

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Кафедра тракторів, автомобілів
та технічного сервісу машин*

Ярошенко Л. В.

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Частина 5

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів сільськогосподарських вищих навчальних
закладів спеціальності: 6.091902 – “Механізація сільського
господарства”

ВІННИЦЯ – 2004

УДК 631.3-52:621.31(075.3)

Ярошенко Л. В. Електрообладнання та засоби автоматизації сільськогосподарських машин. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів спеціальності: 6.091902 – “Механізація сільського господарства”: в 5 ч. – Вінниця: ОЦ ВДАУ, 2004. - Ч. 5.: Застосування електричної енергії у сільському господарстві. - 43 с.

Рецензенти:

д. т. н., проф. Зав. каф. МРВ ОАВ ВДТУ,
Р. Д. Іскович-Лотоцький,
д. т. н., проф., зав. каф. ТА ТСМ ВДАУ В. Ф. Анісімов

Приведено методичні вказівки та короткі теоретичні пояснення до виконання лабораторних робіт із дисципліни “Електрообладнання та засоби автоматизації сільськогосподарських машин” (частина 5 - “Застосування електричної енергії у сільському господарстві”). Методичні вказівки складено відповідно до базової навчальної програми з даної дисципліни. Розглянуто будову, принцип роботи, методику розрахунку і правила вибору освітлювальних, опромінювальних та нагрівних пристроїв та агрегатів.

Розраховано на студентів факультету механізації сільського господарства, спеціальність 6.091902 - “Механізація сільського господарства”

***Рекомендовано науково-методичною радою
Вінницького державного аграрного університету
(протокол № 2 від 27 вересня 2004 року)***

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ЕЛЕКТРИЧНІ ДЖЕРЕЛА ВИДИМОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

***Мета роботи:** вивчити будову, принцип роботи джерел видимого випромінювання: ламп розжарювання, люмінесцентних ламп, ламп типу ДРЛ та пристрою для контролю освітленості - люксоміру.*

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сучасному сільськогосподарському виробництві для штучного освітлення широкого застосування були електричні джерела видимого випромінювання, до яких належать: лампи розжарювання і газорозрядні лампи, що перетворюють електричну енергію у видиме проміння - світло.

В електричних лампах розжарювання світло випромінює нитка розжарювання, яка розігрівається струмом, що проходить по ній, до температури порядку 2700-3000°C. Нитку розжарювання виготовляють із вольфрамового дроту і, з метою запобігання окисленню, розміщують у герметичній скляній колбі. Позначення лампи розжарювання загального призначення розшифровують так:

- перша буква означає: В - вакуумна, Г - газонаповнена моноспіральна аргоніа); Б - біспіральна (дві вольфрамові дротинки, звиті у спіраль, а з цієї спіралі, у свою чергу, звита ще більша спіраль, завдяки чому збільшується світловий потік і к.к.д. лампи); БК - біспіральна криптонова ;

- наступні цифри вказують діапазон робочих напруг (промисловість випускає лампи наступних діапазонів напруг: 215-225 В, 220-230 В, 230-240 В, 235-245 В,

- за номінальну напругу приймають середину діапазону);

- останні цифри вказують на номінальну потужність ламп.

Середня тривалість горіння лампи розжарювання становить - 1000 годин. Важливими характеристиками ламп розжарювання є також: світловий потік, або потужність світлового потоку, (лм); світлова віддача, яка визначає економічність лампи (що дорівнює відношенню потужності світлового потоку до загальної потужності лампи - лм/вт).

До переваг ламп розжарювання можна віднести: просту будову, надійну роботу в різних умовах навколишнього середовища, порівняно низьку вартість виготовлення, а також просте підключення до мережі живлення. Серед недоліків цих ламп можна назвати: низьку

світлову віддачу (до 20 лм/Вт), а отже, низький світловий ККД (до 3,5 %); незадовільний спектральний склад випромінювання (переважає довгохвильове випромінювання), велика яскравість.

Низька економічність ламп розжарювання привела до створення кварцових *галогенних ламп* розжарювання. Це кварцова трубка, вздовж осі якої розміщена вольфрамова спіраль. У трубку вводять 1-2 мг йоду (галоген) і заповнюють її аргоном до тиску 0,08 МПа. Пари йоду при звичайних температурах (до +60 °С) не створюють хімічних сполук із вольфрамом. При вищих температурах вони утворюють із частинками вольфраму, що осіли на колбі, йодистий вольфрам. Якщо температура колби вища за 250 °С, то йодистий вольфрам перебуває у пароподібному стані і поступово дифундує до нитки розжарювання. У зоні високих температур, близьких до температури розжарювання нитки, йодистий вольфрам розпадається на вольфрам і йод. Вольфрам осідає на нитку розжарювання, а атоми йоду повертаються до стінок колби. Отже відбувається регенерація вольфрамової нитки. В результаті цього світловий потік у 2-2,5 раза більший, ніж при аналогічних за потужністю ламп розжарювання, при строках служби галогенних ламп 2000 год. Галогенні лампи напругою 220 В виготовляють потужністю 1000-2000 Вт (КИ-220-1000-5 і КИ-220-2000-4).

Відповідно до нових норм освітленості, для освітлювальних пристроїв рекомендовано застосовувати в першу чергу газорозрядні лампи, як найбільш економічні. Усі газорозрядні джерела за величиною робочого тиску поділяються на лампи низького, високого та надвисокого тиску.

Люмінесцентні лампи низького тиску являють собою скляну циліндричну колбу, внутрішню поверхню якої покрито люмінофором. На обох кінцях колби є цоколі, на яких закріплені електроди з вивідними контактними штирями. Для покращення емісії електронів, електроди покрито шаром оксиду. З колби лампи відкачане повітря і введено аргон під тиском біля 400 Па з невеликою кількістю ртуті (30 - 50 мг).

У люмінесцентних лампах світлова енергія виникає в результаті подвійного перетворення енергії електричного струму. По-перше, електричний струм, що протікає між електродами лампи, викликає електричний розряд у газовому середовищі і випарах ртуті, внаслідок чого молекули газу і ртуті збуджуються і випромінюють при цьому променеву енергію, більша частина якої є ультрафіолетове проміння. По-друге, ультрафіолетове проміння попадає на люмінофор, що нанесений на стінки колби лампи і перетворюється у світлове випроміню-

вання. Залежно від складу люмінофора можна отримати видиме випромінювання різного спектрального складу.

При певній густині струму характер процесу іонізації між електродного проміжку лампи може бути лавиноподібним. У цьому випадку, із збільшенням струму опір між електродного проміжку різко зменшується, що веде, в свою чергу, до ще більшого збільшення струму, і як наслідок до аварійного режиму.

Обмежити струм, а отже, стабілізувати режим роботи, можна шляхом застосування струмообмежувального опору, який називають баластним, оскільки потужність на ньому втрачається безкорисно. Для роботи при постійному струмі використовують активні баласты, при змінному струмі індуктивні, ємнісні (іноді активні).

Промисловість випускає люмінесцентні лампи 5 типів: денного світла - ЛД; денного світла з покрашеною кольоропередачею - ЛДЦ, холодно білого кольору ЛХБ, білого світла - ЛБ, тепло білого - ЛТБ. В даний час випускаються нові лампи із спектром випромінювання близьким до природного (сонячного) ЛЕ. Люмінесцентні лампи випускаються потужністю 15, 20, 30, 40, 65, 80 Вт.

Порівняно з лампами розжарювання - люмінесцентні лампи мають кращий спектральний склад випромінювання, більшу світлову віддачу (60 - 70 лм/Вт) і більший час горіння - 12000 -15000 годин, а також більший світловий ККД лампи 4,9...9,6 %. До недоліків їх роботи можна віднести: складність будови, шум при роботі, пульсацію світлового потоку, що викликає стробоскопічний ефект, для зменшення величини пульсації світлового потоку необхідно лампи включати в різні фази, або застосовувати анти стробоскопічні пускорегулювальні апарати (ПРА); складність схем підключення до мережі живлення. Запалювання люмінесцентних ламп без спеціальних заходів здійснюється при напрузі, як правило, більшій ніж у мережі живлення. Одним із методів зменшення напруги запалювання є попереднє підігрівання електродів, що полегшує емісію електронів.

Підігрівання електродів здійснюється за допомогою стартерних і без стартерних ПРА. Позначення цих апаратів розшифровується так:

- перша цифра - кількість ламп, що вмиканяться апаратом;
- дві перші букви після цифри: УБ - стартерне запалювання, АБ - безстартерне запалювання, ДБ - дросель баластний (для ламп типу ДРЛ, ДРИ);
- третя буква характеризує зсув фаз струму, що споживає апарат: И - індуктивний, Е- ємнісний, К - компенсований;

- дріб після дефіса, чисельник якого вказує на потужність (а для ламп ДРЛ, ДРИ - тип лампи), знаменник - напругу мережі живлення;

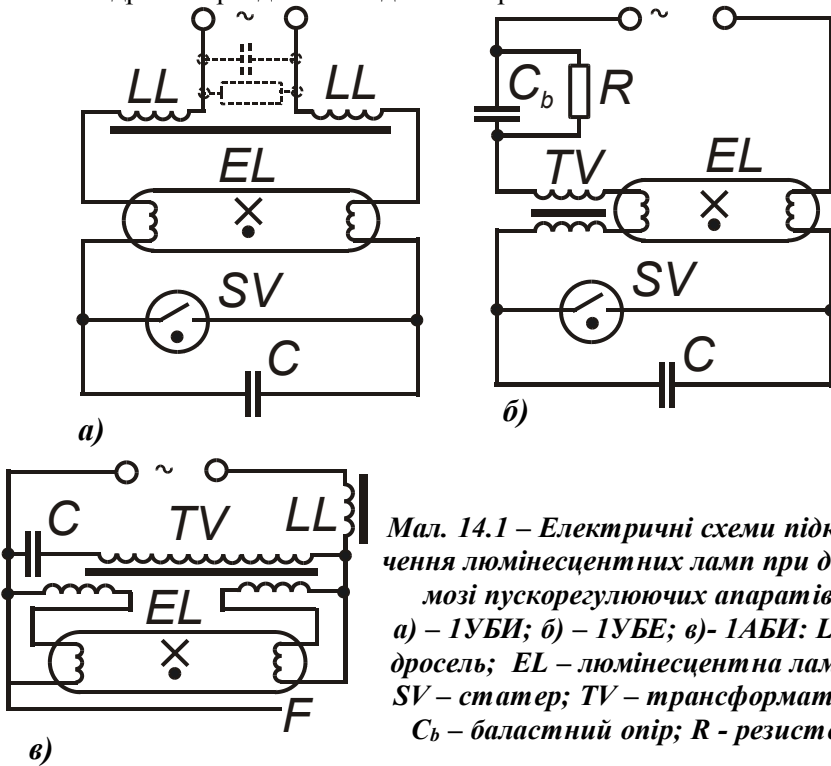
- букви після дефіса: А - антистробоскопічний (наявність зсуву фаз між струмом ламп багатолампового апарату); В - вмонтований у світильник, Н - незалежного монтажу; П - із зниженим рівнем шуму і радіоперешкод.

ПРА служать для запалювання ламп, обмеження струму дугового розряду, компенсації коефіцієнта потужності, обмеження стробоскопічного ефекту.

В однолампових схемах включення застосовують пускорегулювальні апарати типів 1УБИ та 1УБК, що складаються із симетричного дроселя і стартера з конденсатором. Стартер являє собою мініатюрну неонову лампу, один або два електроди якої виготовлені із біметалевої пластини. Біметалева пластина, виготовлена шляхом спаювання стрічок двох металів із різними коефіцієнтами теплового лінійного розширення, внаслідок чого при нагріванні вона вигинається. При подачі напруги на затискачі ПРА (див. мал. 14.1, а), вся вона виявляється практично прикладеною до електродів стартера і у його колбі виникає тліючий розряд. За рахунок струму, що протікає при цьому, виділяється тепло яке нагріває рухомий біметалевий електрод і він, прогинаючись, замикається з нерухомим електродом. Струм у колі у цьому випадку різко зростає, його величина виявляється достатньою для нагрівання електродів люмінесцентної лампи. Через 1-2 сек електроди лампи розігріваються до 800-900 °С. Оскільки розряду в цей час у колбі стартера немає, то його електроди охолоджуються і розмикаються. В момент розриву кола у дроселі виникає Е.Р.С. самоіндукції, величина якої пропорційна індуктивності дроселя і швидкості зміни струму в момент розриву. Підвищена напруга (700...1000 В), що утворилась за рахунок Е.Р.С. самоіндукції виявляється прикладеною до електродів лампи, які вже нагріті і готові до запалювання лампи. Між електродами виникає дуговий розряд і лампа починає світитись. Після запалювання лампи її опір стає приблизно рівним опору послідовно підключеного дроселя і напруга на ній понижується приблизно до половини напруги мережі. Ця ж понижена напруга, прикладена до стартера, що підключений паралельно до лампи, і отже він більше не запалюється.

Конденсатор стартера служить для зменшення радіоперешкод при включенні лампи, збільшення амплітуди імпульсу напруги, а також для стабілізації тліючого розряду в стартері і робочого розряду при горінні лампи.

Дросель, як баластний індуктивний опір, обмежує струм лампи при роботі, а також виробляє імпульс напруги при розриві кола стартера завдяки чому лампа запалюється. Для зменшення радіоперешкод, обмотка дроселя розділена на дві симетричні частини.



Мал. 14.1 – Електричні схеми підключення люмінесцентних ламп при допомозі пускорегулюючих апаратів:
 а) – 1УБИ; б) – 1УБЕ; в)- 1АБИ: LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа; SV – стартер; TV – трансформатор; C_b – баластний опір; R – резистор

Застосування в освітлювальних пристроях однолампових стартерних ПРА з низьким коефіцієнтом потужності викликає збільшення реактивного струму, що споживається з мережі, перевантаження мережі і додаткові втрати потужності у ній. Так, зменшення значення $\cos \varphi$ із 1 до 0,5 збільшує струм, що споживається з мережі у 2 рази, а втрати потужності у 4 рази.

Коефіцієнт потужності з індуктивним ПРА завжди менший одиниці, компенсувати індуктивний струм можна за допомогою Конденсатора, що підключається паралельно до лампи. Такий конденсатор називається компенсуючим, а ПРА компенсованим (на мал. 14.1, а. він позначений пунктиром). У ПРА типу 1УБК він має ємність 4...6 мкф, що дає можливість збільшити коефіцієнт потужності до 0,9...0,95, при коефіцієнті потужності ПРА типу 1УБИ рівному 0,5..0,6.

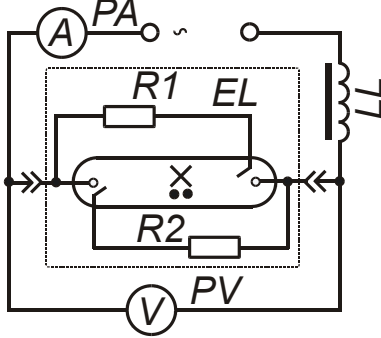
При використанні ємнісного баластного опору в ПРА типу ІУБЕ дросель підключається послідовно з баластним конденсатором (див. мал. 14.1, б). В період запалювання лампи, при замиканні контактів стартера, по колу дросель - конденсатор - електроди лампи протікає струм, величина якого не достатня для підігрівання електродів люмінесцентної лампи до необхідної температури. Оскільки, тривалий строк служби люмінесцентної лампи, при великому числі включень, можливий тільки при достатньому підігріванні електродів до запалювання, то у таких схемах необхідно використовувати додаткову запалювальну обмотку в колі стартера, але так, щоб вона працювала тільки під час попереднього підігрівання електродів лампи. При цьому не має значення чи ця індуктивність виконана у вигляді окремого дроселя, чи спеціальної обмотки на магнітопроводу основного дроселя, яка підключена узгоджено до основної обмотки. Для розряду конденсатора, при відключенні лампи від мережі, застосовується розрядний опір, що підключається паралельно до конденсатора. ПРА з ємнісним баластом працює з ємнісним коефіцієнтом потужності, рівним 0.5, для його компенсації, необхідно, паралельно ємнісному ПРА підключати нормальний некомпенсований індуктивний ПРА, таким чином загальний коефіцієнт потужності двохлампового пристрою буде близьким до одиниці. Таке двохлампове з'єднання називається ПРА з *розщепленою фазою*. Пульсація загального світлового потоку такого пристрою буде значно меншою, оскільки світловий потік ламп пропорційний струму у них, а струми, що проходять через індуктивний ПРА і через ємнісний ПРА, зсунуті по фазі один відносно одного, отже коли в одній лампі буде максимум світлового потоку, то в другій лампі буде мінімум і навпаки.

ПРА зі стартерним запалюванням недостатньо надійні в роботі, оскільки, стартери мають невеликий строк служби і часто виходять із ладу. Безстартерні ПРА типу ІАБІ та ІАБК (див. мал. 14.1, в), за допомогою яких запалювання лампи здійснюється з попереднім підігріванням електродів лампи, складаються звичайно з симетричного дроселя, трансформатора підігрівання з вторинною обмоткою, яка поділена на дві симетричні частини і провідної стрічки або дротинки, що закріплена на лампі і покращує запалювання лампи. При включенні світильника з таким ПРА, напруга на лампу одночасно подається від первинної обмотки трансформатора розігрівання для запалювання і від вторинних обмоток для підігрівання електродів лампи. Для запалювання лампи з попередньо підігрітими електродами необхідно порівняно меншу напругу, ніж для лампи з холодними електродами.

Робочий струм лампи після її запалювання створює спад напруги на дроселі, внаслідок чого напруга на електродах і трансформаторі підігрівання знижується до номінальної величини, при цьому знижується струм нагрівання, який підтримує певну температуру електродів лампи. Безстартерні ПРА більш надійні у роботі і мають більший строк служби, але вони дорожчі стартерних, при тому внаслідок постійного підігрівання електродів лампи під час роботи, знижується строк служби самої лампи.

Із газорозрядних ламп високого тиску найбільш розповсюджені у сільськогосподарському виробництві лампи типу ДРЛ - дугова, ртутна, люмінесцентна. Такі лампи в основному застосовуються для загального освітлення високих приміщень (при висоті стелі не меншій 5 м) і зовнішнього освітлення, де не вимагається високої якості кольоропередачі. Принцип дії лампи полягає у використанні дугового розряду у випарах ртуті. Дуговий розряд виникає завдяки імпульсу напруги між електродами, що попередньо підігріті, або холодними які вкриті шаром оксиду. Лампа являє собою скляний балон еліптичної форми в середині якого розміщений ртутно-кварцовий пальник високого тиску трубчастої форми. На внутрішній поверхні балона нанесено шар люмінофору. Видиме випромінювання ртутного розряду проходить через шар люмінофора, а ультрафіолетове він поглинає і перетворює у видиме випромінювання червоного кольору. Яскравість ламп ДРЛ майже у 10 разів перевищує яскравість люмінесцентних ламп низького тиску. Промисловість виготовляє в основному лампи типу ДРЛ із чотирьох електродними пальниками, завдяки яким підключення лампи до мережі здійснюється без запалювального пристрою. ПРА для ламп типу ДРЛ відрізняється від ПРА люмінесцентних ламп схемою включення і наявністю вмонтованих у лампу допоміжних підпалюючих електродів. Баластний опір (див. мал. 14.2) підключається послідовно до лампи. При включенні лампи виникає місцевий розряд між головним і допоміжним електродами різної полярності, при цьому підігріваються головні електроди і іонізується розрядний проміжок між ними, за рахунок чого проходить запалювання лампи. Завдяки наявності спеціальних обмежувальних опорів, напруга між головними і допоміжними електродами зменшується і при горінні лампи розряд проходить через газ (аргон), а коли лампа нагрівається і ртуть випаровується - через випари ртуті. З початку тиск у лампі низький і вона споживає струм, більший за номінальний. Через 5...10 хв. встановлюється номінальний режим горіння лампи. Перед повторним вмиканням лампа повинна охолонути, для цього

досить 10 хв. Лампа типу ДРЛ не створює правильної кольоропередачі, що обмежує область її застосування, але вона має великий світловий потік порівняно з іншими типами ламп, стійка до коливань і відхилень напруги, має великий строк служби, її можна також використовувати при достатньо низькій температурі.



Мал. 14.2 – Електрична схема підключення лампи типу ДРЛ: LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа; R1, R2 - резистори

Останнім часом набувають розповсюдження компактні люмінесцентні енергозберігаючі лампи для запалювання яких використовують спеціальний електронний баласт, який вмонтовують у корпус лампи, або виготовляють окремим вузлом. Електронний баласт практично усуває пульсацію світлового потоку даної лампи. Завдяки компактності й наявності цоколя, як у ламп розжарювання, їх можна вкручувати у патрони розраховані для ламп розжарювання. Порівняно з лампами розжарювання, дані лампи споживають у п'ять разів менше електро-енергії при тій же світловій віддачі та кращій кольоропередачі і мають строк служби у 6-8 разів довший.

Металогалогенні лампи типу ДРИ застосовують для освітлення виробничих приміщень, зовнішнього освітлення, а також для доосвітчування розсади у теплицях. За будовою вони схожі на лампи ДРЛ, але зовнішня колба не покрита люмінофором. У кварцову трубку вводять суміш йодидів натрію, калію та індію, завдяки чому в 1,5-2 рази збільшується світлова віддача порівняно з лампами ДРЛ при хорошій кольоропередачі. Світлова віддача металогалогенних ламп типу ДРИ (дугова, ртутна з йодидами металів) знаходиться у межах 70-90 лм/Вт. Їх виготовляють потужністю 250, 400, 700, 1000, 2000, 3500 Вт. Середня тривалість горіння залежить від потужності лампи і становить 2000...10000 год.

Більш економічним джерелом світла є *натрієві лампи високого тиску ДНаТ*, в яких розряд проходить у випарах натрію при високому тиску. Такі лампи також використовують для освітлення вулиць та об'єктів, де не вимагається висока якість кольоропередачі. Побудована

лампа подібно до лампи ДРЛ, але зовнішню колбу не покривають із середини люмінофором, а внутрішня газорозрядна трубка виготовляється зі світло пропускнуго полікристалічного окису алюмінію. В останню введена амальгама натрію та інертний газ під тиском у декілька десятків паскалів. У натрієвих лампах ДНаТ немає ультрафіолетового випромінювання, характерного для розрядів парів ртуті. Вони випромінюють переважно у жовтій, оранжевій та червоній частинах видимого спектра. Строк служби даних ламп сягає до 24 тис. год. при світловій віддачі до 140 лм/Вт. Натрієві лампи потужністю 70, 100, 150, 400 Вт у деяких країнах випускають із колбами покритими окисом алюмінію, що зменшує яскравість і дозволяє використовувати їх для внутрішнього освітлення.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

1. Записати технічні дані лампи розжарювання. Для дослідження впливу відхилення напруги на величину струму та світлового потоку лампи розжарювання необхідно зібрати електричне вимірювальне коло відповідно до мал. 14.3, до затискачів 1 і 2 якого підключається лампа розжарювання. Автотрансформатором TU задається напруга 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0; 1,05; 1,1 - від номінальної напруги лампи, при цьому в табл. 14.1 записуються значення напруги U і відповідні їм значення сили струму I , освітленості E і потужності P . В цю ж таблицю записуються вказані вище параметри у відносних одиницях: I/I_n , E/E_n , P/P_n - (за номінальні величини необхідно прийняти значення цих параметрів при номінальній напрузі), а також значення повної потужності $S=UI$ і коефіцієнта потужності лампи $\cos \varphi = P/S$.

За результатами вимірів і розрахунків побудувати залежності: $U/U_H = f_1(I/I_H)$; $U/U_H = f_2(P/P_H)$; $U/U_H = f_3(E/E_H)$, на одному малюнку і окремо побудувати вольтамперну характеристику лампи $U = f_4(I)$. Підключити датчик люксоміру до входу осцилографа і замалювати з екрана осцилографа картину пульсації світлового потоку.

2. Записати технічні дані люмінесцентних ламп і всіх ПРА на лабораторному стенді. Для визначення напруги запалювання і коефіцієнтів потужності лампи при використанні різних типів ПРА, їх електричні схеми (мал. 14.1, які зібрані на стенді) необхідно підключити до вимірювального електричного кола (мал. 14.3) і за допомогою авто-

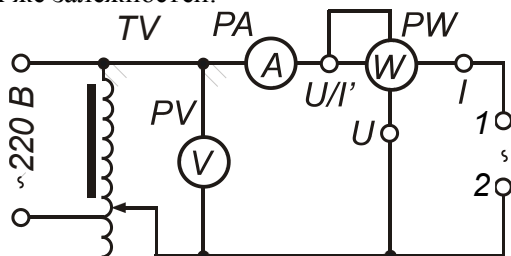
трансформатора, повільно, приблизно 5 В за секунду, (щоб забезпечити можливість прогрівання лампи) збільшувати напругу до запалювання лампи. Встановити номінальну напругу лампи і визначити номінальну потужність і силу струму лампи. Після розігрівання лампи, протягом 3-5 хв., повільно зменшуючи напругу, визначити напругу, при якій лампа погасне. Дані вимірів і розрахунків записати в таблицю 14.2.

Таблиця 14.1

Результати досліджень характеристик лампи

Тип лампи	№ з/п	Виміри					Розрахунки				
		U/U_n	U	I	P	E	I/I_n	P/P_n	E/E_n	S	$\cos \varphi$
			В	А	Вт	лк				ВА	
	1	0,80									
	2	0,85									
	3	0,90									
	4	0,95									
	5	1,00									
	6	1,05									
	7	1,10									
	8	1,15									

Для кожного типу ПРА за методом, вказаним у пункті 1, замало-вати пульсацію світлового потоку. Для одного із ПРА (вказаного викладачем) люмінесцентної лампи дослідити вплив відхилення напруги на величину струму, освітленості і потужності аналогічно до пункту 1, з оформленням такої ж таблиці і побудовою тих же залежностей.



Мал. 14.3 – Електричне вимірювальне коло

3. Записати технічні дані лампи типу ДРЛ і її ПРА. Для того щоб зняти вольтамперну характеристику лампи, необхідно зібрати електричне коло відповідно до мал. 14.2 Покази вольтметра і амперметра записувати в табл. 14.3, через кожні 20 сек., до тих пір поки, протягом трьох хвилин вони не будуть змінюватись. За

отриманими результатами побудувати залежності $I = f_5(t)$ та $U = f_6(t)$ на одному малюнку і окремо - вольтамперну характеристику $I = f_7(U)$. Відключивши лампу, переконалися, що повторне запалювання лампи можливе, тільки через 5...10 хв., коли лампа охолоне.

Таблиця 14.2

Результати досліджень характеристик люмінесцентних ламп

Тип ПРА	Виміри					Розрахунки	
	$U_{зап}$	U_H	I_H	P_H	U_Γ	$S_H = U_H I_H$	$\cos \varphi = P_H / S_H$
	В	В	А	Вт	В	ВА	
1АБИ							
1УБИ							
1УБЕ							
З розщепленою фазою							

Таблиця 14.3

Результати досліджень процесу розгоряння лампи типу ДРЛ

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
T	сек	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
U	В																				
I	А																				

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого необхідні електричні джерела видимого випромінювання?
2. Як побудована і працює лампа розжарювання?
3. Як побудована і працює галогенна лампа розжарювання?
4. Чим обмежується строк служби лампи розжарювання і чого вона має низький світловий ККД?
5. Як побудована газорозрядна люмінесцентна лампа?
6. За допомогою яких процесів у газорозрядній люмінесцентній лампі електрична енергія, що подається до неї, перетворюється у потік видимого випромінювання?
7. Що таке люмінофор і як від нього залежить спектральний склад випромінювання лампи?
8. Що відноситься до ПРА у схемах підключення люмінесцентних ламп?
9. Яке призначення дроселя у ПРА люмінесцентної лампи?
10. Яке призначення стартера у ПРА люмінесцентної лампи?

11. Як здійснюється запалювання люмінесцентної лампи?
12. Які переваги мають люмінесцентні лампи у порівнянні з лампами розжарювання?
13. Як побудована лампа типу ДРЛ?
14. Як працює лампа типу ДРЛ, де і чому вона застосовується?
15. Скільки і чому, триває процес розгоряння лампи типу ДРЛ?
16. Чому лампу типу ДРЛ не можна, зразу ж після відключення, знову включати в роботу?
17. Як побудована і працює металогалогенна лампа типу ДРИ?
18. Як побудована і працює натрієва лампа високого тиску ДНаТ?

ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год.
1	За рекомендованою літературою вивчити величини, які характеризують зорове відчуття світлових явищ, вияснити зв'язок між основними світлотехнічними величинами	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і технічні характеристики штучних джерел світла - електричних ламп розжарювання і газорозрядних ламп	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - порядок проведення експерименту; - таблиці 14.1 – 2 шт. , 14.2, 14.3; - електричні схеми: мал. 14.1; 14.2; 14.3. 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. - К.: Вища школа, 1986. – 287 с. - С. 41-71.
2. Довідник сільського електрика. (За ред. В. С. Олійника) - К.: "Урожай", 1982.- 262 с. - С. 168- 195;
3. Филаткин П. А. Электрооборудование животноводческих ферм. - М.: "Агроташ", 1987. 288 с. - С. 149-162;
4. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. (Под ред. И. Ф. Кудрявцева) -М.: "Агропромиздат.", 1988. – 480 с. - С. 375-419.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

ЕЛЕКТРИЧНІ ДЖЕРЕЛА ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити будову і принцип роботи та дослідити технічні характеристики електричних джерел інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Застосування електричних джерел оптичного випромінювання дозволяє інтенсифікувати цілий ряд технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Важливою сферою застосування оптичного випромінювання є ультрафіолетове і інфрачервоне опромінення сільськогосподарських продуктів, рослин, тварин, птахів.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧ) використовується для обігрівання молодняку тварин і птахів, який у початковий період свого життя особливо залежить від зовнішніх умов. Тварин можна обігрівати інфрачервоним випромінюванням, як найбільш економічним, при порівняно низькій температурі повітря у приміщенні де вони утримуються. Поглинання ІЧ випромінювання шкірою тварин - складний біологічний процес пов'язаний із загальною реакцією організму на випромінювання. ІЧ випромінювання з довжиною хвилі біля 1,5 мкм проникає в глибину тканини тварин і тим самим сприяє розширенню кровоносних судин, покращенню кровообігу всього організму і загального обміну речовин. Специфічність дії ІЧ випромінювання дозволяє використовувати його з лікувальною метою. У цей же час його дозування ускладнене, оскільки відсутні прості і надійні прилади для контролю доз ІЧ опромінення. ІЧ опромінення вимірюють двома методами. Перший полягає у вимірюванні опроміненості під ІЧ джерелом, другий - у визначенні додаткової температури, якої набуває об'єкт при ІЧ опроміненні за рахунок променевої теплопередачі. Приладів, які повністю відповідають вимогам сільськогосподарського виробництва, поки що немає. ІЧ опроміненість вимірюється за допомогою різних типів пірметрів, що застосовуються в інших галузях народного господарства, а додаткове нагрівання об'єктів ІЧ поромінення - за допомогою різних датчиків температури.

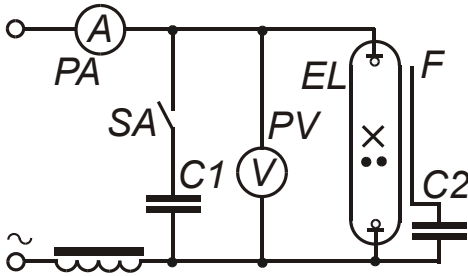
Ефективність ІЧ нагрівання значною мірою залежить від будови, раціонального вибору опромінювача. Електричні ІЧ поромі-

нювачі умовно поділяють на темні і світлі. Темні випромінювачі мають порівняно невисоку температуру - до 700 °С (різні спіралі і ТЕНи). Світлі опромінювачі нагріваються до температури видимого світла, випромінюючи при цьому велику долю короткохвильового випромінювання. До світлих випромінювачів відносять інфрачервоні дзеркальні лампи типу ІКЗ. Для концентрації потоку випромінювання частина колби, що прилягає до цоколя, виконана у вигляді параболи і покрита із середини дзеркальним відбиваючим шаром. Принцип отримання променевої енергії в лампах типу ІКЗ аналогічний принципу роботи ламп розжарювання, але для отримання переважно ІЧ випромінювання, спіраль розігрівається до більш низької температури (біля 2200 °С), що дозволяє збільшити тривалість їх горіння до 5000 годин. Лампи ІКЗ випускають на напругу 127 В і 220 В потужністю 250 Вт та 500 Вт, із прозорим (ІКЗ), темно-червоним (ІКЗК) і синім (ІКЗС) світлофільтром купола лампи. Використання різних світлофільтрів викликане умовами застосування ламп, наприклад, лампи із синім світлофільтром застосовують там, де видиме випромінювання шкідливе для технологічного процесу, або обслуговуючого персоналу.

Ультрафіолетове випромінювання (УФ) використовують для зменшення сонячного голодування усіх живих організмів. Достатнє УФ опромінення сприяє збільшенню продуктивності тварин і птахів, покращує функціонування ендокринних залоз, підвищує імунологічну активність, нормалізує обмінно-вітамінні процеси, збільшує енергію проростання насіння і т.д. Недостатню кількість сонячного УФ випромінювання в осінньо-зимовий період можна компенсувати електричними джерелами УФ випромінювання.

Як джерела УФ випромінювання у сільськогосподарському виробництві використовуються: ртутні лампи високого тиску, еритем-ні і бактерицидні лампи низького тиску. У сільськогосподарському виробництві найбільш розповсюджені ртутно-кварцові лампи високого тиску типу ДРТ (дугова, ртутна, трубчата). Лампа ДРТ являє собою пряму трубку із кварцового скла, що заповнюється аргоном і невеликою кількістю ртуті. Кварцове скло добре пропускає як ультрафіолетове так і видиме випромінювання, стійке до дії високої температури і механічних навантажень. У торці лампи впаєні вольфрамові електроди, що обвиті спіраллю із дротинки, яка для полегшення емісії електронів, покрита шаром окису. При вмиканні лампи в мережу, між електродами виникає дуговий розряд, під дією якого атоми ртуті збуджуються і випромінюють квант енергії із

певною довжиною хвилі. Кварцове скло трубки пропускає видиме і ультрафіолетове проміння. Лампа має лінійний спектр випромінювання.



Мал. 15.1 – Схема дослідження лампи типу ДРТ

Запалювання лампи типу ДРТ (мал. 15.1), здійснюється короткочасним натиском кнопки S, при цьому через дросель LL і конденсатор C1 протікає струм. При розмиканні контактів кнопки, струм різко зменшується і за рахунок е.р.с. самоіндукції дроселя різко збільшується напруга на електродах лампи, що сприяє її запалюванню. Металева стрічка F, яка підключена через конденсатор C2, забезпечує перерозподіл електричного поля в середині лампи, що полегшує запалювання лампи. Період розгоряння лампи 5-7 хв. Протягом цього часу проходить повне випаровування ртуті в трубці і стабілізація електричних і спектральних параметрів лампи. Повторне запалювання лампи можливе лише після її охолодження протягом 10-15 хв., оскільки, в гарячому стані лампа має збільшений опір.

Еритемні і бактерицидні лампи своєю будовою і принципом роботи подібні до люмінесцентних освітлювальних ламп. Еритемні люмінесцентні лампи ЛЕ виготовляються з увіолового скла, що пропускає УФ проміння, зсередини покриті люмінофором, що генерує таке ж випромінювання. Випромінювання еритемної лампи надає як еритемної так і антирахітної дії. Бактерицидні лампи низького тиску ДБ відрізняються від еритемних тільки відсутністю люмінофорного покриття колби. Спектр лампи лінійний. В електричну мережу ці лампи підключаються, як і освітлювальні люмінесцентні лампи.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

1. Записати технічні дані лампи типу ІКЗ. Для дослідження температурного поля в різних зонах під лампою ІКЗК-250 необхідно зібрати електричне коло відповідно до мал. 15.2 Напругу на лампі встановити рівну номінальній. Панель із датчиками встановити на столі. Лампа встановлюється на найбільшій із вказаних викладачем відстаней і витримується протягом 8 хв., що необхідно для

За отриманими даними побудувати залежності $I = f_2(t)$ та $U = f_3(t)$ - на одному малюнку, і окремо вольт-амперну характеристику лампи $U = f_4(I)$ в період розгоряння лампи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим пояснюється життєва необхідність і важливість забезпечення достатньої ультрафіолетового та інфрачервоного опромінення для сільськогосподарських тварин, рослин та птахів?
2. Виходячи з чого і на які ділянки поділено спектри ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання?
3. Де і як застосовуються окремі ділянки спектру ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання?
4. Які одиниці ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання введено у систему ефективних одиниць?
5. Як побудована і працює, а також де застосовується лампа типу ДРТ?
6. Як побудовані та працюють, а також де застосовуються еритемні і бактерицидні лампи ЛЕ та ДБ?
7. Як побудована і працює, а також, де застосовується лампа типу ІКЗ?

ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити фізіологічну дію ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань на біологічні об'єкти, використання цих випромінювань у сільськогосподарському виробництві	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і схеми відключення штучних джерел ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами; - порядок проведення експерименту; - таблиці 15.1, 15.2; - електричні схеми: мал. 15.1; 15.2. 	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник сільського електрика (за ред. В. С. Олійника).- К.: Урожай, 1989 - С. 168 - 195.
2. Филаткин П. В. Электрооборудование животноводческих ферм. - М.: "Агромаш", 1987. - С.162 - 169;
3. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. (Под редакцией И. Ф. Кудрявцева) - М.: "Агропромиздат.", 1988. - С. 420 - 436.
4. Белехов И. П., Четкин, А. С. Механизация и электрификация животноводства. - М.: Колос, 1984. - С. 200 - 203.
5. Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Електрообладнання тваринницьких підприємств і автоматизація виробничих процесів у тваринництві. - К.: Вища школа, 1986. - С. 71 - 76.
6. Карташов Л. П. и др. Механизация и электрификация животноводства. - М.: Агропромиздат, 1987. - С. 389 - 409.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОНАГРІВНИХ ПРИСТРОЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета роботи: вивчити будову, принцип дії, технічні характеристики та методи розрахунку електродних та елементних електронагрівних пристроїв сільськогосподарського призначення

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сільськогосподарському виробництві використовують дуже багато теплової енергії. В структурі енергобалансу вона становить понад 65 %, а у тваринництві потреба в тепловій енергії становить 80...90 % всього енергоспоживання. На тваринницьких фермах теплову енергію використовують для підігрівання води, приготування кормів, пастеризації молока, стерилізації молочного посуду, обігрівання тваринницьких приміщень, обробки продукції тваринництва, а також для зоогігієнічних потреб. У птахівництві теплову енергію використовують для інкубації яєць, обігрівання курчат, для підігрівання води, створення необхідного мікроклімату в приміщеннях, переробки птахівницької продукції тощо.

Близько 20 % всієї споживаної сільським господарством електроенергії використовують для одержання теплоти. Застосування електронагрівання для одержання теплової енергії у сільському господарстві вивільнило значну кількість людей, зайнятих раніше на обслуговуванні малопродуктивних паливних установок.

Способи і пристрої перетворення електричної енергії в теплову

Залежно від способу перетворення електричної енергії в теплову розрізняють такі способи електронагрівання: опором, електричною дугою, індукційний, діелектричний, електронний та світловий (лазерний).

Електронагрівання опором. У твердих і рідких провідниках при проходженні по них електричного струму виділяється теплота. Кількість теплоти, яка виділяється, визначають за законом Джоуля - Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (16.1)$$

де Q - кількість теплоти, Дж; I - сила струму, А;

R - електричний опір, Ом; t - час, с.

Електронагрівання опором може бути *прямим*, коли струм проходить безпосередньо через тіло, що нагрівається, та *побічним*, коли використовуються спеціальні пристрої для перетворення електричної енергії в теплову, а потім теплота від них передається тілу.

Провідники електричного струму поділяють на *провідники першого роду* (метали, сплави, графіт), які мають електронну провідність, та *провідники другого роду* (звичайна недистильована вода, молоко, соковиті і вологі корми тощо), які мають іонну провідність.

Пряме електронагрівання опором поділяють на два види: *електроконтактне* - нагрівання металевих тіл та *електродне* - нагрівання провідників другого роду.

При прямому електродному нагріванні матеріал (вода, вологі корми тощо) вміщують між електродами, на які подають напругу. Матеріал, через який проходить струм, нагрівається. Пряме електродне нагрівання здійснюють тільки змінним струмом, бо постійний струм спричинює електроліз матеріалу і псування його, а при нагріванні води може призвести до вибуху внаслідок виділення гримучого газу.

Нагрівання електричною дугою. Перетворення електричної енергії в теплоту відбувається в електричній дузі, що виникає між електродами в газовому середовищі. На електроди подають напругу. Потім на мить торкаються одним електродом іншого для запалювання електричної дуги і повільно розводять електроди на певну відстань. Внаслідок іонізації газове середовище між електродами стає електропровідним. Пряме нагрівання електричною дугою широко застосовується в електрозварювальних установках.

Електронне електронагрівання відбувається при зустрічі потоку електронів, прискорених в електричному полі, з тілом, яке потрібно нагріти. Електронне електронагрівання застосовують у промисловості для зварювання дрібних деталей та виплавлення надчистих металів.

Світлове (лазерне) електронагрівання відбувається під дією випромінювання оптичних квантових генераторів (лазерів). Енергія пучка когерентних оптичних променів при зустрічі з поверхнею тіла, що нагрівається, перетворюється в тепло. Лазери використовують для зварювання мікро деталей, при монтажі радіосхем, проведенні операцій та для інших цілей.

Індуктивне нагрівання металів. Якщо провідник помістити в змінне магнітне поле, то він нагріватиметься струмами, які наводяться в ньому за законами електромагнітної індукції. Інтенсивне нагрівання буває в полях великої напруженості і високої частоти. Ці поля утворюються в спеціальних установках, які називають індукторами. Індуктор - первинна обмотка повітряного трансформатора, вторинною обмоткою якого є тіло, що нагрівається. Конструктивно найпростіший індуктор – це ізольований провідник, вміщений у середину металевої труби. Провідник може бути скручений у спіраль.

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). Чим більша частота струму індуктора, тим на меншу глибину проникають струми в деталь. Тому струми високої частоти використовують для поверхневого нагрівання.

Інфрачервоне нагрівання. Інфрачервоні промені використовують у сільськогосподарському виробництві для обігрівання молодняка тварин та птиці, для сушіння сільськогосподарських продуктів і лакованих поверхонь та для дезинсекції. Вони проникають в органічну речовину на деяку глибину, і нагрівання речовини відбувається відразу на всій глибині проникання променів. Інфрачервоні промені можна досить точно сфокусувати на певний об'єкт або його частину за допомогою відбивачів і екранів. При цьому можна досягти дуже високої інтенсивності нагрівання з високим енергетичним коефіцієнтом корисної дії. При температурах, вищих за 800 °К, інфрачервоні промені дають змогу передавати значно більші потужності порівняно з конвекційним і контактним способами нагрівання. Особливо високий результат досягається при максимальній відповідності довжини хвилі інфрачервоного випромінювання поглинальній здатності речовини. Підбираючи спектр випромінювання відповідно до оптичних властивостей окремих складових неоднорідного продукту, можна здійснити селективне нагрівання. Простим прикладом селективного нагрівання є опромінювання зерна інфрачервоними променями для дезинсекції і сушіння. Інфрачервоні промені інтенсивно поглинаються водою. У шкідниках і їх личинках міститься вологи значно більше, ніж в зерні. Тому при опромінюванні зерна інфрачервоними променями з довжиною хвилі 2,7...3,7 мкм найінтенсивніше нагріваються шкідники, потім вологе зерно і значно менше сухе зерно. Цим досягають потрібної для сушіння і дезинсекції зерна селективності нагрівання.

Діелектричне нагрівання. Під впливом електричного поля в матеріалах з поганою електропровідністю заряди, зв'язані міжмолекулярними силами, орієнтуються або зміщуються в напрямі електричного поля. Ці заряди називають зв'язаними на відміну від вільних зарядів, які утворюють струм провідності. Зміщення зв'язаних зарядів під дією електричного поля називають поляризацією. Якщо електричне поле змінне, то відбувається безперервне зміщення зарядів. Енергія, яка витрачається на поляризацію молекул не провідникових матеріалів, виділяється у вигляді теплоти.

При нагріванні в полі конденсатора матеріалів з поганою електричною провідністю теплота виділяється одночасно по всьому об'є-

му матеріалу. При цьому швидке нагрівання внутрішніх шарів матеріалу веде до утворення градієнтів температури і тиску, направлених до зовнішньої поверхні тіла. Це сприяє швидкому видаленню надлишкової вологості. Тому високочастотне сушіння сільськогосподарських продуктів - це дуже прогресивний і перспективний метод сушіння. Електрична енергія перетворюється в теплоту безпосередньо. При високочастотному нагріванні можна досягти високої концентрації потужності в одиниці об'єму.

У сільському господарстві діелектричне нагрівання може знайти широке застосування для сушіння зерна, овочів, фруктів, дезинсекції зерна, пастеризації і стерилізації молока, стерилізації овочів і фруктів у банках при консервуванні тощо.

Інтенсивне нагрівання діелектриків можливе тільки в електричному полі високої частоти (від 0,5 до 100 МГц). Тому для діелектричного нагрівання застосовують лампові генератори.

До недоліків діелектричного нагрівання слід віднести складність і високу вартість обладнання, необхідність висококваліфікованого обслуговування. Тому діелектричне нагрівання слід застосовувати насамперед там, де воно веде до значного зростання продуктивності праці та до підвищення якості і збільшення виходу продукції.

Електричні нагрівні пристрої призначені для прямого перетворення електричної енергії в теплоту і є основним вузлом будь-якої електронагрівної установки. В установках побічного нагрівання основною частиною електронагрівного пристрою є *нагрівальний елемент*.

Матеріали для нагрівальних елементів. Нагрівні елементи працюють в дуже важких температурних умовах. Стійкість нагрівного елемента проти високої температури визначає строк служби електричного нагрівника. Тому до матеріалів, з яких виготовляють нагрівні елементи, ставлять ряд вимог. Основні з них такі: 1) здатність витримувати механічні навантаження від власної маси при високих температурах; 2) стійкість проти окислення при високих температурах, яке веде до зменшення поперечного перерізу і збільшення опору нагрівного дроту; 3) високий питомий опір, збільшення якого веде до зменшення маси нагрівного дроту і габаритів електронагрівника; 4) низький температурний коефіцієнт розширення, що забезпечує при підвищенні температури незначне збільшення опору; 5) висока температура плавлення (на 150...300°C вища за робочу температуру); 6) добра оброблюваність; 7) невисока вартість. Найбільше ці вимоги задовольняють спеціальні хромонікелеві сплави (ніхром), залізохромо-

алюмінієві сплави та неметалеві нагрівники (графітні, вугільні, карборундові, карбідні тощо). Неметалеві нагрівні елементи застосовуються у високотемпературних установках (до 1300 °С).

Ніхроми - це сплави нікелю, хрому і заліза з добавкою марганцю. Бувають подвійні і потрійні ніхроми. Подвійні ніхроми - найбільш високоякісні і дорогі сплави для нагрівальних опорів. Вони містять близько 20 % хрому і 80 % нікелю (X20H80-H, X20H80T). Потрійні сплави мають близько 15 % хрому, 60 % нікелю та 25 % заліза (X15H60-H).

Серед залізохромоалюмінієвих сплавів найбільше використовують фехраль (X13Ю4), який складається з 13 % хрому, 83 % заліза і 4 % алюмінію. В установках з невисокою температурою нагрівання застосовують сплав константан, який містить близько 40 % нікелю і 60 % міді. Для виготовлення нагрівальних елементів ці матеріали використовують у вигляді дроту або стрічки певного перерізу.

У сільськогосподарському виробництві при робочих температурах до 300...350 °С широко використовують для нагрівальних елементів сталевий оцинкований дріт, який є дешевим і доступним матеріалом. Проте нагрівні елементи зі сталевго оцинкованого дроту мають такі недоліки: 1) великий температурний коефіцієнт опору; 2) значно піддаються окисленню та іржавінню; 3) несталість електричних властивостей навіть у межах однієї марки дроту, що утруднює розрахунок нагрівних елементів.

Нагрівні елементи, виготовлені із сталевго оцинкованого дроту, використовують у сільському господарстві для обігрівання ґрунту і повітря в парниках і теплицях та для обігрівання підлоги в тваринницьких приміщеннях.

Ізолюють нагрівні елементи спеціальними матеріалами, які крім електроізоляційних властивостей мають високу теплопровідність, що забезпечує мінімальний перепад температури між нагрівним опором і робочою поверхнею елемента. Високі ізоляційні якості (опір ізоляції і діелектрична проникність) ці матеріали повинні мати як у холодному стані, так і при високій робочій температурі та підвищеній вологості.

Такі властивості має периклаз - плавлений окисел магнію. Периклаз має питомий об'ємний опір ізоляції при температурі 600 °С не менш як $5 \cdot 10^7$ Ом см, діелектричну проникність при цій же температурі не менш як $1,2 \text{ кВ} \cdot \text{мм}^{-1}$. Він ні в холодному, ні в нагрітому стані не вступає в сполуку з металами, водою та повітрям.

Ізолюють електронагрівні елементи азбестом, слюдою, фарфором і кварцовим піском. Для ізоляції відкритих нагрівальних

елементів використовують фасонну кераміку, яка одночасно може бути й каркасом для нагрівного опору.

При електродному нагріванні велике значення мають матеріали, з яких виготовлено електроди. Залізні електроди застосовують тільки при нагріванні води для технічних цілей. В установках для нагрівання рідких кормів, запарювання соломи та нагрівання води не для технічних цілей використовують електроди з неіржавіючої сталі, графітні та з титанових сплавів. Забороняється використовувати для виготовлення електродів мідь, оцинковане залізо, алюміній, бо електроди з цих матеріалів швидко окислюються, спричинюючи забруднення рідини, що нагрівається, а в окремих випадках можуть призвести до утворення гримучої суміші.

У *плівкових обігрівниках* нагрівні елементи виготовляють з вуглеграфітної струмопровідної тканини, сажонаповненої гуми, металонаповнених склоемалей, склоцементів та інших струмопровідних плівок.

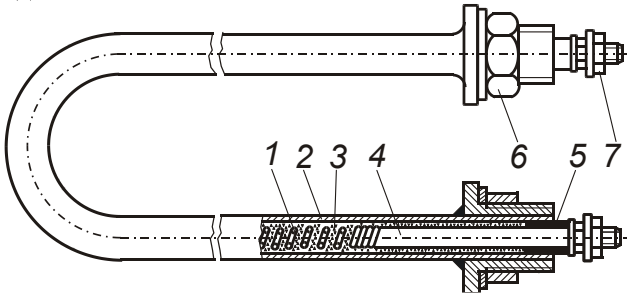
Будова нагрівних елементів. Електронагрівні елементи залежно від умов експлуатації, призначення та інших факторів виготовляють *відкритими, закритими і герметичними*. *Відкриті* електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається, шляхом конвекції та випромінювання інфрачервоних променів. У *закритих* нагрівних елементах високоомний опір вміщують у захисну оболонку, яка захищає його від механічних пошкоджень, але не перешкоджає доступу повітря. *Герметичні* електронагрівні елементи - це опір, вміщений у масу з ізоляційного матеріалу. Найчастіше вони складаються з металевої трубки, усередині якої в ізоляційну масу запресовано спіраль з ніхромового або фехралевого дроту. За рахунок герметизації виводів повітря до спіралі не надходить. Герметичні електронагрівні елементи віддають тепло матеріалу, що нагрівається в основному внаслідок теплопровідності трубки і заповнювача.

Герметичні електронагрівні елементи мають ряд переваг над відкритими і закритими елементами, а саме: 1) не окислюються і не забруднюються, що значно збільшує строк їх використання; 2) захищені від механічних пошкоджень і нечутливі до струсу; 3) електробезпечні для людей і тварин; 4) передають теплоту без різких перепадів температури; 5) універсальні, що дає можливість їх замінювати.

Найбільшого поширення в сільському господарстві набули трубчаті електронагрівники (ТЕНи), їх використовують у водонагрівниках, електрокалориферах, установках нагрівання променями тощо. Трубчатий нагрівник типу ТЕН (мал. 16.1) складається з ніхромової

спіралі 1, металевій трубки 2, наповнювача 3, вивідних шпильок 4, ущільнювальних втулок 5 та гайки 6 для кріплення нагрівника.

Наповнювач - плавлений окис магнію (периклаз) - надійно ізолює спіраль від металевій трубки і добре проводить тепло. Спіраль, запресована в периклаз, майже не окислюється, що забезпечує при правильному виборі та експлуатації нагрівника строк експлуатації до 10000 год.



Мал. 16.1 - Трубчатий електронагрівник типу ТЕН: 1 – ніхромова спіраль; 2 - металева трубка; 3 - наповнювач; 4 - шпилька; 5 – ущільнювальна втулка; 6 - гайка кріплення; 7 – вивід

Трубки нагрівників виготовляють із звичайної та неіржавіючої сталі і латуні. ТЕНи з трубками із звичайної сталі використовують для нагрівання повітря, а з трубками із неіржавіючої сталі та латуні - для нагрівання води, масел тощо. Трубчаті нагрівники повинні працювати тільки в тому середовищі, для якого вони призначені.

Якщо трубчатий нагрівник призначений для роботи в рідкому середовищі, то всю його активну частину потрібно обов'язково занурити в рідину. Нагрівники не повинні торкатись один одного. Виводи нагрівників потрібно ізолювати від теплового випромінювання нагрітого агрегату, вони повинні добре омиватись холодним повітрям.

ТЕНи виготовляють на номінальну напругу 12, 24, 36, 48, 55, 60, 127, 220, 380 В; на номінальні потужності від 0,05 до 20 кВт; із зовнішніми діаметрами трубок 7; 9; 12,5; 15 мм і довжиною від 250 до 6300 мм в одно- або трьохелементному виконанні.

Нагрівні елементи можуть мати керамічну ізоляцію. Так, в електронагрівниках серії УАП сільськогосподарського призначення використовують розбірні електронагрівні елементи закритого типу з керамічною ізоляцією типу РЕН-2/220 і РЕН-6/380. Такий нагрівальний елемент - це металева труба діаметром 83 мм і товщиною 3 мм, всередині якої в 12-канальному ізоляторі розміщена нагрівальна спіраль. Усередині ізолятора міститься труба діаметром 33 мм і товщиною 3 мм, яка

з внутрішнього кінця наглухо заварена, а з зовнішнього з'єднана з зовнішньою трубою, і утворює герметичну трубчасту оболонку. Щоб поліпшити тепловіддачу, спіраль засипають кварцовим піском. Наявність внутрішньої порожнини поліпшує температурні умови роботи спіралі і керамічної ізоляції. Така конструкція нагрівного пристрою дає можливість багаторазово використовувати трубчасту оболонку, замінюючи спіралі, які найчастіше виходять з ладу.

Для електронагрівників невеликої потужності (наприклад, у деяких брудерах) застосовують герметичні нагрівні елементи без металевої оболонки. До них належать дровотві трубчасті емальовані резистори типу ПЗ. Пристрої мають трубчастий керамічний каркас, на який намотано константановий або ніхромовий дріт, зверху покритий запобіжним шаром емалі.

Для електрообігрівання повітря й ґрунту в парниках і теплицях та для електрообігрівання підлог, коли потрібно мати невисоку температуру нагрівання (до 40...50°C), використовують нагрівні проводи. Промисловість випускає нагрівні проводи типів ПОСХВ, ПОСХП та ПОСХВТ - провід обігрівальний сільськогосподарський з полівінілхлоридною (В), поліетиленовою (П) або полівінілхлоридною термостійкою (ВТ) ізоляцією. Нагрівні проводи мають струмоведучу жилу із сталюого оцинкованого дроту діаметром 1,1 мм у проводів ПОСХВ і ПОСХП та 1,4 мм у ПОСХВТ. Максимальна допустима температура нагрівання проводів ПОСХВ і ПОСХП становить 70 °С, а ПОСХВ - 105 °С. Питоме навантаження при допустимій температурі поверхні проводу при прокладанні проводів у ґрунті становить 10...12 Вт·м⁻¹ для проводів ПОСХВ та ПОСХП і 22...23 Вт·м⁻¹ для проводів ПОСХВТ.

Плівкові обігрівачі з нагрівними елементами на основі резистивних плівок мають корпус із листової сталі, покритий електроізоляційною емаллю, на яку методом пневматичного розпилювання нанесено пастоподібну масу композиційного резистивного матеріалу. Зверху електропровідна плівка покривається термостійким електроізоляційним лаком, органічною емаллю або епоксидною смолою.

Тепловий та електричний розрахунок електронагрівних установок. При тепловому розрахунку електронагрівних установок визначають втрати тепла на нагрівання, плавлення і випаровування, втрати тепла в зовнішнє середовище, тепловий коефіцієнт корисної дії, загальну потужність установки та її конструктивні параметри.

При електричному розрахунку вибирають напругу і частоту струму, спосіб нагрівання та визначають основні геометричні розміри

нагрівного пристрою. Встановлену потужність електронагрівної установки, кВт, визначають за формулами:

при нагріванні матеріалів

$$P = \frac{K_3 GC(\theta_2 - \theta_1)}{3600\eta}; \quad (16.2)$$

при плавленні і випаровуванні

$$P = \frac{K_3 GC[(\theta_2 - \theta_1) + a]}{3600\eta}, \quad (16.3)$$

де G - продуктивність установки, кг·год⁻¹, м³·год⁻¹ і т. д.; C - середня за період нагрівання питома теплоємність тіла, кДж·кг⁻¹·град⁻¹; кДж·м³·град⁻¹; θ_1 і θ_2 - початкова і кінцева температура тіла, град; K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує старіння нагрівальних елементів і можливе зниження електричної напруги (повинен становити 1,1...1,3); a - питома теплота фазового перетворення (питома теплота плавлення, випаровування), кДж·кг⁻¹; η - коефіцієнт корисної дії електронагрівної установки (к. к. д), який включає в себе електричний к. к. д. (η_e) і тепловий к. к. д. (η_T).

Наближено можна прийняти $\eta = 0,9...0,95$ для добре теплоізольованих установок безперервної дії і $\eta = 0,7.. .0,8$ – для установок періодичної дії та неізольованих. Геометричні розміри електронагрівних установок визначають, розв'язуючи рівняння, що характеризують електронагрівну установку як джерело теплоти і як приймач електричного струму.

Вибір трубчатих нагрівних елементів проводять за розрахунковою потужністю, яку визначають за формулами (16.2) або (16.3) та за допустимим питомим навантаженням поверхні трубки. Допустимі питомі навантаження на поверхню ТЕНів наведено в табл. 16.1. Потрібну активну поверхню нагрівників визначають за формулою:

$$S = \frac{P}{10\sigma_D}, \quad (16.4)$$

де P - потужність нагрівної установки, кВт; σ_D - допустиме питоме навантаження на поверхню трубки, Вт·см⁻²; S - активна поверхня нагрівника, м².

Потім з каталогу вибирають трубчатий нагрівний елемент, який відповідає заданим умовам роботи, і визначають його активну поверхню (S_l) за формулою:

$$S_l = \pi dl \cdot 10^{-3}, \quad (16.5)$$

де d - діаметр трубки, мм; l - активна довжина одного трубчатого нагрівного елемента, м.

Таблиця 16.1

Допустимі навантаження на ТЕНи

Середовище, що нагрівається	Характер нагрівання	Матеріал трубки	Допустиме питоме навантаження, Вт·см ⁻²
Вода	Нагрівання, кип'ятіння і випаровування	Латунь, сталь неіржавіюча X18H10T	9,0...11,0
Повітря	Нагрівання в спокійному повітрі до температури на поверхні ТЕНів: - 500 °С - понад 500 °С	Сталі 10 і 20, сталь неіржавіюча X18H10T	1,2...1,8 2,3...5,0
Жири харчові, мінеральне масло	Нагрівання у ванні	Сталі 10 і 20	2,3...3,0
Молоко	Нагрівання у ванні	Сталь неіржавіюча X18H10T	1,5...2,0
Побутові плити	ТЕНи залиті у метал електроконфорки	Сталі 10 і 20	5,0...7,0
Променева обігрівання тварин та птахів	У тваринницькому приміщенні	Сталь неіржавіюча X18H10T	5,0...6,0

Потрібну кількість нагрівників визначають за формулою:

$$n = S/S_1.$$

Розрахунок нагрівних елементів за робочим струмом і таблицями навантаження. Цим методом часто користуються на практиці. Для розрахунку нагрівних елементів використовують експериментальні табличні або графічні залежності між навантаженням струмом, температурою і перерізом дроту нагрівного елемента. Ці залежності наводяться в довідниках для дротів, які підвішені горизонтально у спокійному повітрі при температурі 20 °С і вільно віддають теплоту. Для дротів з ніхрому ці дані

наведено в табл. 16.2. При переході від умов роботи, для яких складено таблицю 16.2, до реальних вводять поправочні коефіцієнти монтажу та середовища (див. табл. 16.3).

Таблиця 16.2

Навантаження ніхромового дроту, підвішеного горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20 °С

Діаметр дроту, мм	Переріз, мм	Допустиме навантаження (А) при розрахунковій температурі, t_p , °С					
		200	400	600	700	800	900
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5
0,5	0,195	2	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75
0,6	0,342	2,52	4	5,7	6,5	7,5	8,5
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5
1	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30
2	3,14	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47
2,5	4,91	16,6	27,5	40	46,6	57,5	66,5
3	7,07	22,3	37,5	54,5	64	77	88
4	12,6	37	60	80	93	110	129

Розрахунок ведуть у такій послідовності. За формулами (16.2) або (16.3) визначають потужність електронагрівної установки. Потім задаються даними про напругу, схему з'єднань і кількість паралельних секцій в кожній фазі. Нагрівні елементи залежно від напруги електромережі з'єднують послідовно або паралельно, на «зірку» або «трикутник». При потужності нагрівних пристроїв понад 1 кВт, їх виконують трифазними. При з'єднанні нагрівних елементів на «зірку» напруга на кожній секції буде фазною, а при з'єднанні на «трикутник» - лінійною. При цьому на кожній фазі може бути одна або кілька паралельних секцій.

Менші значення коефіцієнта монтажу беруть для малих діаметрів дроту. Коефіцієнт середовища K_C має становити: 1,1...1,5 при розміщенні нагрівного пристрою в повітряному потоці; 2,5 - у воді і 3...3,5 - у водному потоці.

Робочий струм нагрівного пристрою визначають за формулами:

- для однофазних установок:

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{Un}; \quad (16.6)$$

Таблиця 16.3

Значення поправочного коефіцієнта монтажу K_M залежно від конструктивного виконання нагрівника

Дріт при горизонтальному розміщенні у спокійному повітрі	1
Дротяна спіраль без теплової ізоляції у спокійному повітрі	0,8...0,85
Дріт, намотаний на вогнестійкий каркас, у спокійному повітрі	0,6...0,7
Нагрівальний опір, розміщений між двома шарами теплової ізоляції	0,5
Нагрівні опори з доброю тепловою ізоляцією (трубчасті електронагрівники, електронагрівники ґрунту, підлоги)	0,3...0,4

- для трифазних установок

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3}Un}; \quad (16.7)$$

де P - потужність установки, кВт; U - напруга, В; n - кількість паралельних секцій в одній фазі.

За таблицею вибирають робочу температуру нагрівного елемента. Розрахункову температуру дроту (t_p) визначають, враховуючи коефіцієнти монтажу і середовища:

$$t_p = \frac{t_d}{K_M K_C}, \quad (16.8)$$

де K_M і K_C - коефіцієнти монтажу і середовища.

Вибрана температура дроту навіть за найнесприятливіших умов не повинна перевищувати максимально допустиме значення температури для даного матеріалу дроту.

Аналіз формули (16.8) показує, що коефіцієнт монтажу враховує погіршення тепловіддачі від нагрівного дроту, що призводить до підвищення температури дроту порівняно з даними табл. 16.2. Коефіцієнт середовища враховує поліпшення тепловіддачі завдяки впливу зовнішнього середовища, що викликає зниження температури дроту.

За робочим струмом I та розрахунковою температурою t_p вибирають у табл. 16.2 діаметр і поперечний переріз дроту.

Довжину дроту, м, однієї секції визначають за формулою:

$$l = \frac{U_{\phi}^2 S}{10^3 P_C \rho_t}; \quad (16.9)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга, В; P_C - потужність однієї секції, кВт; S - площа поперечного перерізу, мм²; ρ_t - питомий опір при розрахунковій температурі, Ом·м;

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (16.10)$$

де ρ_{20} - питомий опір при температурі 20 °С, Ом·м; α - температурний коефіцієнт опору, град⁻¹; t - розрахункова температура, °С.

Розрахунок електродних нагрівників. Електродні нагрівники використовують для нагрівання матеріалів, які проводять електричний струм, в основному води і ґрунту, та для запарювання соломи. Вони являють собою систему електродів для підведення струму до матеріалу, що нагрівається. Нагрівним елементом є безпосередньо цей матеріал. Електродні нагрівники можуть бути однофазними і трифазними. Найпоширеніші системи електродних нагрівників зображено на мал. 16.2. Розрахунок електродних нагрівників - це в основному вибір конструктивного виконання та визначення площі електродів і відстані між ними. Спочатку вибирають конструктивне виконання нагрівника, потім за формулою 16.2 визначають його потужність.

Розміри електродів залежать від напруженості поля між електродами і максимально допустимої густини струму на електродах. Щоб запобігти розкладанню води й утворенню гримучого газу, максимальна густина струму на електродах наприкінці періоду нагрівання не повинна перевищувати 2 А·см⁻² при нагріванні води циліндричними електродами і 0,5 А·см⁻² при нагріванні плоскими електродами. Максимальна напруженість поля між електродами E_D для води 125...250 В·см⁻¹.

Відстань між електродами:

$$l = U/E_D. \quad (16.11)$$

Не рекомендується l брати менше 1,5 см.

Потужність трифазного нагрівника P (кВт) незалежно від схеми з'єднань електродів:

$$P = (3U_{\phi}^2 \cdot 10^{-3})/R_{\phi}, \quad (16.12)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга, В; R_{ϕ} - опір однієї фази, Ом.

При нагріванні води зростає швидкість руху іонів - носіїв електричних зарядів, що зумовлює зменшення опору, отже, опір води змінюється. Тому під час розрахунку беруть його середнє значення, яке визначають за формулою:

$$R_{ic} = (K_{\Gamma} \rho_{ic}) / h, \quad (16.13)$$

де h - висота електродів, см; ρ_{ic} - середній питомий опір води за період нагрівання; Ом·см; K_{Γ} - геометричний коефіцієнт.

Питомий опір води при температурі t :

$$\rho_t = (40 \rho_{20}) / (20 + t). \quad (16.14)$$

Середня температура за період нагрівання:

$$t_C = 0,5(t_1 + t_2),$$

де t_1 - температура води до нагрівання, град; t_2 - температура води наприкінці нагрівання, град. Середнє значення питомого опору за період нагрівання:

$$\rho_{ic} = (40 \rho_{20}) / (20 + t_C)$$

Геометричний коефіцієнт для електродних систем (мал. 16.2) визначають за формулами:

- для схем а) і з):

$$K_{\Gamma} = l/b \quad (16.15)$$

- для схем б) і д):

$$K_{\Gamma} = \frac{l}{2\pi} \ln \frac{D}{d} \quad (16.16)$$

- для схеми в):

$$K_{\Gamma} = l / [(n-1)b] \quad (16.17)$$

де n - кількість пластин; d і D - відповідно діаметри електрода і антиелектрода.

Висота електрода може бути визначеною за формулою:

$$h = \frac{3,62 K_3 G C \rho_{20} K_{\Gamma} (t_2 - t_1)}{U_{\phi}^2 \eta (20 + t_C)}.$$

Розрахункову площу електродів перевіряють за максимальною густиною струму. Для цього визначають потужність однієї фази наприкінці нагрівання води $P_{M\phi}$ за формулою:

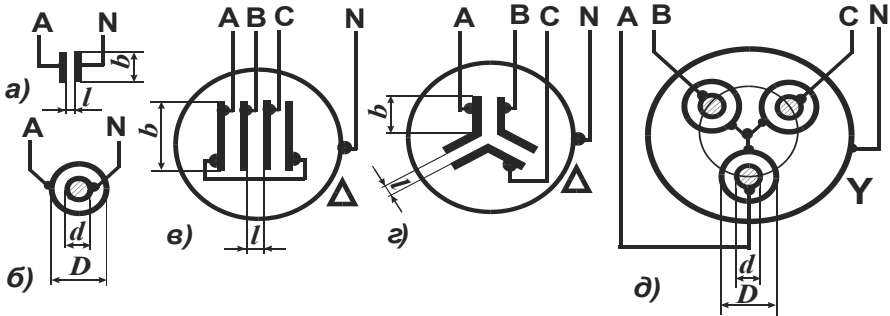
$$P_{M\phi} = \frac{U_{\phi}^2 h (20 + t_{20}) 10^{-3}}{40 K_{\Gamma} \rho_{20}}.$$

Максимальна густина струму на електродах

$$J = \frac{K_H P_{M\phi} 10^3}{U_{\phi} S},$$

де S - активна поверхня електрода однієї фази, см²; K_H - коефіцієнт, що враховує нерівномірність густини струму на поверхні електродів (1,1...1,4).

Максимальна густина струму повинна бути меншою від допустимої.



Мал. 16.2 – Схеми електродних систем електроводонагрівачів:
 а) - однофазна із плоскими електродами; б) - однофазна із циліндричними коаксіальними електродами; в) - трифазна із плоскими електродами (трикутник); г) - трифазна із пластинчатими вигнутими електродами (трикутник); д) - трифазна із коаксіальними електродами (зірка)

Особливості розрахунку сталевих нагрівальних елементів. Розрахунок нагрівальних елементів, виготовлених із сталюго дроту, утруднюється нестандартністю електричних характеристик сталі, які залежать від термічної та механічної обробки і можуть на 15...20 % відрізнятись від середніх значень. Тому розрахунок сталевих нагрівальних елементів можна виконати тільки наближено з точністю $\pm 20\%$. Щоб підвищити точність розрахунку, потрібно експериментально визначити питомий опір сталюго дроту, з якого будуть виготовлені нагрівні елементи.

Стальний дріт має низький питомий опір $\rho_{20} = (0,11 \dots 0,15) \cdot 10^{-4}$ Ом·см і високий температурний коефіцієнт опору $\alpha = 0,004 \dots 0,006$ град⁻¹, тому сталеві нагрівні елементи матимуть більші розміри, ніж нагрівники із спеціальних сплавів. Внаслідок високого температурного коефіцієнта опору сталеві нагрівні елементи при вмиканні в електричну мережу мають великі пускові струми. Допустима температура нагрівання сталюго дроту 300...350 °С, активний опір залежить від його температури і струму навантаження, що проходить по ньому.

Відношення опору сталюго провідника змінному струму певної частоти до опору постійному струму називають коефіцієнтом поверхневого ефекту. Для дроту діаметром $d = 1 \dots 6$ мм при частоті струму 50 Гц і питомому навантаженні $\Delta P = 20 \dots 100$ Вт·м⁻¹ можна вважати, що коефіцієнт поверхневого ефекту залежить тільки від діаметра дроту, і визначити його за емпіричною формулою:

$$K_{\Pi} = 1 + 0,0176d^{2,2},$$

де d - діаметр дроту, мм.

Повний опір сталюого дроту можна визначити за формулою:

$$Z = K_{\Pi}R / \cos \varphi,$$

де R - опір дроту постійному струму, Ом; $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності, який для вказаних вище (при визначенні коефіцієнта поверхневого ефекту K_{Π}) умов можна прийняти 0,86. Струм та активна потужність нагрівника:

$$I = U / Z = \frac{U \cos \varphi}{K_{\Pi}R},$$

$$P = \frac{U^2 \cos \varphi}{K_{\Pi}R}.$$

Знаючи K_{Π} і $\cos \varphi$, можна вибрати діаметр дроту, а довжину його визначити за формулою:

$$L = \sqrt[3]{\frac{10^{-3} P U^2 \cos^2 \varphi}{4\pi\rho_t K_{\Pi} W^2}},$$

де t - температура дроту, град; t_0 - температура зовнішньої поверхні матеріалу, що нагрівається, град; ρ_t - питомий опір дроту при температурі t , Ом·см; P і U - відповідно активна потужність та напруга, на яку розрахований нагрівник; W - питома поверхнева потужність, Вт·м⁻².

Способи регулювання потужності і температури електронагрівних установок. Потужність однієї фази електронагрівної установки:

$$P = UI = U^2 / R.$$

Отже, потужність електронагрівної установки можна регулювати, змінюючи напругу живлення або опір нагрівних елементів. На практиці регулюють потужність електронагрівних установок зміною опору нагрівних елементів. Для цього нагрівні елементи кожної фази ділять на ряд секцій, які потім вмикають між собою паралельно, послідовно або паралельно-послідовно. Таке перемикання секцій нагрівного опору дає змогу досить просто здійснювати ступінчате регулювання потужності електронагрівника, а отже, і температурного режиму електронагрівної установки. Недоліком цього способу регулювання потужності електронагрівника є значне збільшення кількості комутаційних апаратів. Регулювання температурного режиму часто здійснюють при постійній потужності нагрівної установки, періодично

вмикаючи і вимикаючи нагрівні елементи. У сільськогосподарському виробництві регулюють потужність електронагрівних установок зміною напруги різними способами. Одним із них є перемикання нагрівних елементів з фазної на лінійну напругу і навпаки (в однофазних установках) та перемикання з'єднання нагрівних елементів з зірки на трикутник і навпаки (у трифазних установках). Для зміни напруги можна використати автотрансформатор, проте через значне збільшення вартості електронагрівної установки цей спосіб регулювання потужності не знайшов широкого застосування в сільськогосподарському виробництві.

Перспективним способом плавного регулювання потужності електронагрівних установок зміною напруги є застосування пристроїв, виконаних на тиристорах. Змінюючи кут запалення тиристора, можна плавно регулювати ефективне значення напруги на нагрівальних елементах. При цьому потужність електронагрівника можна регулювати в широких межах або зовсім вимикати його, не застосовуючи контактну апаратуру.

Потужність електродних водонагрівників регулюють, перекриваючи шлях проходження струму між електродами за допомогою ізоляційних труб або пластин. Температурний режим під брудерами регулюють зміною висоти підвішування брудера та вмиканням і вимиканням нагрівних елементів. Температуру води в проточних водонагрівниках можна регулювати зміною подачі води, а температуру повітря в електрокалориферах – зміною продуктивності вентилятора.

Компресійні та термоелектричні теплові насоси. У сільському господарстві часто виникає потреба одні продукти нагрівати, а інші охолоджувати. «Перекачувати» теплоту від одних продуктів до інших з невеликою затратою електричної енергії можуть компресійні теплові насоси. Працюють вони подібно до холодильних машин. Тепловий насос можна використати на тваринницькій фермі для одночасного нагрівання води і охолодження молока. У таких пристроях компресор подає газоподібний фреон з температурою 80...90 °С в конденсатор-теплообмінник, де фреон, віддаючи тепло воді, охолоджується і перетворюється в рідину. Далі фреон надходить у випарник, занурений в 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.

Дуже перспективним у тваринництві є застосування напівпровідникових теплових насосів. Принцип їх дії оснований на явищі, яке в

1834 р. відкрив французький фізик Пелтьє. Суть цього явища полягає в тому, що при пропусканні постійного струму через напівпровідник на одному з його спайв теплота виділяється, а на іншому - поглинається. Можна так з'єднати напівпровідникові термоелементи, що з однієї сторони тепло поглинатиметься, а з іншої - виділятиметься. Після зміни напрямку протікання струму тепла сторона стане холодною, а холодна теплою. Тому напівпровідникові теплові насоси можна використовувати зимою для опалення приміщень, а літом для кондиціювання повітря. Напівпровідникові теплові насоси мають високий коефіцієнт корисної дії.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та принципом дії електронагрівних елементів і водонагрівачів, що знаходяться на лабораторному стенді.
2. Вивчити роботу електричної схеми керування електричним водонагрівачем (див. мал. 16.3) у режимах підігрівача (перемикач **SA1** в положенні **P**) та термоса (перемикач **SA1** в положенні **A**). Температуру води заміряють термометром або з допомогою термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ, що являє собою паровий манометричний дистанційний термометр із електроконтактним пристроєм.

Схема працює таким чином. При ручному керуванні перемикач **SA1** встановлюють у положення **P** включають автоматичний вимикач **SQ1** і натискають на кнопку **SB2**. При цьому струм надходить на котушку магнітного пускача **KM1**, він спрацьовує, і головними контактами подає струм на водонагрівач, а блокуючи контакти **KM1:1** шунтують кнопку **SB2**. Нагрівання води закінчиться при натисканні на кнопку **SB1**.

При автоматичному керуванні (коли перемикач **SA1** знаходиться в положенні **A**) температура води підтримується у заданому термосигналізатором ТКП-160Сг-УХЛ інтервалі (наприклад 80...90 °С). При вмиканні автоматичного вимикача **SQ1** струм надходить на котушку проміжного реле **KV1**, воно спрацьовує і своїми контактами подає струм на котушку магнітного пускача **KM1**, який також спрацьовує і головними контактами подає струм на водонагрівач, вода в якому починає нагріватись. При температурі води 80 °С контакт **SK1** розмикається, але електричне коло котушки реле **KV1** не розривається, оскільки контакт **SK1** заблокований контактом **KV1:2** і вода продовжується нагріватись. При температурі води 90°С контакт **SK2** розмикається, відключаючи реле **KV1** та магнітний пускач **KM1**, який вимикає водонагрівач і вода починає охолоджуватись. При температурі води нижче 90 °С контакт **SK2**

замикається, але магнітний пускач $KM1$ не вмикається, оскільки лишаються розімкнутими контакти $SK1$ та $KV1:2$ і струм на котушку реле $KV1$ не надходить. І тільки при температурі води 80°C коли контакт $SK1$ замикається, струм проходить по котушці реле $KV1$, замикаються його контакти $KV1:1$ та $KV1:2$ і магнітний пускач $KM1$ спрацьовує вимикаючи водонагрівач. Вода знову починає нагріватись.

3. Дослідити технологічні характеристики роботи електроводонагрівача. Заливають у водонагрівач воду заданої маси і досліджують процес її нагрівання. Для чого ставлять перемикач $SA1$ в положення P , вмикають автоматичний вимикач $SQ1$ і натискають на кнопку $SB2$. Через кожні 3 хв. нагрівання записують у табл. 16.4 покази термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ, амперметрів, вольтметра та трифазного лічильника електричної енергії. За отриманими результатами побудувати залежності $P = f(t)$ та $\theta = f(t)$.

Таблиця 16.4

Результати вимірів при нагріванні води

t	хв.	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
θ	$^{\circ}\text{C}$																					
I	А																					
U	В																					
P	Вт																					
W	кВт·г																					

4. За кривою зміни потужності, методом графічного інтегрування визначити кількість енергії необхідної для нагрівання води від початкової до кінцевої температури:

$$W_P = S_W \mu_t \mu_P,$$

де S_W – площа, в см^2 , що обмежена кривою зміни потужності при нагріванні води від початкової θ_{Π} до кінцевої θ_K температури та віссю абсцис; μ_t – масштаб по осі часу, $\text{с}/\text{см}$; μ_P – масштаб по осі потужності, $\text{Вт}/\text{см}$.

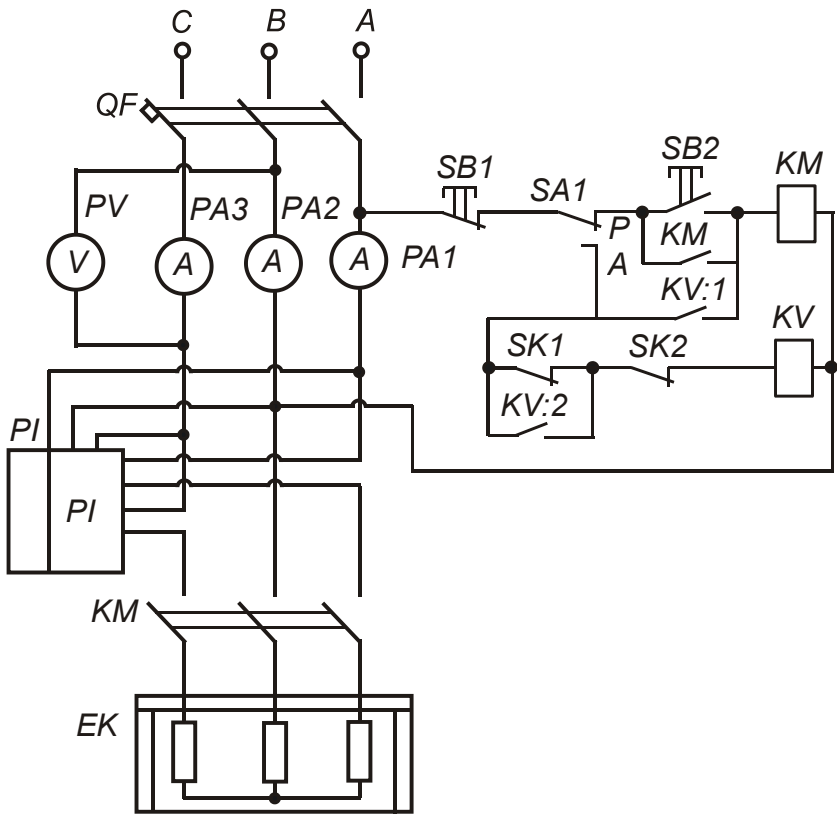
5. Визначити коефіцієнт корисної дії водонагрівача:

$$\eta = \frac{Cm(\theta_K - \theta_{\Pi})}{W},$$

де C – питома теплоємність води, $C = 4,19 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$;

m – маса води, що нагрівається, кг .

6. Визначити питома споживання електроенергії, $\text{кВт}\cdot\text{г}/\text{кг}$, на нагрівання води: $A = W/m$.



Мал. 16 – Електрична схема дослідження електроводонагрівача

7. Дослідити технологічні характеристики роботи електроводонагрівача в автоматичному режимі “Термос”. Заливають у водонагрівач воду заданої маси і досліджують процес її нагрівання. Для чого ставлять перемикач *SA1* в положення *A* і вмикають автоматичний вимикач *QF*. Записати у табл. 16.5 покази термосигналізатора ТКП-160Сг-УХЛ перед відключенням і в момент його повторного включення а також визначити час паузи.

Таблиця 16.5

Результати замірів роботи електроводонагрівача в автоматичному режимі

Температура відключення електронагрівача, °С	Температура повторного включення електронагрівача, °С	Час паузи, хв.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які переваги та недоліки електричних нагрівних пристроїв?
2. Які переваги та недоліки електродного способу нагрівання води?
3. Чому змінюється струм під час роботи непроточного електродного водонагрівача?
4. З якого матеріалу повинні виготовлятися електроди нагрівачів питної води?
5. Чи залежить ККД електроводонагрівачів від тривалості нагрівання?
6. Як визначити загальну кількість теплоти, що необхідна для нагрівання води, і чи залежить вона від часу?
7. Як побудовані та працюють трубчаті нагрівні елементи?
8. Чому електричні водонагрівачі під'єднують до водовідної мережі через гумові патрубки?

ПОРЯДОК ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити області застосування електронагрівних пристроїв у сільськогосподарському виробництві та способи перетворення електричної енергії у теплову	1
2	Вивчити будову, принцип роботи і методи розрахунку електродних та елементних електронагрівачів води, і сталених нагрівних елементів, а також методи регулювання їх потужності та температурного режиму електронагрівачів	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none">- назву та мету роботи;- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;- порядок проведення експерименту;- таблиці 16.4, 16.5;- електричні схеми: мал. 16.3.	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматизации. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С.50-54);
2. Автоматизация и автоматизация производственных процессов/И.И.

Мартиненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Акропромиздат, 1985. – 335с. (С.125-128);

3. Автоматизация сельскохозяйственного производства /В. В. Коцур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. _ К.: Урожай, 1988. – 168 с. (С.59 – 61);
4. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г. и др. – К.: Вища школа, 1984. – 248 с. (С.228-231).

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота № 9. Електричні джерела видимого випромінювання 3
2. Лабораторна робота № 10. Електричні джерела інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання..... 15
3. Лабораторна робота № 11. Дослідження електронагрівних пристроїв сільськогосподарського призначення..... 21

Навчальне видання

Ярошенко Леонід Вікторович

Електрообладнання та засоби автоматизації сільськогосподарських машин. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів спеціальності: 6.091902 – “Механізація сільського господарства”: В 5 ч. – Вінниця: ОЦ ВДАУ, 2004. - Ч. 5.: Застосування електричної енергії у сільському господарстві. – 43 с.

Коректор Дунаєва І. В.

Підписано до друку _____

Умовн. друк. арк. _____ Формат А5 (148,5 x 210 мм).

Наклад 200 прим.

Зам. № _____

Обчислювальний центр
Вінницького державного аграрного університету
21008, Вінницький р-н, с. Агрономічне, вул. Сонячна, 3