. Коефіцієнт потужності за синусоїдної напруги та струму	$\cos \varphi$	-
23. Коефіцієнт спотворення форми кривої електричної чи магнітної величини	$d$	$k$
24. Коефіцієнт температурний електричної чи магнітної величини	$a$	-
25. Коефіцієнт трансформації	$n$	-
26. Коефіцієнт трансформації напруги	$K$	$K_U$
27. Коефіцієнт трансформації струму	$K$	$K_I$
28. Коефіцієнт фази	$\beta$	-
29. Кут втрат	$\delta$	-
30. Момент магнітний	$m$	-
31. Намагніченість	$M$	-
32. Напруга електрична	$U$	-
33. Напруженість електричного поля	$E$	-
34. Напруженість магнітного поля	$H$	-
35. Опір електричний: опір електричний постійного струму, резистанс	$R$	-

1	2	3
36. Опір електричний питомий, резистанс питомий	$\rho$	-
37. Опір електричний повний, імпеданс	$Z$	-
38. Опір електричний реактивний, оеактанс	$X$	$x$
39. Опір магнітний	$R_m$	
40. Період коливань електричної чи магнітної величини	$T$	$r_m$
41. Потенціал електричний	$V$	$\varphi$
42. Потенціал магнітний векторний	$A$	-
43. Потенціал магнітний скалярний	$V_m$	$\varphi_m$
44. Потік електричного зміщення	$\Psi$	-
45. Потік магнітний	$\Phi$	-
46. Потокозчеплення	$\Psi$	-
47. Потужність активна	$P$	-
48. Потужність питома	$p$	-
49. Потужність повна	$S$	$P_s$
50. Потужність реактивна	$Q$	$P_q$
51. Провідність електрична активна, кондуктанс	$G$	-
52. Провідність електрична питома, кондуктанс питомий	$Y$	$\sigma$
53. Провідність електрична повна, адмітанс	$Y$	-
54. Провідність реактивна, сусцептанс	$B$	$b$
55. Провідність магнітна	$A$	-
56. Проникність діелектрична абсолютна	$\epsilon_0$	$\epsilon$
57. Проникність діелектрична відносна	$\epsilon_r$	-
58. Проникність магнітна абсолютна	$\mu_0$	$\mu$
59. Проникність магнітна відносна	$\mu_r$	-
60. Різниця електричних потенціалів	$U$	-
61. Різниця магнітних скалярних потенціалів	$U_b$	-
62. Сила електрорушійна	$E$	-
63. Сила коерцитивна	$H_c$	-
64. Стала електрична	$\epsilon_0$	-
65. Стала магнітна	$\mu_0$	-
66. Струм, сила струму	$I$	-

1	2	3
67. Частота коливань електричної чи магнітної величин	$f$	$\nu$
68. Частота коливань електричної чи магнітної величин, кутова	$\omega$	$\Omega$
69. Швидкість поширення електромагнітних хвиль	$c$	-
70. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі	$C_0$	-

Примітки:

1. Запасні позначення є обов'язковими в технічній документації і літературі, призначеній для іншомовних країн.

2. Запасні позначення пишуть, якщо головні позначення використати неможливо, наприклад, коли виникають непорозуміння внаслідок позначення різних величин тією самою літерою.

Таблиця Б.6

### Індекси при літерних позначеннях основних величин

Елемент назви величини, позначеної індексом	Індекс				Приклад використання індексу
	літерами латинської та грецької абеток		літерами української абетки	символами, цифрами, знаками	
	головна форма	запасна форма			
1	2	3	4	5	6
1. Абсолютний	$a$	$abs$	авс		
2. Амплітудний, амплітудне значення	$m$	$a$			$I_m$ – амплітудне значення струму
3. Відносний	$r$	$rel$			$\mu_r$ – проникність магнітна відносна
4. Внутрішній	$i$	$int$	вн		$B_i$ ; $B_{вн}$ – індукція магнітна внутрішня
5. Вторинний	$s$	$sec$		2	
6. Втрати	$d$	$diss$	вт		$R_d$ ; $R_{вт}$ – опір втрат
7. Вхідний	$sn$		вх		
8. Гармоніка 1-а				1; (1)	
9. Гармоніка $n$ -а				$n$ ; ( $n$ )	де $n$ – число

1	2	3	4	5	6
10. Дійове значення	<i>eff</i>		д		
11. Диференціальний	<i>d</i>		диф		$L_d; L_{\text{диф}}$ – індуктивність диференціальна
12. Додатковий	<i>a</i>	<i>ad</i>	д		$R_a; R_d$ – опір додатковий
13. Еквівалентний	<i>e</i>	<i>eq</i>	е		
14. Електричний	<i>e</i>	<i>el</i>	е		$W_e$ – енергія електрична
15. Енергетичний	<i>e</i>	<i>en</i>	ен		
16. Зовнішній	<i>e</i>	<i>ext</i>	звп		$H_e; H_{\text{звп}}$ – напруженість зовнішнього магнітного поля
17. Змінюваний	<i>U</i>	<i>Var</i>	з		
18. Змінний	<i>U</i>	<i>U<sub>lt</sub></i>		~	$I_{\sim}$ – струм змінний
19. Залишковий	<i>r</i>	<i>rst</i>	-		
20. Імпульсний	<i>p</i>	<i>pul</i>	і		
21. Індукований	<i>i</i>	<i>ind</i>	інд		
22. Квадратний	<i>ch</i>			†	
23. Кінцевий, остаточний	<i>f</i>	<i>fn</i>	фн		
24. Короткого замикання	<i>k</i>	<i>cc</i>	к		
25. Критичний	<i>c</i>	<i>cr</i>	кр		
26. Максимальне значення	<i>max</i>				
27. Мінімальне значення	<i>min</i>				
28. Миттєве значення	<i>i</i>	<i>inst</i>	мит		
29. Номінальний	<i>N</i>	<i>nom</i>	ном	н	
30. Нормальний, але не в геометричному розумінні	<i>n</i>	<i>norm</i>			
31. Перехідний	<i>t</i>	<i>trt</i>	пер		
32. Послідовний	<i>s</i>	<i>ser</i>	пос		
33. Резонансний	<i>r</i>	<i>rsn</i>	рез		
34. Середнє арифметичне значення	<i>ar</i>		ср		

1	2	3	4	5	6
35. Синусоїдний	<i>sin</i>				
1	2	3	4	5	6
36. Синхронний	<i>s</i>				
37. Складові симетричні несиметричної трифазної системи величин: нульова, пряма, зворотна				0, 1, 2	$U_0, U_1, U_2$ – відповідно нульова, пряма, зворотна складові трифазної несиметричної системи
38. Статорний	<i>s</i>	<i>str</i>	ст		
39. Сумарний	$\Sigma$	<i>sum</i>			$I^\Sigma$ – струм сумарний
40. Тангенційний	<i>t</i>	<i>tdn</i>			
41. Термічний	<i>th</i>	<i>therm</i>	тер		
42. Фази: перша, друга, третя і нейтральний провід трифазної системи кіл	<i>A, B, C, N</i>				$I_A, I_B, I_C$ – струми відповідно у фазових A, B, C та у нейтральному проводі трифазної системи кіл
43. Фази перша, друга, ..., <i>n</i> -на багатофазної (окрім трифазної) системи кіл				1, 2, ..., <i>n</i>	$I_1, I_2, \dots, I_n$ – струми відповідно 1-ї, 2-ї, ..., <i>n</i> -ї багатофазної системи кіл
44. Фазовий, фазний	$\varphi$		$\phi$		
45. Хвильовий	<i>c</i>		хв		
46. Холостий хід	<i>o</i>		хх		
47. Часовий	<i>t</i>				

Таблиця Б.7

## Літерні позначення додаткових величин

Назва величини	Позначення		Примітка
	головне	запасне	
1	2	3	4
<b>Геометрія та кінематика</b>			
1. Кут плоский	$\alpha, \beta, \gamma$		Вживають також інші літери грецької абетки
2. Кут тілесний	$\Omega$	$\omega$	
3. Довжина	$l$	-	
4. Ширина	$b$	-	
5. Висота, глибина	$h$	-	
6. Товщина	$d, \delta$	-	
1	2	3	4
7. Радіус, радіальна відстань	$r$	-	
8. Діаметр	$d$	-	
9. Довжина шляху, відрізок прямої	$s$	-	
10. Поверхня, площа поверхні	$A$	$S$	
11. Об'єм	$V$	-	
12. Час	$t$	-	
13. Період, тривалість періоду	$T$	-	
14. Частота обертання	$n$	-	
15. Швидкість кутова	$\omega$	$\Omega$	
16. Прискорення кутове	$\alpha$	-	
17. Швидкість лінійна	$v$	-	
18. Прискорення лінійне		-	
19. Прискорення вільного падіння	$g$	-	
20. Коефіцієнт лінійного згасання	$\alpha$		
<b>Динаміка</b>			
21. Маса	$m$	-	
22. Густина	$\rho$	-	
23. Кількість руху	$p$		
24. Момент інерції	$I, J$	-	
25. Сила тяжіння (вага)	$g$	$P, W$	
26. Момент сили	$M$	-	
27. Тиск	$p$	-	
28. Робота	$W$	$A$	
29. Енергія	$E, W$	-	

1	2	3	4
30. Густина енергії (об'ємна)	$w$	-	
31. Коефіцієнт корисної дії	$\eta$	-	
<b>Термодинаміка</b>			
32. Абсолютна температура	$\Theta$	$T$	
33. Температура ( за Цельсієм )	$\vartheta, \ominus$	$t$	
34. Кількість теплоти	$Q$	-	
35. Температурний коефіцієнт	$\alpha$	-	
36. Теплопровідність	$\lambda$	$k$	
37. Теплоємність	$C$	-	
38. Питома теплоємність	$c$	-	

Додаток В

**Літерні коди для зазначення функціонального призначення елементів і пристроїв, рекомендовані публікацією МЕК 113-2'**

Літерний код	Функції елемента (пристрою)
A	Допоміжний
B	Направлення руху (вперед, назад, вверх, вниз, за годинниковою стрілкою, проти годинникової стрілки)
C	Обчислювальний
D	Диференційований
F	Захисний
G	Випробувальний
H	Сигнальний
J	Інтегруючий
K	Штовхаючий
M	Головний
N	Вимірювальний
P	Пропорційний
Q	Стан (старт, стоп, обмеження)
R	Повернення, скидання
S	Пам'ять, запис
T	Синхронізація, затримка
V	Швидкість (прискорення, гальмування)
W	Додавання
X	Множення
Y	Аналоговий
Z	Цифровий

**Умовні графічні позначення в електричних схемах  
Пристрої комутаційні й контактні з'єднання  
(ГОСТ.755 – 74)**

Контакт комутаційного пристрою замикаючий	
розмикаючий	
перемикаючий	
Контакт замикаючий з уповільнювачем, що діє при спрацюванні	
при поверненні	
при спрацюванні і поверненні	
Контакт замикаючий з уповільнювачем, що діє при спрацьовуванні	
при поверненні	
при спрацьовуванні і поверненні	

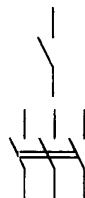
Контакт з механічним зв'язком (загальне позначення)  
замикаючий



розмикаючий



Вимикач  
однополюсний



триполюсний



Вимикач триполюсний з автоматичним поверненням з  
указанням величини, при зміні якої відбувається повернення

максимального струму

$I >$

мінімального струму

$I <$

максимальної напруги

$U >$

мінімальної напруги

$U <$

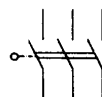
максимальної температури

$T^0 >$

Вимикач шляховий  
однополюсний



триполюсний



Вимикач кнопковий натискний з самоповерненням:  
з замикаючим контактом



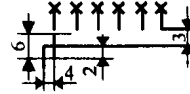
з розмикаючим контактом



Перемикач однополюсний



Перемикач однополюсний багатопозиційний



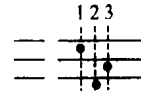
Перемикач з складною комутацією  
перший спосіб (перемикач у вигляді умовного  
позначення, а на полі схеми розміщують таблицю  
замикання контактів)



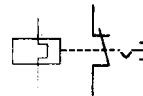
другий спосіб



третій спосіб (крапка показує позицію замикання  
відповідного контакта)



Реле електротеплове без самоповернення, а з  
поверненням при натискуванні на кнопку



Контакт контактного з'єднання  
штир



гніздо



розбірне з'єднання



нерозбірне з'єднання



**Сприймаюча частина електромеханічних пристроїв**  
(ГОСТ 2.756–76)

Котушка електромагнітного пристрою (загальне позначення)	
Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму	
Електромагніт змінного струму	
Сприймаюча частина електротеплового реле	

**Резистори, конденсатори**  
(ГОСТ 2.728–74)

Резистор постійний	
Резистор змінний	
Терморезистор (термістор) прямого підігрівання	
непрямого підігрівання	
Конденсатор постійної ємності	
Конденсатор змінної ємності	
Конденсатор електролітичний полярий	
неполярий	

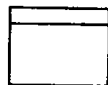
**Електричні зв'язки, проводи, кабелі і шини**  
(ГОСТ 2.751–73)

Лінія електричного зв'язку (провід, кабель, шина)	
Лінія електричного зв'язку з відгалуженням	
Заземлення	
Корпус (машини, апарата, приладу)	

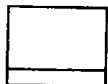
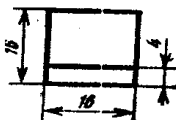
**Прилади напівпровідникові**  
(ГОСТ 2.730–73)

Діод	
Стабілітрон односторонній	
двосторонній	
Транзистор типу р – n – р	
Транзистор типу n – p – n	
Фоторезистор	
Фотодіод	

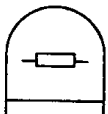
Електронагрівник



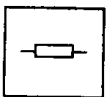
Електронагрівник непрямого нагріву



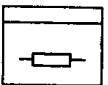
Електропіч опору. Загальне призначення



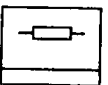
Електронагрівник опору. Загальне призначення



Електронагрівник опору прямого нагріву.



Електронагрівник опору непрямого нагріву



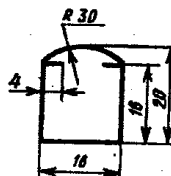
Електропіч дугова трифазна прямого нагріву  
З перемішувальною котушкою



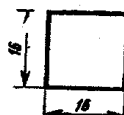
Електродвигун індукційний. Загальне призначення



Установка електротермічна



Електронагрівач



**Машини електричні**  
(ГОСТ 2.722–68)

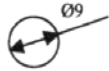
Машина електрична (загальне позначення)



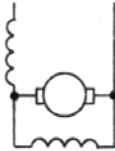
Статор машини електричної



Ротор машини електричної



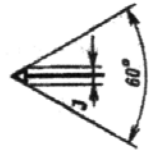
Машина постійного струму змішаного збудження



Двигун трифазний із з'єднанням обмоток на зірку



Щітка: на контактному кільці



Щітка на колекторі



**Котушки індуктивності, дроселі, трансформатори**  
(ГОСТ 2.723–68)

Котушка індуктивності, обмотка



Дросель з феромагнітним осердям

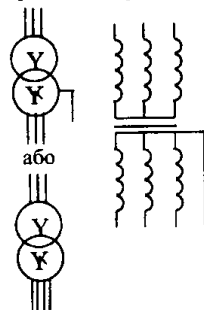


Трансформатор трифазний з феромагнітним осердям

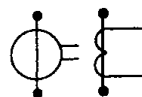
Форма I

Форма II

з'єднання обмоток зірка-зірка з виведеною нейтральною (середньою) точкою



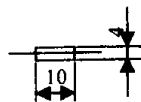
Трансформатор струму



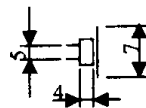
Дзвінок електричний



Запобіжник плавкий



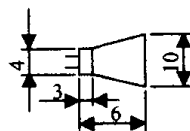
Телефон



















Мікрофон



Гучномовець, репродуктор





















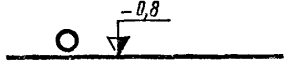
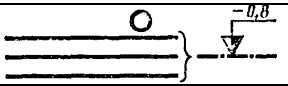

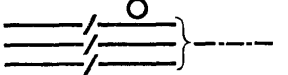

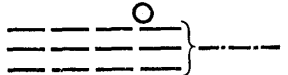






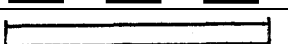
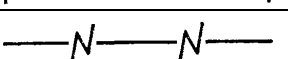
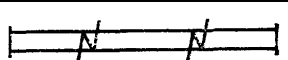
**Пристрої акустичні**  
(ГОСТ 2.741-68)

1. Телефон		
2. Телефон головний		
3. Мікрофон		
4. Гучномовець		
5. Телефон електромагнітний		
6. Мікрофон електродинамічний		
7. Гучномовець-мікрофон		
8. Гучномовець з регульованою гучністю		
9. Дзвінок електричний. Загальне призначення		
10. Дзвінок електричний постійного струму		
11. Дзвінок електричний одно ударний (гонг)		
12. Зумер		
13. Сирена електрична		
13. Гудок, сигнальний різок		


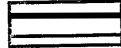
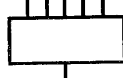











**ПОЗНАЧЕННЯ УМОВНІ ГРАФІЧНІ ЕЛЕКТРИЧНОГО  
УСТАТКУВАННЯ И ПРОВОДОК НА ПЛАНАХ  
[СТ СЭВ 3217—81]**

Найменування	Позначення
1	2
<b>Позначення ліній, проводок і струмопроводів</b>	
1. Лінія проводки. Загальне значення Надається можливість вказувати над позначенням лінії дані проводки (вид струму, частоти, напруги, матеріалу тощо), наприклад:	
а) ланцюг постійного струму напругою 110V	
б) ланцюг трифазного струму частотою 50 Hz, напругою 6000 V	
в) ланцюг змінного струму частотою 50 Hz, напругою 6000 V, виконаний кабелем: ААБ 3Х120. Примітка. За необхідності вказати спосіб прокладання використовуючи такі позначення:	
відкрита (над штукатуркою)	
прихована (під чи всередині)	

1	2
у підлозі	
під підлогою	
у трубах	
під плінтусом	
у лотіку	
на кабельності	
на ізоляторах	
на опорах (консолях)	
2. Лінія заземлення, занулення	
3. Конструкції металеві, які використовуються в якості магістралі заземлення, занулення	
4. Заземлювачі	
5. Лінія ланцюгів керування	
6. Лінія радіомовлення	
7. Лінія телебачення	
8. Лінія мережі аварійного і охоронного освітлення	
9. Лінія напруги 36V і нижче	
10. Проводка гнучка	



1	2
Під час нанесення проводки великої довжини можна відображати тільки її початок і кінець	
11. Проводка в трубах:	
а) труба, яка прокладається з вказівкою відмітки закладання	
б) труби, прокладені приховано	
в) труба, прокладена відкрито	
г) труби, прокладені відкрито	
д) труба, прокладена під перекриттям, площадкою (вказаними на плані відмітками)	
е) труби, прокладені під перекриттям, площадкою	
12. Лінія, виконана шинами, стрічками чи проводами	
13. Шинопровід закритий на стояках	
14. Шинопровід закритий на підвісках	
15. Шинопровід закритий на кронштейнах	
16. Шинопровід закритий, прокладений під підлогою	
17. Лінія тролейна	
18. Канал кабельний	
19. Траншея кабельна	
20. Блок кабельний	


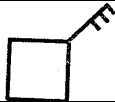

1	2
21. Колодязь кабельний	
22. Люк тунеля	
23. Тунель кабельний	
24. Проводка вертикальна:	
а) проводка проходить на вищій позначці чи надходить з вищої позначки	
б) проводка проходить на нижчій позначці, чи надходить з низької позначки	
в) проводка перетинає позначку, відображену у плані, зверху вниз чи знизу вверх і не має горизонтальних ділянок у межах плану. Примітка. Стрілки, що вказують на напрям проводки, можна уникати	
<b>Позначення коробок, шаф і щитів</b>	
1. Коробка розгалужена (об'єм можна не враховувати)	
1а. Коробка введення	
2. Коробка, ящик без клем	
3. Коробка клемна	
4. Щит, пульт, ящик, шафа з апаратурою (комунікаційні керування тощо):	
а) загальне позначення	
б) з декількох панелей	

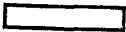
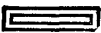




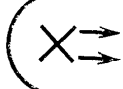





1	2
в) з вказівкою сторони обслуговування:	
з одного боку	
з двох боків	
5. Щит, пульт розподільчий, наприклад з п'ятьма виводами і одним вводом	
6. Щиток освітлення	
7. Щиток аварійного освітлення	
<b>Позначення вимикачів, перемикачів і штепсельних з'єднань</b>	
1. Вимикач:	
загальне позначення	
однополюсний	
двополюсний	
триполюсний	
Якщо необхідно відобразити вимикач з механічним або іншим приводом, то необхідно додати позначення приводу, наприклад:	
а) вимикач з відцентровим приводом	
б) вимикач пневматичний	
в) вимикач поплавковий	
г) вимикач з установленням часу	
д) вимикач з електромагнітним приводом	


1	2
е) вимикач температурний	
<i>Примітка. За необхідності вказують число полюсів, наприклад:</i>	
<i>вимикач поплавковий триполюсний</i>	
2. Вимикач однополюсний зі шнуром	
3. Вимикач однополюсний із сигнальною лампою	
4. Вимикач однополюсний із регулюванням напруги	
5. Вимикач захисний:	
загальне позначення	
однополюсний	
<i>Примітка. За необхідності вказують умови спрацювання захисного вимикача, наприклад:</i>	
<i>вимикач захисний триполюсний максимальної напруги</i>	
<i>вимикач захисний триполюсний мінімальної напруги</i>	
6. Перемикач на два напрями, наприклад	
однополюсний	
триполюсний	
7. Перемикач груповий	



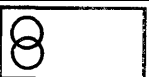
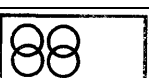



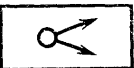
1	2
8. Перемикач багатопозиційний	
9. Перемикач зміни напрямку струму	
10. Перемикач серійний змінний (вимикач і змінний перемикач в одному прикладі)	
11. Перемикач сітьовий	
12. Перемикач числа пар полюсів	
13. Перемикач із зірки на трикутник	
14. Пристрій пусковий електродвигунів, загальне позначення	
15. Вимикач кнопковий, загальне позначення	
16. Пост кнопковий на дві кнопки	
17. Пост кнопковий на декілька кнопок, наприклад, на три кнопки	
18. Пост кнопковий на декілька кнопок, наприклад, на три кнопки	
19. Вимикач кнопковий з сигнальною лампою	
20. Вимикач кнопковий з обмеженим доступом	
21. Пост кнопковий на дві кнопки з сигнальною лампою	
22. Розетка штепсельна, загальне позначення	

1	2
23. Розетка штепсельна здвоєна (чи дві окремі розетки). Кількість розеток вказується всередині позначення	
24. Розетка штепсельна із захисним контактом, наприклад, з контактом, замикаючим під час вмикання раніше чи пізніше інших контактів і слугуючим для заземлення чи блокування	
25. Розетка штепсельна з декількома, наприклад, з трьома гніздами	
26. Розетка штепсельна с вимикачем	
27. Розетка штепсельна триполюсна з захисним контактом	
28. Розетка штепсельна, яка допускає вмикання штепселя тільки в одному певному положенні	
29. Розетка штепсельна з вимикачем з трьома гніздами, яка допускає вмикання й вимикання штепселя тільки за розімкнутих контактів вимикача	
30. Розетка штепсельна слабого струму: загальне позначення	
з $n$ гніздами	
31. Розетка штепсельна антенна: загальне позначення	
коаксіальна	
32. Розетка штепсельна мікрофонна	
33. Штепсельне з'єднання, загальне позначення	
34. Штепсельне з'єднання з $n$ полюсами	
35. Штепсельне з'єднання з захисним контактом	

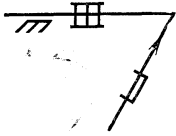


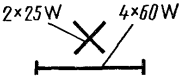
1	2
36. Контакттор:	
а) загальне позначення	
б) контакттор триполюсний	
в) перемикач контактторний із зірки на трикутник	
<i>Примітка. За необхідності вказати ступінь захищеності вимикачів, перемикачів, розеток, використовують позначення відповідних стандартів СПДС.</i>	
37. Позначення світильників для ламп розжарювання, люмінесцентних і газорозрядних (ртутних) ламп і сигнальних пристроїв	
38. Світильник з лампами розжарювання:	
а) загальне позначення	
б) з однополюсним вимикачем	
в) з регулюванням напруги	
г) для аварійного освітлення	
39. Світильник с люмінесцентними лампами:	
а) загальне позначення	
б) з декількома люмінесцентними лампами (наприклад, трьома)	
<i>Примітка до пп.1 і 2. Для одночасного розміщення у плані устаткування і проводок можливе використання позначення світильників</i>	
з лампою розжарювання	

1	2
з люмінесцентною лампою	
40. Обладнання пускове для люмінесцентних ламп (позначення використовують коли пускове обладнання відображають окремо від світильника)	
41. Світильник з лампою ДРЛ	
41а. Світильник комбінований (наприклад, лампа розжарювання з люмінесцентною лампою)	
42. Прожектор: а) загальне позначення	
б) заливаючого світла	
в) направленою світла	
43. Світильник сигнальний (сигнал про початок роботи конвейєра, сигнал аварійної зупинки тощо)	
44. Табло для виклику персонала	
а) на один сигнал (з однією сигнальною лампою)	
б) для декількох сигналів, наприклад, з трьома сигнальними лампами	
45. Світильник вказівника виходу під час аварії	
46. Станція пошукового обладнання	


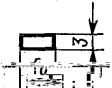
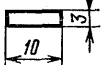

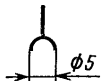


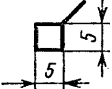
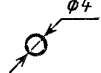
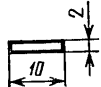
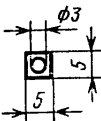
1	2
47. Надписи і позначки рекламні	
48. Сповіщувач пожежний. Загальне позначення	
49. Сповіщувач пожежний автоматичний	
50. Виклик охорони	
51. Апарат, що контролює працівника охорони	
52. Датчик світловий	
53. Пост пожежної сигналізації центральний	
54. Датчик температури	
55. Датчик вологості	
<b>Позначення телефонних апаратів</b>	
1. Апарат телефонний адміністративно-господарського зв'язку	
2. Апарат телефонний міського телефонного зв'язку	
3. Апарат телефонний міжміського телефонного зв'язку	
4. Апарат телефонний автоматичний міжміського зв'язку	
5. Апарат телефонний диспетчерського зв'язку	

1	2
<b>Позначення електричного оснащення і приладів</b>	
1. Обладнання електричне, загальне позначення	
Вид і тип обладнання визначається за відповідним номером позиції, наведеним у специфікації і проставленому всередині позначення (наприклад, поз. 13) чи за посилання на позначені у плані	
2. Обладнання з електродвигуном	
3. Обладнання з багатодвигунним електроприводом	
4. Обладнання з трансформатором: загальне позначення	
з декількома, наприклад з двома трансформаторами	
5. Обладнання з генератором	
6. Двигун-генератор	
7. Батарея конденційна	
8. Випрямляч	
9. Батарея (акумуляторна чи гальванічна)	
10. Обладнання електронагрівальне, загальне позначення	
11. Випромінювач інфрачервоний	

1	2
12. Обладнання електричне для відкриття дверей на відстані	
13. Плита електрична	
14. Холодильник електричний	
15. Водонагрівач електричний	
16. Пральна машина	
17. Машина для миття посуду	
18. Кормозапарник електричний	
19. Вентилятор	
20. Сушилка	
21. Фритюрниця	
22. Радіоприймач	
23. Телевізор	
24. Камера телевізійна зйомна	
25. Диспетчерський чи переговорний командні пункти	
26. Переговорне обладнання	

1	2
27. Проводка на стіні горизонтальна на кабельності та вертикальна, підводка знизу, в кабельному колодязі	
28. Переговорне обладнання, прикріплене на стіні	
29. Звукова колонка з трьома вмонтованими гучномовцями	
30. Світильник комбінований з 4 люмінесцентними лампами по 60 W і 2 лампами розжарювання по 25 W	
<p><i>Примітка до табл. 1–6. Під час виконання схем автоматизованого способу допускається затемнення замінити похилим штрихом</i></p>	
<p><b>Умовні скорочення і написи</b></p>	
1. Приймач електричної енергії:	$\frac{d}{\delta}$
а – номер за планом	
б – номінальна потужність	
2. Прокладка в металевих трубах	Г
3. Прокладка в пластмасових трубах	П
4. Прокладка в металевих рукавах	Мр
5. Прокладка на ізоляторах	И
6. Прокладка на клицях	К
7. Прокладка на тросі	Тс
8. Установлювані дані світильника:	$\frac{a}{b}$
а – потужність ламп, встановлених у світильнику;	
б – висота підвісу світильника над підлогою	
9. Надписи на лініях, які живлять мережу освітлення:	$\frac{a-b-v-z}{\delta-e-jh-i}$
а – розрахункове навантаження;	

1	2
б – розрахунковий струм;	
в – довжина ділянки;	
г – момент;	
д – втрата напруги на лінії;	
е – марка провідника;	
ж – переріз провідника;	
и – спосіб прокладки	
10. Щогла прожекторна (АІ), вишка (В) на будинку:	$MN^{\alpha} \frac{a}{b}$ $BN^{\alpha} \frac{a}{b - b}$
№ – номер за планом;	
а – загальна установлена потужність;	
б – висота встановлення прожектора;	
в – висота вишки	
11. Направлення проєкції осьового променя прожектора від лінії відліку, градус:	
№ – номер за планом;	
а – потужність лампи;	
б – кут нахилу, градус;	
в – позначення фази, що живить лампу	
12. Контрольна точка з позначенням величини розрахункової освітленості, люкс:	
а-б – двостороння вертикальна освітленість;	
в – горизонтальна освітленість	
<b>Рекомендовані розміри графічних позначень</b>	
1. Лінія, виконана голими шинами	

1	2
2. Заземлювачі	
3. Коробка освітлювана	
4. Щит, шафа	
5. Вимикач	
6. Розетка штепсельна	
7. Перемикач із зірки на трикутник	
8. Вимикач кнопковий	
9. Пост кнопковий на дві кнопки	
10. Контакттор	
11. Світильник з лампами розжарювання	
12. Світильник з люмінесцентними лампами	
13. Табло для виклику персонала	

1	2
14. Станція пошукового обладнання	
15. Сповідувач пожежарний	
16. Апарат телефонний	
17. Обладнання з генератором	
18. Випрямляч	

Додаток Ж

**Позначення літерно-цифрові в електричних схемах  
(ГОСТ 2.710-81)**

Перша буква коду (обов'язкова)	Група видів елементів	Приклади видів елементів	Двобуквенний код
1	2	3	4
А	Пристрій (загальне позначення)	Підсилювачі, прилади телекерування	
В	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (крім генераторів і джерел живлення) або навпаки, аналогові або багаторозрядні перетворювачі чи датчики для показів або вимірювань	Тепловий датчик Фотоелемент Датчик тиску П'єзоелемент Датчик частоти обертання (тахогенератор) Датчик швидкості	ВК ВL ВР ВQ  ВS ВV

1	2	3	4
С	Конденсатор		
D	Схеми інтегральні, мікросхеми	Схема інтегральна аналогова Схема інтегральна цифрова, логічний елемент Пристрій зберігання інформації Пристрій затримки	DA  DD DS DT
E	Елементи різні	Нагрівальний елемент Лампа освітлювальна	EK EL
F	Розрядники, запобіжники захисні пристрої	Дискретний елемент захист струмом миттєвої дії Дискретний елемент захисту за струмом інерційної дії Запобіжник плавкий Дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	FA  FP FU  FV
H	Прилади індикаційні й сигнальні	Прилад звукової сигналізації Прилад світлової сигналізації	HA  HL
K	Реле, контактори, пускачі	Реле струмове Реле вказівне Реле електротеплове Контактор, магнітний пускач Реле часу Реле напруги	KA KH KK  KM KT KV
L	Котушки індуктивності, дроселі	Дросель люмінесцентної лампи	LL
M	Двигуни		
P	Прилади, вимірювальне обладнання	Амперметр Лічильник імпульсів Частотомір Лічильник активної енергії	PA PC PF  PI

1	2	3	4
		Лічильник реактивної енергії Омметр Регістровий прилад Годинник, вимірювач часу дії Вольтметр Ватметр	PK PR PS  PT PV PW
R	Резистори	Терморезистор Потенціометр Шунт вимірювальний Варистор	RK RP RS RU
Q	Вимикачі і роз'єднувачі в силових колах (енергопостачання, живлення обладнання тощо)	Вимикач автоматичний Короткозамикач Роз'єднувач	QF QK QS
S	Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації і вимірювальних	Вимикач або перемикач Вимикач кнопковий Вимикач автоматичний Вимикач, що спрацьовує від різних дій: ✓ рівня ✓ тиску ✓ положення ✓ частоти обертання ✓ температури	SA SD SF  SL SH SQ SR SK
T	Трансформатори, автотрансформатори	Трансформатор струму Електромагнітний стабілізатор Трансформатор напруги	TA  TS TV
V	Прилади електровакуумні й напівпровідникові	Діод, стабілітрон Прилад електровакуумний Транзистор Тиристор	VD  VL VT VS
X	З'єднання контактні	Стумознімач, контакт ковзний Штир Гніздо З'єднання розбірне	XA XP XS XT

1	2	3	4
У	Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт Муфта з електромагнітним приводом	УА  УС

## Література

1. Басов А.М.и др. Электротехнология : Учебное пособие. – М.: Агропромиздат, 1985.
2. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. – М.: Колос, 1975. – 384 с.
3. Каган Н.Б. и др. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства. – М. : Энергия, 1980.
4. Кудрявцев И.Ф., Калинин Л.А., Карасенко В.А. и др. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / Под ред. И.Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с.
5. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Электрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок : Навч. посібник. – К.: Вища шк., 1989. –343 с.
6. Расстригин В.Н., Дацков И.И., Сухарева Л.И., Голубев В.М. Электронагревательные установки в сельскохозяйственном производстве / Под ред. В.Н. Расстригина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 304 с.
7. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.
8. Большаков Н.В., Бурцев В.И. и др. Материалы для электротермических установок: Справ. пособие / Под ред. М.В. Гутмана. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 297 с.
9. Гайдук В.М. Електронагрівні сільськогосподарські установки. – К.: Урожай, 1986. – 144 с.
10. Марченко А.С., Кистень Г.Е., Лавриненко Ю.Н. и др. Справочник по механизации и автоматизации в животноводстве и птицеводстве / Под ред. А.С. Марченко. – К.: Урожай, 1990. – 456 с.

---

---

## З М І С Т

<b>Передмова</b> .....	3
<b>1. Електронагрівні установки</b> .....	5
1.1. Техніко-економічні основи використання електроенергії в теплових і технологічних процесах сільськогосподарського виробництва .....	5
1.2. Способи та пристрої перетворення електричної енергії в теплову .....	11
1.3. Електричні водонагрівачі й котли .....	76
1.4. Електронагрівні установки для створення і регулювання мікроклімату .....	106
1.5. Електронагрівні установки для теплової обробки і сушіння сільськогосподарських продуктів і кормів .....	156
1.6. Електричні холодильні машини і теплові насоси .....	165
1.7. Електротермічне обладнання ремонтних підприємств .....	181
1.8. Побутові електронагрівні установки .....	186
<b>2. Електротехнологічні установки</b> .....	192
2.1. Загальні відомості про електротехнологію і перспективи розвитку .....	192
2.2. Електронно-іонна технологія .....	195
2.3. Обробка сільськогосподарських матеріалів електричним струмом .....	205
2.4. Електроімпульсна техніка і технологія .....	215
2.5. Ультразвукова техніка і технологія .....	219
2.6. Магнітна обробка матеріалів .....	226
<b>Методичні вказівки щодо виконання контрольної роботи</b> .....	230
Література .....	284

Підписано до друку 04.09.2007 р.  
Умов. друк. арк. 11,8  
Наклад 1500 прим. Зам. № 220

Редакційно-видавничий відділ  
Навчально-методичного центру  
Міністерства аграрної політики України  
Технікумівська, 1, смт Немішаєве  
Бородянського Київської  
т/ф 8 (04477) 41-2-69

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
суб'єкта видавничої справи ДК № 2435