

## Лекція № 3-4

### Розрахунки і вибір технічних засобів електрифікації

#### План:

1. Розрахунок і вибір електроприводів;
2. Розрахунок і вибір освітлювальних та опромінювальних установок;
  - 2.1. Види і системи освітлення;
  - 2.2. Світильники;
  - 2.3. Розрахунок і проектування освітлення;
  - 2.4. Розрахунок і вибір установок для опромінення рослин за умов захищеного ґрунту;
  - 2.5. Розрахунок і вибір установок для ультрафіолетового опромінення;
  - 2.6. Розрахунок і вибір установок інфрачервоного та комбінованого опромінення;
3. Розрахунок та вибір електронагрівників;
  - 3.1. Розрахунок і вибір установок для нагрівання води;
  - 3.2. Електричне обігрівання в парниках і теплицях;
  - 3.3. Електричне обігрівання підлоги;
  - 3.4. Тепловий та електричний розрахунок електронагрівальних установок;
4. Розрахунки і вибір установок для застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві.

#### **1. Розрахунок і вибір електроприводів**

Електропривод – це електромеханічний пристрій для електрифікації та автоматизації робочих процесів. У загальному випадку електропривод складається з перетворювального, електрорушійного, передавального та керуючого пристроїв. В окремих випадках перетворювального і передавального пристроїв (або одного з них) електропривод може не мати.

Електропривод має якісно забезпечувати нормальне протікання технологічного процесу при розрахунковій продуктивності робочої машини і високій економічній ефективності. Раціональний електропривод слід вибирати за такими вимогами:

- найбільш повна відповідність електроприводу приводним характеристикам робочої машини (технологічним, кінематичним, механічним, інерційним та навантажувальним діаграмам);
- максимальне використання потужності електродвигуна в процесі роботи;
- відповідність елементів електропривода умовам навколишнього середовища;
- відповідність електропривода параметрам електромережі, від якої він живиться;

- прийнятний зовнішній вигляд, зручність і безпечність експлуатації.

Сучасні сільськогосподарські машини здебільшого поставляються комплексно з електроприводом. Тому лише в окремих випадках доводиться виконувати повний вибір електродвигуна за родом струму, величиною напруги, режимом роботи, електричною модифікацією, формою виконання за способом кріплення і конструкцією підшипникових вузлів, кліматичним виконанням, ступенем захисту від впливу зовнішнього середовища, частотою обертання та потужністю.

Частіше задача вибору електропривода зводиться до оцінки відповідності його робочій машині та мережі живлення. При цьому перевіряють таке:

- відповідність електропривода робочій машині за умовами пуску і забезпечення нормального протікання технологічного процесу за відомих параметрів живильної мережі;
- відповідність елементів електропривода умовам зовнішнього середовища;
- правильність вибору і налагодження апаратури керування і захисту;
- можливість забезпечення необхідного числа вмикань електродвигуна під час повторно-короткочасного режиму роботи.

Під час визначення відповідності електропривода робочій машині проводять його енергетичну оцінку.

Відповідність елементів електропривода умовам зовнішнього середовища визначають порівнюючи умови роботи електропривода з виконанням електрообладнання. Залежно від навколишнього середовища сільськогосподарські виробничі приміщення, в яких експлуатується електрообладнання, поділяють на такі категорії:

- *сухі* (відносна вологість не перевищує 60 %) – приміщення для обслуговуючого персоналу ферм, інкубаторів, обладнання для обробки яєць, приміщення для розміщення шаф, ящиків і пультів керування, опалювальні склади;

- *вологі* (відносна вологість більше як 60 %, але не перевищує 75 %, пара та волога, що конденсується, виділяються лише тимчасово і в невеликих кількостях) – неопалювані склади для негорючих матеріалів;

- *вогкі* (відносна вологість тривало перевищує 75 %) – молочні та доїльні зали, а також корівники, свинарники, телятники, пташники за наявності установок для створення мікроклімату;

- *особливо вогкі* (вологість повітря близька до 100 %) – кормоцехи для приготування вологих кормів, мийні відділення, парники, теплиці, зовнішні установки (під навісом);

- *приміщення з хімічно активним або органічним середовищем* (постійно або тривало містять агресивну пару, гази, рідини, утворюються відкладення або плісень, які руйнують ізоляцію і струмопровідні частини обладнання) – склади

хімічних добрив, приміщення для протруювання насіння, а також корівники, свинарники, телятники, пташники та інші тваринницькі приміщення за відсутності в них установок для створення мікроклімату;

- *запилені приміщення* (за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що осідає на проводи, проникає всередину машин і апаратів) – пункти післяжнивної обробки зерна та технічних культур, агрегати для приготування трав'яного борошна, комбікормові заводи, склади сипучих негорючих матеріалів тощо. Запилені приміщення поділяють на приміщення з струмопровідним пилом і з не струмопровідним пилом;

- *жаркі приміщення* (температура постійно або періодично більше доби становить 35 °С) – сушарки, котельні.

Приміщення можуть мати *пожежо-небезпечні зони*: класу П-I – склади горючих рідин з температурою спалаху вищою за 61 °С; класу П-II – приміщення, в яких виділяється горючий пил чи волокна з нижчою межею займання більш як 65 г/м<sup>3</sup> щодо об'єму повітря; П-IIIа – зони в приміщеннях, де перебувають тверді горючі речовини; П-IIIб – зони за межами приміщень, в яких є горючі рідини, що мають температуру спалаху більшу за 61 °С, або тверді горючі речовини.

Приміщення можуть мати вибухонебезпечні зони, в яких є або можуть утворюватись вибухонебезпечні суміші.

У кінці марок електротехнічних виробів проставляють літери і цифри, що позначають кліматичне виконання і категорію розміщення виробу згідно з ГОСТ 15150-69 (наприклад, У1, У2, У3 і т.д.).

Кліматичними факторами зовнішнього середовища є температура, вологість повітря, тиск повітря чи газу (висота над рівнем моря), сонячна радіація, дощ, вітер, пил (зокрема сніговий, різкі зміни температури, соляний туман, іній, гідростатичний тиск води, дія плісневих грибів, вміст у повітрі корозійно активних агентів).

Вироби, призначені для експлуатації на суші, ріках, озерах, мають такі *кліматичні виконання*: У – для макрокліматичних районів з помірним кліматом; ХЛ – для макрокліматичних районів з холодним кліматом; УХЛ – для макрокліматичних зон з помірним і холодним кліматом; ТВ і ТС – відповідно для макрокліматичних зон з тропічним вологим і тропічним сухим кліматом; Т – для макрокліматичних зон з тропічним сухим і тропічним вологим кліматом; О – для всіх макрокліматичних районів на суші (загально-кліматичне виконання).

*Категорії розміщення електрообладнання* позначають такими цифрами:

1 – для роботи на відкритому повітрі;

2 – для роботи у приміщеннях, де коливання температури і вологості повітря неістотно відрізняються від коливань на відкритому повітрі, наприклад у наметах, кузовах, причепах, металевих приміщеннях без теплоізоляції, а також у

кожухах комплектних пристроїв виробів категорії I або під навісом (відсутня пряма дія сонячної радіації і атмосферних опадів на виріб);

3 – для роботи у закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучного регулювання кліматичних умов, де коливання температури і вологості повітря, а також дія піску та пилу значно менші, ніж зовні, наприклад у металевих з теплоізоляцією, кам'яних, бетонних, дерев'яних приміщеннях (значне зменшення дій сонячної радіації, вітру, атмосферних опадів, відсутність роси);

4 – для роботи у приміщеннях з штучно регульованим мікрокліматом, наприклад у закритих з опаленням чи охолодженням і вентиляцією виробничих та інших, зокрема, підземних приміщеннях з доброю вентиляцією (відсутність прямої дії сонячної радіації, відсутність дії атмосферних опадів, вітру, а також піску та пилу зовнішнього повітря);

5 – для роботи у приміщеннях з підвищеною вологістю.

Електричні вироби сільськогосподарського призначення згідно з ГОСТ 19348-82 “Вироби електротехнічні сільськогосподарського призначення” мають виготовлятися у кліматичному виконанні У. До макрокліматичних районів з помірним кліматом відносяться райони, в яких середня із щорічних абсолютних максимумів температури повітря становить плюс 40 °С або нижча, а середня із щорічних абсолютних мінімумів температури повітря становить – 45 °С або вища.

Згідно з ГОСТ 14254-96 “Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (Код IP)” на оболонках виробів або табличках з паспортними даними проставляють літери IP, далі дві характеристичні цифри або символи X та за необхідності одну або дві додаткові літери (наприклад, IP23СН, IP54С, IPX1С, IP5X, IPXXС, IPX5/IPX7).

Перша цифра вказує на ступінь захисту персоналу від дотику до струмопровідних і рухомих частин обладнання під оболонкою, а також від потрапляння твердих сторонніх предметів, друга – ступінь захисту електрообладнання від потрапляння води під оболонку.

На першому місці після літер IP можуть стояти такі умовні цифрові позначення:

0 – відсутній захист персоналу від випадкового дотику до струмопровідних чи рухомих частин, що містяться під оболонкою, а також обладнання від потрапляння твердих сторонніх тіл;

1 – захист від випадкового дотику великої ділянки поверхні людського тіла до струмопровідних та рухомих частин, що містяться під оболонкою, та захист обладнання від потрапляння під оболонку твердих тіл, діаметр яких перевищує 52,5 мм;

2 – захист від випадкового дотику пальців до струмопровідних чи рухомих частин, що містяться під оболонкою, і захист обладнання від потрапляння твердих сторонніх тіл діаметром не менш як 12,5 мм;

3 – захист від зіткнення інструменту, дроту чи інших подібних предметів завтовшки понад 2,5 мм з струмопровідними або рухомими частинами дрібних твердих сторонніх предметів діаметром не менш як 2,5 мм;

4 – захист від зіткнення інструменту, дроту чи інших подібних предметів завтовшки понад 1 мм з струмопровідними частинами, що містяться під оболонкою, захист обладнання від потрапляння дрібних твердих сторонніх тіл завтовшки понад 1 мм;

5 – повний захист персоналу від випадкового дотику до струмопровідних чи рухомих частин, що містяться під оболонкою, і захист обладнання від шкідливих відкладень пилю;

6 – повний захист персоналу від випадкового дотику до струмопровідних чи рухомих частин, що містяться під оболонкою, і повний захист обладнання від потрапляння пилю;

X – за відсутності в нормуванні вказаного захисту.

Друга цифра розшифровується так:

0 – обладнання, не захищене від проникнення води всередину оболонки;

1 – захист від крапель сконденсованої води. Краплі сконденсованої води, що падають вертикально на оболонку, не повинні шкідливо діяти на обладнання, що міститься під оболонкою;

2 – захист від крапель води, що падають на оболонку, нахилену під кутом 15° щодо вертикалі. Краплі не повинні шкідливо діяти на обладнання, що міститься під оболонкою;

3 – захист від дощу. Дощ, що падає на оболонку, нахилену під кутом не більш як 60° щодо вертикалі, не повинен шкідливо діяти на обладнання, що міститься під оболонкою;

4 – захист від бризок, що падають під будь-яким кутом. Бризки не повинні шкідливо діяти на обладнання, що міститься під оболонкою;

5 – захист від струменів води. Водною із брансбойту з насадкою поливають оболонку за умов, що зазначені в стандартах чи технічних умовах на окремі види електрообладнання, при цьому вода не повинна шкідливо впливати на обладнання, що міститься під оболонкою;

6 – захист від впливів, характерних для палуби корабля (включаючи палубне водонепроникне обладнання). При заливанні морською хвилею вода не повинна проникати під оболонку за умов, що зазначені в стандартах чи технічних умовах на окремі види електрообладнання;

7 – захист при зануренні у воду на час, передбачений стандартами або технічними умовами на окремі види електрообладнання. Вода не повинна проникати під оболонку;

8 – захист від необмежено тривалого занурення у воду при тиску, що зазначений в стандарті чи технічних умовах на окремі види електрообладнання. Вода не повинна проникати під оболонку;

X – за відсутності в нормуванні вказаного захисту.

Додаткові літери застосовуються для визначення захисту від доступу до небезпечних частин:

A – захист від доступу тильної сторони руки або щупом діаметром 50 мм;

B – захист від доступу пальцем руки або щупом діаметром 12 мм;

C – захист від доступу інструментом або щупом діаметром 2,5 мм;

D – захист від доступу дротом або щупом діаметром 1,0 мм.

Допоміжні літери застосовуються для надання додаткової інформації про небезпечні фактори:

H – високовольтні апарати;

M – шкідлива дія від потрапляння води під оболонку для обладнання з рухомими частинами, які знаходяться в стані руху;

S – шкідлива дія від потрапляння води під оболонку для обладнання з рухомими частинами, які знаходяться в нерухомому стані.

Додаткові літери використовують лише в тих випадках, коли дійсний захист від доступу до небезпечних частин вище захисту, який вказаний першою характеристичною цифрою або якщо позначений тільки захист від доступу до небезпечних частин, а перша характеристична цифра замінена символом X.

Згідно з ГОСТ 19348-82 “Вироби електротехнічні сільськогосподарського призначення” оболонки низьковольтних комплектних пристроїв повинні мати ступінь захисту: IP23, IP30, IP31, IP41, IP44, IP51, IP54 та IP55. Рекомендовані для сільськогосподарського виробництва типи електродвигунів наведено в табл. 4.1.

Технічні характеристики електродвигунів серії АІР основного та сільськогосподарського виконань наведені в додатках 8 і 9.

Допустиме число вмикань електродвигуна за годину визначають за формулою:

$$Z_{\text{дон}} = 2250 \frac{(1 - \varepsilon)(1 + \alpha)}{K_i^2 \cdot t_{\text{розг.дон}}},$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт відносної тривалості вмикання електродвигуна (відношення часу роботи до часу циклу);  $\alpha$  – коефіцієнт втрат (відношення постійних втрат до змінних втрат електродвигуна);  $K_i$  – кратність пускового струму;  $t_{\text{розг.дон}}$  – допустимий час розгону електродвигуна.

Для енергетичної оцінки електропривода визначають коефіцієнт завантаження, коефіцієнт потужності та питому витрату електроенергії на виробництво одиниці продукції. Коефіцієнт завантаження електродвигунів, що працюють у тривалому режимі, повинен задовольняти такі умови:

$$0,7 < K_{заг} \leq 1.$$

(4.2)

Таблиця 4.1 – Електродвигуни, рекомендовані для застосування у сільськогосподарському виробництві

Електродвигуни	Приміщення
1. Асинхронні основного виконання серії АИ...УЗ	Сухі і вологі
2. Асинхронні серії АИР...КРУЗ для короткочасного режиму роботи	Те саме
3. Асинхронні серії АИРС...УЗ	Те саме
4. Асинхронні серії АИ...БСУ2 сільськогосподарського виконання з вбудованим температурним захистом	Вологі, особливо вологі і для установок під навісом
5. Асинхронні серії АИ...ЗБСУ2 з вбудованим датчиком температури і прибудованим електронним блоком температурного захисту	Те саме
6. Асинхронні серії АИР...КРУ2 для короткочасного режиму роботи	Те саме
7. Асинхронні серії АИРС...У2 з підвищеним ковзанням	Те саме
8. Асинхронні серії АИРП...У2 для приводу вентиляторів тваринницьких і птахівницьких комплексів	Те саме
9. Асинхронні багато-швидкісні серії АИР112...УХЛ1 та АИР132...УХЛ1	Особливо вологі з хімічним або органічним середовищем
10. Асинхронні серії АИР...КРБСУ1 з температурним захистом для короткочасного режиму роботи	Те саме
11. Асинхронні серії АИРП80А8/4СУ2 для приводу вентиляторів тваринницьких і птахівницьких комплексів	Те саме

Розробляючи схеми централізованого керування потоковою лінією, передбачають ручне і автоматичне керування. Ручне керування забезпечує пуск і зупинку кожного електродвигуна окремо. Автоматичне керування забезпечує автоматичний пуск машин і механізмів у напрямі, зворотному потоку продукту, а зупинку – у напрямі руху продукту. При цьому робота машин вхолосту і з недовантаженням має бути зведена до мінімуму. У разі зупинки однієї з машин автоматично вимикатимуться всі інші, що їй передують, а наступні машини вимикатимуться лише після переробки матеріалу, який у них залишився.

Керування потоковою лінією здійснюється з пульта або щита керування. На пульті (щиті) керування розміщують засоби контролю і керування. Для полегшення роботи оператора на фасаді передньої панелі щита або на похилій панелі пульта розміщують спрощену схему технологічного процесу

(мнемосхему). Передбачають звукову та світлову сигналізацію, яка виконує контроль за станом машин і попереджає обслуговуючий персонал про порушення нормального ходу технологічного процесу.

У сучасному електроприводі сільськогосподарських машин і агрегатів широко використовують комплектні пристрої керування - блоки, шафи, ящики, пульти, станції тощо.

Умовне позначення низьковольтних комплектних пристроїв керування за ОСТ 16.0.800.876-81 розшифровується так:

Перший знак – літера – характеристика за конструкцією (Б – блок, П – панель, Ш – шафа, Щ – щит відкритий, Я – ящик, С – пульт).

Другий знак – цифра – позначення класу, наприклад: 5 – керування трифазними асинхронними електродвигунами із короткозамкненим ротором; 6 – те саме, але для двигунів з фазним ротором; 7 – керування синхронними машинами; 8 – вводу та розподілу електроенергії; 9 – автоматичного регулювання та керування спеціальними електроприводами.

Третій знак – цифра – позначення групи в певному класі.

Наприклад, в класі 5 в такі групи: 1 – прямий пуск електродвигуна без реверсування та електричного гальмування; 4 – прямий пуск двигуна, реверсування, гальмування проти вмикання; 6 – прямий пуск, без реверсування чи з реверсуванням, з динамічним гальмуванням; 7 – керування багато-швидкісними двигунами; 8 – пуск двигуна при зниженій напрузі, регулювання швидкості зміною напруги на статорі; 9 – керування кількома двигунами; 0 – з іншими особливостями, відмінними від вищезазначених.

Четвертий і п'ятий знаки – цифри – порядковий номер розробки в межах однієї групи.

Шостий і сьомий знаки – цифри – позначення за номінальною силою струму головних кіл: 26-4А; 30-10А; 32-16А; 34-25А; 36-40А; 38-63А; 40-100А; 42-160А; 44-250А.

Восьмий знак – цифра або літера – умовне позначення за номінальною напругою головного кола (4-220В, 7-380 В, А-660 В змінного струму).

Дев'ятий знак – цифра або літера – позначення напруги кіл керування (Б-12В, 3-24В, Г-36В, А-48В, 1-110В, 2-220 В постійного струму; Л-36В, М-42В, 3-110В, Н-127В, 4-220В, 7-380 В змінного струму).

Десятий і одинадцятий знаки – кліматичне виконання та категорія розміщення.

Наприклад, шафа керування електроприводами кормоцеху КОРК-15 має позначення Ш5926-4674УХЛ4 і розшифровується так:

Ш – шафа; 5 – клас керування трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором; 9 – група (керування кількома електродвигунами); 26 – порядковий номер розробки; 46 – позначення



номінальної сили струму (400А); 7 – номінальна напруга головного кола (380 В); 4 – номінальна напруга кіл керування (220 В); УХЛ4 – кліматичне виконання і категорія розміщення за ГОСТ 15150-69.

Для приводу робочих машин і механізмів, що розробляється у курсовому або дипломному проекті, електродвигуни вибирають за родом струму, величиною напруги, режимом роботи, електричною модифікацією, формою виконання (способом кріплення і конструкцією підшипникових вузлів), кліматичним виконанням, ступенем захисту від впливу зовнішнього середовища, частотою обертання та потужністю.

Для машин, що мають тривалий режим роботи з постійним або мало змінним навантаженням, розрахункову потужність електродвигуна визначають за формулою:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{м}} / \eta_{\text{пер}}, \quad (4.3)$$

де  $P_{\text{м}}$  – потужність, потрібна на валу машини, кВт;  $\eta_{\text{пер}}$  – ККД передачі.

Розрахункову потужність для насоса визначають за формулою:

$$P_{\text{дв}} = \frac{Q_{\text{н.ном}} H_{\text{н.ном}} \gamma g K_{\text{зан}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{пер}}} 10^{-3}, \quad (4.4)$$

де  $Q_{\text{н.ном}}$  – номінальна подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H_{\text{н.ном}}$  – номінальний напір, м;  $\gamma$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\eta_{\text{н}}$  – номінальний ККД насоса;  $K_{\text{зан}}$  – коефіцієнт запасу потужності (беруть при потужності: до 0,75 кВт – 2; від 0,75 до 1,5 – 1,5; від 1,5 до 3,5 – 1,2; від 3,5 до 35 – 1,15 і при потужності понад 35 кВт – 1,1).

Розрахункову потужність для вентилятора визначають за формулою:

$$P_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{в.ном}} P_{\text{в.ном}} K_{\text{зан}}}{\eta_{\text{в}} \eta_{\text{пер}}} 10^{-3}, \quad (4.5)$$

де  $L_{\text{в.ном}}$  – номінальна подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $P_{\text{в.ном}}$  – номінальний тиск вентилятора, Па;  $K_{\text{зан}}$  – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна (для електродвигунів осьових  $K_{\text{зан}} = 1,1$ ; для електродвигунів відцентрових вентиляторів приймають: при розрахунковій потужності до 0,5 кВт – 1,5; від 0,5 до 1,0 кВт – 1,3; від 1,0 до 2,0 – 1,2; від 2,0 до 3,0 кВт – 1,15);  $\eta_{\text{в}}$  – номінальний ККД вентилятора.

Для визначення фактичної потужності, потрібної на валу насоса (вентилятора), слід враховувати розбіжність між номінальною і фактичною частотами обертання. Перерахування основних параметрів насосів і вентиляторів виконують за формулами:

$$Q = Q_{\text{ном}} (n/n_{\text{ном}}); H = H_{\text{ном}} (n/n_{\text{ном}})^2 \quad (4.6)$$

$$M_{\text{с}} = M_{\text{с.н.н}} (n/n_{\text{ном}})^2, P_{\text{сп.но}} = P_{\text{сп.но}} (n/n_{\text{ном}})^3 \quad (4.7)$$

де  $n_{\text{ном}}$ ,  $n$  – відповідно номінальна і фактична частоти обертання насоса (вентилятора);  $Q_{\text{ном}}$ ,  $Q$  – відповідно номінальна і фактична продуктивність;  $M_{\text{с.ном}}$ ,

$M_c$  – відповідно номінальний і фактичний моменти статичних спорів;  $P_{cn\text{ ном}}$ ,  $P_{cn}$  – потужності, споживані вентилятором (насосом) за номінальної і фактичної частот обертання.

Для приводу вакуум-насоса потужність електродвигуна визначається за формулою, кВт:

$$P_{\partial\partial} = \frac{Q_{в.н}h}{\eta_{в.н}\eta_{пер}} 10^{-3},$$

де  $Q_{в.н}$  – подача вакуум-насоса, м<sup>3</sup>/с;  $h$  – вакуум, створюваний вакуум-насосом, Па;  $\eta_{в.н}$  – ККД вакуум-насоса.

Потужність електродвигуна для приводу транспортувальних машин здебільшого визначають методом наближених розрахунків. Так, для скребкових, стрічкових і гвинтових конвеєрів розрахунки виконують за формулою:

$$P_{\partial\partial} = \frac{Q_{кв}K_{ем}(K_{он}L\cos\alpha + H)}{376\eta_{кв}\eta_{пер}},$$

де  $Q_{кв}$  – продуктивність конвеєра, т/год.;  $K_{ем}$  – коефіцієнт втрат потужності під час пуску конвеєра (наближено можна брати: для скребкових конвеєрів – 1,8; стрічкових – 1,4; гвинтових – 1,1);  $K_{он}$  – загальний коефіцієнт опору переміщенню матеріалу (для скребкових конвеєрів – 2,0; стрічкових – 0,15; гвинтових при транспортуванні зерна – 1,85);  $L$  – довжина конвеєра, м;  $H$  – висота підйому матеріалу конвеєром, м;  $\eta_{кв}$  – ККД конвеєра.

Для машин, що мають тривалий режим зі змінним навантаженням, потужність приводного електродвигуна за умовами нагрівання вибирають користуючись методом середніх втрат або методами еквівалентних струму, моменту чи потужності.

Під час пуску асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором споживають струм у кілька разів вищий за номінальний. Цей струм спричинює в трансформаторі та мережі додаткові втрати напруги. Момент, який розвиває асинхронний електродвигун, пропорційний квадрату підведеної напруги. Напруга може спадати настільки, що двигун не зможе запуститись. Тому електромережі напругою 0,38 кВ перевіряють за умовами пуску асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Електромережа має забезпечувати нормальний пуск кожного електродвигуна та стійку роботу під час пуску всіх інших, раніше ввімкнених, електродвигунів.

Пуск електродвигуна і нормальна робота раніше ввімкнених електродвигунів будуть можливі за таких умов:

$$\Delta U_{фак} \leq \Delta U_{дон} \text{ і } \Delta U_{фак.пр} \leq \Delta U_{дон.пр}, \quad (4.8)$$

де  $\Delta U_{фак}$   $\Delta U_{фак.пр}$  – відповідно спад напруги на затискачах електродвигуна під час його пуску і на затискачах працюючих електродвигунів;  $\Delta U_{дон}$   $\Delta U_{дон.пр}$  –

відповідно допустимий спад напруги на затискачах електродвигуна, що запускається, і на затискачах працюючих електродвигунів, %.

На затискачах електродвигуна під час пуску спад напруги дорівнює:

$$\Delta U = U_{ном} - U_{пус}; \quad (4.9)$$

у відсотках від його номінального значення визначається як:

$$\Delta U = (1 - U_{пус} / U_{ном}) 100, \quad (4.10)$$

де  $U_{пус}$  – напруга на затискачах електродвигуна на початку пуску, В.

Момент електродвигуна пропорційний квадрату напруги:

$$(U_{пус} / U_{ном})^2 = M_{пус} / M_{пус.ном} \quad (4.11)$$

де  $M_{пус}$  – пусковий момент, який розвиває електродвигун на початку пуску;  $M_{пус.ном}$  – номінальне значення пускового моменту.

Для запуску електродвигуна потрібно, щоб виконувалася умова:

$$M_{пус} \geq M_{зр} + M_{над}, \quad (4.12)$$

де  $M_{зр}$  – момент зрушення робочої машини, Н·м;  $M_{над}$  – надлишковий момент електродвигуна, потрібний для забезпечення необхідного прискорення агрегату під час пуску, Н·м.

Максимальне допустиме значення напруги, відсоток, на затискачах електродвигуна дістанемо, підставивши в формулу (4.10) замість напруг моменти з формул (4.11) та (4.12):

$$\Delta U_{доп} = \left( 1 - \sqrt{\frac{M_{зр} + M_{над}}{M_{пуск.ном}}} \right).$$

Надлишковий момент беруть рівним 20–30 % від номінального моменту  $M_{ном}$ .

Номінальне значення пускового моменту визначаємо за формулою:

$$M_{пус} = \mu_{пус} M_{ном}, \quad (4.14)$$

де  $\mu_{пус}$  – каталожна кратність пускового моменту електродвигуна.

Для працюючих електродвигунів:

$$\Delta U_{доп.пр} = \left( 1 - \sqrt{\frac{M_{макс.нав}}{M_k}} \right),$$

де  $M_{макс.нав}$  – максимальний момент навантаження за навантажувальною діаграмою двигуна, Н·м;  $M_k$  – каталожний максимальний (критичний) момент електродвигуна.  $M_k = \mu_{макс} M_{ном}$ , де  $\mu_{макс}$  – каталожна кратність максимального моменту електродвигуна.

На затискачах електродвигуна під час пуску спад напруги визначаємо за формулою, відсоток:

$$\Delta U_{фак} = \Delta U_{фак.л} + \Delta U_{тр} - \Delta U_{над} \pm \Delta U_{шпн}, \quad (4.16)$$

де  $\Delta U_{фак.л}$  – втрати напруги у попередньо завантаженій лінії під час пуску електродвигуна, відсоток;  $\Delta U_{тр}$  – втрата напруги у трансформаторі, відсоток;

$\Delta U_{над}$  – надбавка напруги трансформатора, відсоток;  $\Delta U_{шпн}$  – відхилення напруги на шинах первинної напруги трансформатора (знак “–” беруть при позитивному відхиленні), відсоток.

У попередньо завантаженій лінії під час пуску електродвигуна втрата напруги складає, відсоток:

$$\Delta U_{фак.л} = \Delta U_1 + Z_l / (Z_l + Z_{дв} ) 100, \quad (4.17)$$

де  $Z_l = \sqrt{R_l^2 + X_l^2}$  - повний опір лінії, Ом;  $\Delta U_1$  – втрата напруги на лінії до пуску електродвигуна, Ом.

Параметри  $\Delta U_1$  , %, і  $Z_{дв}$  , %, визначають за такими формулами:

$$\Delta U_1 = \frac{\sqrt{3} I_{макс} l (R_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_{ном}} 100;$$

$$Z_1 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{ном} k_i},$$

$$I_{макс} = \frac{S_{роз}}{\sqrt{3} U_{ном}}$$

де  $I_{макс}$  – максимальний струм у лінії перед пуском електродвигуна, А;  $S_{роз}$  – розрахункове навантаження лінії без електродвигуна, що запускається, В·А;  $l$  – довжина лінії, км;  $R_0$ ,  $x_0$  – відповідно активний і реактивний опори одного кілометра лінії, Ом/км;  $\cos \varphi$  – середньозважене значення коефіцієнта потужності навантаження;  $U_{ном}$  – номінальна напруга лінії, В;  $K_i$  – кратність пускового струму електродвигуна;  $I_{ном}$  – номінальний струм електродвигуна, А.

Значення  $\Delta U_{над}$  і  $\Delta U_{шпн}$  беруть з таблиці відхилень напруги у споживачів, яку складають під час розрахунку електричних мереж (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Відхилення напруги у споживачів

Елементи схеми електропостачання	Відхилення і втрати напруги у споживачів під час навантаження, %	
	100	25
Шини підстанції 35/10 кВ	+5	0
Повітряна лінія	-6	-1,5
Трансформатор 10/0,4 кВ:		
а) втрати	-4	-1
б) постійна надбавка	+5	+5
в) регульована надбавка	+2,5	+2,5
Витрати напруги в лінії 0,38 кВ	-7,5	0
Допустиме відхилення напруги у споживачів	-5	+5
Відхилення напруги у споживачів	-5	+5

Втрату напруги у трансформаторі під час пуску електродвигуна, відсоток, з урахуванням впливу інших приєднаних до трансформатора електроприймачів розраховують за формулою:

$$\Delta U_{MP} = \frac{100}{S_K} \sqrt{(K_{\text{фак}} S_{\text{дв}} \cos \varphi_{\text{пус}} + S_{\text{нає}} \cos \varphi_{\text{нає}})^2 + (K_{\text{фак}} S_{\text{дв}} \sin \varphi_{\text{пус}} + S_{\text{нає}} \sin \varphi_{\text{нає}})^2}$$

де  $S_K$  – потужність короткого замикання трансформатора, кВ·А;  $K_{\text{фак}}$  – фактична кратність пускового струму електродвигуна з урахуванням впливу джерела живлення і лінії;  $S_{\text{дв}}$  – номінальна повна потужність електродвигуна, кВ·А;  $\cos \varphi_{\text{пус}}$  – коефіцієнт потужності електродвигуна в перший момент пуску;  $S_{\text{нає}}$  – сумарна потужність інших споживачів, приєднаних до шин низької напруги трансформатора, кВ·А;  $\cos \varphi_{\text{нає}}$  – середньозважене значення коефіцієнта навантаження інших споживачів.

Величини  $S_K$ ,  $\cos \varphi_{\text{пус}}$  і  $K_{\text{фак}}$  визначають за формулами:

$$S_K = \frac{100 S_{\text{ном}}}{U_K};$$

$$\cos \varphi_{\text{пус}} = \frac{\eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}} (\mu_{\text{пус}} + 0,025 k_i^2)}{(1 - S_{\text{ном}}) k_i};$$

$$K_{\text{фак}} = \frac{100 k_i}{100 + U_K k_i} \frac{Z_{\text{дв}}}{\frac{S_{\text{дв}}}{S_{\text{ном}} Z}},$$

де  $S_{\text{ном}}$  – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;  $\eta_{\text{ном}}$ ,  $\cos \varphi_{\text{ном}}$  – відповідно номінальні значення ККД і коефіцієнта потужності електродвигуна;  $k_i$  – кратність пускового моменту електродвигуна;  $S_n$  – номінальне ковзання електродвигуна;  $Z$  – повний опір кола електрична лінія – обмотки електродвигуна дорівнює:

$$Z = \sqrt{(R_{\text{дв}} + R_L)^2 + (X_{\text{дв}} + X_L)^2},$$

де  $X_{\text{дв}}$  і  $R_{\text{дв}}$  – відповідно реактивна і активна складові повного опору короткого замикання електродвигуна ( $R_{\text{дв}} = Z_{\text{дв}} \cos \varphi_{\text{пус}}$ ;  $X_{\text{дв}} = Z_{\text{дв}} \sin \varphi_{\text{пус}}$ );  $R_L$  і  $X_L$  – відповідно активний і реактивний опори лінії.

Якщо умови перевірки не виконуються, то слід збільшити поперечні перерізи проводів або зменшити відстань між джерелом живлення (силовим трансформатором) і споживачем.

## **2. Розрахунок і вибір освітлювальних та опромінювальних установок**

### **2.1. Види і системи освітлення**

*Штучне освітлення* виробничих приміщень поділяють на такі види: робоче, аварійне (для продовження роботи), безпеки (для евакуації людей) і охоронне (для територій).

*Робоче освітлення* – це основний вид освітлення, що забезпечує потрібну освітленість робочих площин. З робочого освітлення може бути виділено до 10 %

світильників для чергового освітлення в приміщеннях, у яких потрібно вночі періодично спостерігати за тваринами, птицею тощо.

*Аварійне освітлення* обладнують у приміщеннях, у яких аварійне вимикання робочого освітлення і пов'язане з цим порушення нормального обслуговування обладнання і механізмів може спричинити: вибух, пожежу, отруєння людей; тривале порушення технологічного процесу; небезпеку масового травматизму в місцях великого скупчення людей; порушення нормального обслуговування хворих; порушення роботи особливо важливих об'єктів (електростанцій, вузлів радіопередач і зв'язку, диспетчерських пунктів, насосних установок водопостачання тощо).

Найменша освітленість за аварійного освітлення має становити 5 % від освітленості, що нормується для робочого освітлення, але не менш як 5 лк всередині приміщень і не менше одного для територій підприємств.

Існують системи загального, місцевого і комбінованого освітлення.

Штучне освітлення виконується системою загального освітлення або системою комбінованого, коли до загального освітлення додається місцеве.

*Загальне освітлення* поділяють на *загальне рівномірне* і *загальне локалізоване* (виконується з урахуванням розташування обладнання).

*Місьцеве освітлення* обладнують на окремих робочих машинах, щитах і пультах керування. Застосування лише місцевого освітлення всередині приміщень не дозволяється.

Потрібна освітленість у приміщеннях створюється за допомогою світильників з лампами розжарювання, люмінесцентними лампами або газорозрядними лампами високого тиску та світлодіодними лампами. При цьому слід віддавати перевагу люмінесцентним та світлодіодним лампам.

Найменша освітленість робочих площин має відповідати нормам, наведеним у ДБН В 2.5.28-2006 "Природне і штучне освітлення", або галузевим нормам. Освітлення робочих площин нормується окремо для освітлення лампами розжарювання і люмінесцентними лампами, до того ж норми для люмінесцентного освітлення в 2–2,5 рази вищі, ніж для ламп розжарювання.

Для зменшення нерівномірності освітленості робочої поверхні застосовують систему комбінованого освітлення зі встановленням світильників місцевого та загального освітлення. Згідно з діючими нормами і правилами, світильники загального освітлення мають створювати на робочих поверхнях не менш як 10 % освітленості, що передбачена для даного виду робіт.

Діючими нормами і правилами осліплювальна дія освітлення обмежується висотою підвішування світильників над розрахунковою поверхнею залежно від захисного кута, типу відбивача і потужності лампи. Дані про висоту підвішування різних типів світильників наведено в довідковій літературі.

У приміщеннях з постійним перебуванням людей світильники з люмінесцентними лампами повинні мати захисний кут на менш як  $15^\circ$ . Для загального освітлення приміщень не дозволяється застосовувати світильники з захисним кутом, меншим за  $10^\circ$ , без розсіювача із лампами розжарювання в прозорій колбі.

## **2.2. Світильники**

*Світильник* – це освітлюваний прилад, що здійснює перерозподіл світлового потоку лампи всередині значних тілесних кутів.

Світильник складається з джерела світла і освітлюваної арматури.

Основними світлотехнічними характеристиками світильників є криві сили світла, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт корисної дії (ККД) та захисний кут.

Кожен світильник має своє умовне позначення, структуру якого розшифровують так: 1 2 3 4-5 6-7-8, де

1 – літера, що означає джерело світла: Н – лампи розжарювання загального призначення; С – лампи світильники (дзеркальні, та дифузні); И – кварцові галогенні (лампи розжарювання); Л – прямі трубчасті люмінесцентні лампи; Ф – фігурні люмінесцентні лампи; З – еритемні люмінесцентні лампи; Р – ртутні лампи типу ДРЛ; Г – ртутні лампи типу ДРИ; Ж – натрієві лампи; Б – бактерицидні лампи; К – ксенонові трубчасті лампи;

2 – літера, що вказує на спосіб встановлення світильника: С – підвісні; П – стельові; Б – настінні; Н – настільні; Т – такі, що розміщуються на підлозі; В – вмонтовані; К – консольні; Р – ручні, що вмикаються в мережу; Ф – ручні, які живляться від акумуляторів; Г – такі, що розміщуються на голові; Д – прибудовані;

3 – літера, що означає основне призначення світильника: П – для промислових підприємств; Р – для копалень та шахт; О – для громадських будинків; Б – для жилих (побутових) приміщень; У – для зовнішнього освітлення (вулиці, площі і т. п.);

4 – двозначне число, що означає номер серії;

5 – цифра (цифри), що вказує на кількість ламп у світильнику (цифра 1 не вказується);

6 – цифра, що вказує на потужність ламп, Вт;

7 – тризначне число (001–999) номер модифікації;

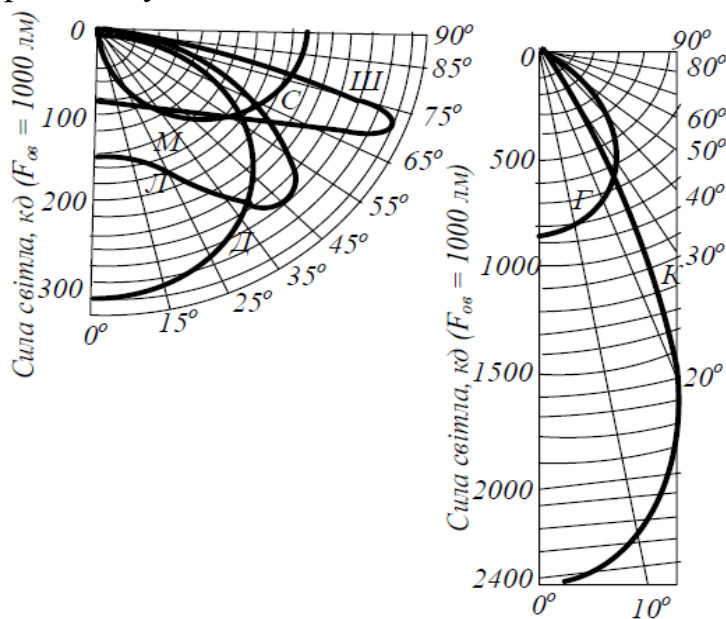
8 – літера і цифра, що означають кліматичне виконання і категорію розміщення світильників (кліматичне виконання У і категорію розміщення 4 можна не зазначати).

Допускається поряд з умовним позначенням присвоювати світильникам власні умовні назви, які проставляють після умовного позначення світильника (наприклад, “Астра-1”).

Світильники поділяють на класи залежно від того, яку частку всього потоку світильника становить потік нижньої напівсфери, а саме:

- прямого світла (П) – потік нижньої напівсфери становить понад 80%;
- переважно прямого світла (Н) – 60–80;
- розсіяного світла (Р) – 40–60;
- переважно відбитого світла (В) – 20–40
- і відбитого світла (О) – менш як 20%.

*Криві сили світла* світильника – це побудовані в полярній системі координат графіки залежності сили світла від напрямку світлового потоку, який характеризується кутом між напрямом світлового потоку і віссю симетрії світильника (рис. 4.1). Криві сили світла світильника у будь-яких меридіональних площинах у верхній і нижній напів-сферах, розбиті на сім типів і позначені відповідними літерами: К – концентрована; Г – глибока; Д – косинуса; Л – напівширока; Ш – широка; М – рівномірна і С – синусна. Світильники, криві сили світла яких не відповідають наведеним типам, є світильниками спеціального світлорозподілу.



К – концентрована; Г – глибока; Д – косинусна; Л – напівширока; Ш – широка; М – рівномірна; С – синусна

Рис. 4.1. Типи кривих сили світла для світлового потоку світильника з умовною лампою 1000 лм:

*Коефіцієнт корисної дії* світильника – це відношення світлового потоку світильника до світлового потоку джерела світла. Найбільш поширені світильники мають ККД від 0,6 до 0,85.

Під *коефіцієнтом підсилення* розуміють відношення максимальної сили світла до середньої сферичної сили світла джерела світла.

*Захисним* називають кут між горизонталлю, яка проходить через тіло розжарювання лампи, і лінією, що з'єднує крайню точку тіла розжарювання з



протилежним краєм відбивача. Світильники з люмінесцентними лампами характеризуються двома значеннями захисного кута: у поперечній, перпендикулярній до лампи, і повздовжній площинах:

$$I_{\text{ср.сф}} = \Phi_{\text{л}} / 4\pi, \quad (4.25)$$

де  $\Phi_{\text{л}}$  – світловий потік вимірювальної лампи.

Для освітлення територій і робочих місць на відкритому просторі часто використовують прожектори. Від світильника прожектор відрізняється значно більшою концентрацією світлового потоку джерела світла.

Тип світильника для приміщень вибирають на підставі таких чинників: умов середовища, вимог до світлорозподілу і зменшення осліплювальної дії, економічних і естетичних вимог.

### **2.3. Розрахунок і проектування освітлення**

Проектування освітлення об'єктів різного призначення здійснюють на підставі нормативних вимог БНіП 11-4-79 “Природне і штучне освітлення”, “Правил влаштування електроустановок” (ПУ), “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів” та “Галузевих норм освітлення сільськогосподарських підприємств, будівель і споруд”.

Спочатку ознайомлюються з характеристикою об'єктів і з'ясовують необхідні параметри приміщень (площу, довжину, ширину, висоту, особливості технологічного процесу, характер навколишнього середовища, коефіцієнт відбиття стін, стелі та підлоги, умови електропостачання). Потім вибирають тип джерела світла, систему освітлення, тип світильників і мінімальну нормовану освітленість для кожного приміщення.

Для освітлення виробничих приміщень з мінімальною температурою повітря не нижче мінус 5 °С (приміщення для утримання тварин і птахів, лабораторії, майстерні тощо) рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи низького тиску (ЛБ, ЛХБ, ЛБР, ЛД, ЛДЦ) або лампи розжарювання (Б, БК, Г). Для освітлення кормоцехів, складських приміщень, в яких постійно не перебувають люди, для аварійного освітлення тощо застосовують лампи розжарювання (В, Б, Г). Для освітлення проїздів, виробничих майданчиків тощо застосовують ртутні лампи високого тиску (ДРЛ, ДРИ) і лампи розжарювання галогенні (КГ) та загального призначення (Г).

Розрахунок освітлення проводять методами коефіцієнта використання світлового потоку, питомої потужності та точковим.

Дані розрахунків зводять у світлотехнічну відомість (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Світлотехнічна відомість

Номер на плані	Найменування приміщення	Площа, м <sup>2</sup>	Висота, м	Клас за умовами навколишнього середовища	Коефіцієнт відбиття			Система освітлення	Вид освітлення	Нормована освітленість, лк
					стін	стелі	підлоги			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продовження таблиці 4.3

Коефіцієнт запасу	Світильник		Лампи		Штепсельні розетки чи понижувальні трансформатори		Встановлена потужність приладів, Вт	Примітка
	тип	число	тип	потужність, Вт	число	тип і потужність, В·А		
12	13	14	15	16	17	18	19	20

Метод коефіцієнта використання світлового потоку застосовують під час розрахунку загального рівномірного освітлення закритих приміщень за відсутності істотних затінювачів. За питомою потужністю розраховують загальне рівномірне освітлення незаставлених приміщень у тих випадках, коли в довідковій літературі є відповідні таблиці питомої потужності.

Точковий метод використовують для розрахунку зовнішнього і місцевого освітлення, а також для перевірки освітленості в окремих точках робочої поверхні закритих приміщень.

Під час розміщення світильників враховують архітектурні особливості приміщення, розміщення вікон, будівельних конструкцій, технологічного обладнання тощо.

Світильники загального освітлення розміщують локалізовано або рівномірно.

Під час локалізованого розміщення світильники розташовують вздовж технологічних проходів, над окремими групами робочих місць тощо.

Під час рівномірного розміщення світильники з точковими джерелами світла розташовують у вершинах квадратів (зі стороною квадрата  $L$ ) або прямокутників (із сторонами  $L_a$  і  $L_b$ ) (рис. 4.2). Для прямокутних площин рекомендується брати  $L_a:L_b \leq 1,5$ . У вузьких приміщеннях застосовують однорядне розміщення світильників.

Світильники з люмінесцентними лампами рекомендується встановлювати рядами. Відстань між світильниками визначають за формулою:

$$L = \lambda h_p, \quad (4.26)$$

де  $\lambda$  – відносна відстань між світильниками;  $h_p$  – розрахункова висота підвішування світильника (відстань від світильника до розрахункової поверхні), м.

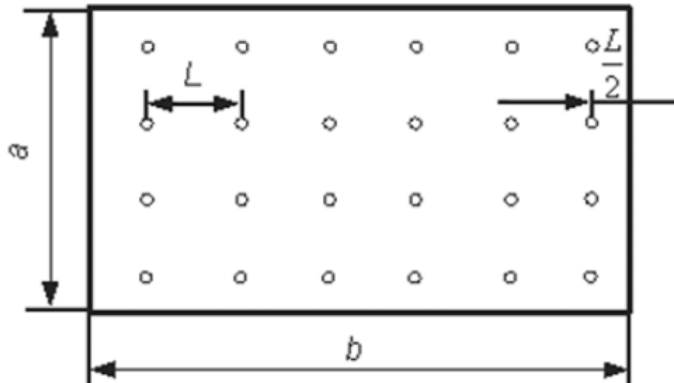


Рис. 2. Розміщення світильників по вершинах квадратних площин

Відносну відстань між світильниками вибирають за умовою, що:

$$\lambda_c \leq \lambda < \lambda_e, \quad (4.27)$$

де  $\lambda_c$ ,  $\lambda_e$  – відповідно світлотехнічні та економічно вигідні відносні відстані.

Залежно від типової кривої сили світла світильника значення  $\lambda_c$  і  $\lambda_e$  відповідно становлять: концентрована – 0,6 і 0,6; глибока – 0,9 і 1,0; косинусна – 1,4 і 1,6; напів-широка – 1,6 і 1,8; рівномірна – 1,6 і 1,8.

За відомими значеннями  $L$  і розмірами приміщень визначають кількість рядів світильників і їхню загальну кількість:

$$n_a = a/L; \quad (4.28)$$

$$n_b = b/L; \quad (4.29)$$

$$N = n_a \cdot n_b, \quad (4.30)$$

де  $a$ ,  $b$  – відповідно довжина і ширина приміщення, м;  $n_a$  і  $n_b$  – кількість світильників у ряду;  $N$  – загальна кількість світильників.

Значення  $n_a$  і  $n_b$  округляють до цілих чисел так, щоб  $\lambda$  залишалась у рекомендованих межах.

Під час розрахунку освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку визначають потрібний світловий потік ламп у кожному світильнику за формулою:

$$\Phi = \frac{ESK_3Z}{N\eta},$$

де  $E$  – мінімальна нормована освітленість, лк;  $S$  – площа освітлювального приміщення, м<sup>2</sup>;  $\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;  $K_3$  – коефіцієнт запасу;  $N$  – кількість світильників;  $Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної).

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від індексу приміщення (характеризує конфігурацію)

$$i = \frac{ab}{h_p(a+b)},$$

коефіцієнтів відбиття стелі  $\rho_c$ , стін  $\rho_{ст}$  і підлоги  $\rho_n$  – для деяких світильників значення коефіцієнта використання світлового потоку наведені в табл. 4.4 і 4.5.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти використання світлового потоку для світильників з люмінесцентними лампами

Параметри, від яких залежить коефіцієнт $\eta$	Тип світильника									
	ПВЛМ-2x40;2x80 з лампами ЛБР					ПВЛМ- 3x40; 1x80 з лампами ЛБР				
	Коефіцієнти відбиття									
$\rho_c, \%$	770	770	550	330	00	770	770	750	330	00
$\rho_{ст}, \%$	550	550	330	110	00	050	550	330	110	00
$\rho_n, \%$	330	110	110	110	00	330	110	310	110	00
Індекс приміщення $i$	Коефіцієнт використання світлового потоку $\eta, \%$									
0,5	28	27	20	13	11	27	26	17	12	11
0,6	33	32	22	17	14	31	30	21	16	14
0,7	38	36	27	20	17	36	34	25	20	17
0,8	42	40	30	23	20	39	37	28	22	20
0,9	47	44	34	26	22	43	40	32	25	22
1	51	47	37	29	25	47	43	34	28	25
1,1	54	50	39	31	27	50	46	37	30	27
1,25	57	53	42	34	29	52	48	39	32	29
1,5	63	57	47	38	33	58	52	44	36	33
1,75	67	61	50	42	36	61	56	47	40	36
2	70	63	53	44	38	64	58	49	42	38
2,25	73	66	55	47	40	67	60	51	44	40
2,5	76	68	57	49	42	69	63	53	47	41
3	80	71	60	52	44	73	65	56	50	44
3,5	82	73	62	54	46	75	67	58	52	46
4	85	75	64	56	48	78	69	60	54	57
5	90	79	69	61	52	82	72	64	58	51
Потік нижньої напівсфери $\Phi_{\cup}, \%$	66					66				
Потік верхньої напівсфери $\Phi_{\cap}, \%$	19					19				

Коефіцієнт запасу для сільськогосподарських приміщень з газорозрядними лампами беруть 1,3, а з лампами розжарювання – 1,15.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення беруть 1,15 для світильників з лампами розжарювання прямого світла і 1,1 – в інших випадках.



Коефіцієнт відбиття стелі в чистих приміщеннях (конторах, квартирах та ін.) беруть 70 %, в чистих виробничих приміщеннях – 50, в брудних – 30 і в брудних і задимлених – 10 %. Коефіцієнт відбиття стін у чистих приміщеннях беруть 50–60 %, у брудних 30 або 10 %. Коефіцієнт відбиття підлоги беруть 30 % для чистих приміщень і 10 % для всіх інших приміщень.

Потужність лампи  $P$  при розрахунку освітлення за методом питомої потужності дістають за формулою:

$$P = \frac{\omega S}{Nn},$$

де  $S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;  $\omega$  – питома потужність загального рівномірного освітлення, Вт·м<sup>-2</sup>;  $N$  – кількість світильників у приміщенні;  $n$  – кількість ламп у світильнику.

Питома потужність  $\omega$  (відношення встановленої потужності світильників до площі освітлювального приміщення) є важливим енергетичним показником освітлювальної установки і широко використовується для оцінки економічності прийнятих рішень (табл. 4.6 і 4.7). У табл. 4.6 і 4.7 враховано такі значення:  $\rho_c = 50$  %;  $\rho_{ст} = 30$  %;  $\rho_{п} = 10$  %;  $K = 1,3$ ;  $Z = 1,15$ .

За точкового методу розрахунку освітлення світло, що відбивається, і освітленість від віддалених світильників враховують наближено або й зовсім не враховують. За розрахункову беруть контрольну точку освітлювальної площини, в якій передбачається найменша освітленість. Для цієї точки визначають умовну освітленість від найближчих світильників, вважаючи, що в них вставлено лампи з світловим потоком 1000 лм.

Сумарну умовну освітленість у контрольній точці знаходять за формулою:

$$\sum e = \frac{I\alpha_1 \cos^3 \alpha_1}{h_p^2} + \frac{I\alpha_2 \cos^3 \alpha_2}{h_p^2} + \dots + \frac{I\alpha_n \cos^3 \alpha_n}{h_p^2},$$

де  $I\alpha$  – сила світла світильників з умовною лампою 1000 лм у напрямі освітлювальної точки, кд;  $\alpha$  – кут між напрямом сили світла в контрольну точку та перпендикуляром, опущеним із світлового центра джерела до горизонтальної площини, на якій розміщена ця точка (рис.4.3);  $h_p$  – розрахункова висота підвішування світильника, м.

Умовну освітленість у контрольній точці від одного світильника визначають за правилами просторових ізолюксів. Графіки просторових ізолюксів (рис. 4.4 і 4.5) – це сім'я кривих з однаковою горизонтальною освітленістю.

Таблиця 4. 6 – Питома потужність загального рівномірного освітлення для світильників ППД-100 і ППД-200

$h, \text{ м}$	$s, \text{ м}^2$	Питома потужність ( $\text{Вт/м}^2$ ) при освітленості, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
2–3	10–15	2,9	5,1	9,3	13,5	19,8	28,1	37,5
	15–25	2,3	3,9	7,3	9,6	15,7	22,4	29,9
	25–50	1,9	3,5	6,2	8,3	13,7	19,6	26,1
	50–150	1,6	2,9	4,9	6,8	11,3	16,4	21,8
	150–300	1,4	2,5	4,4	6,1	10,1	14,6	19,4
	>300	1,3	2,3	4,0	5,5	9,2	14,4	17,8
3–4	10–15	3,5	6,0	11,8	16,5	27,8	41,8	55,7
	15–20	3	5,2	9,8	14,4	23,2	34,7	46,3
	20–30	2,5	4,3	7,9	11,5	18,8	28,3	37,7
	30–50	2,0	3,4	6,1	9,0	14,9	22,4	29,8
	50–120	1,7	2,9	5,3	7,9	12,9	19,4	25,8
	120–300	1,4	2,5	4,4	6,5	10,7	16,0	21,4
	>300	1,2	2,1	3,9	5,8	9,2	13,7	18,3

Таблиця 4.7 – Питома потужність загального рівномірного освітлення для світильників ППР-100 і ППР –200

$h, \text{ м}$	$s, \text{ м}^2$	Питома потужність ( $\text{Вт/м}^2$ ) при освітленості, лк						
		5	10	20	30	50	75	100
2–3	10–15	3,7	6,3	12,8	18,2	31	46,5	62
	15–25	3,1	5,3	39,7	14,4	23,4	35	46,1
	25–50	2,5	4,4	7,9	11,7	18,8	28,1	37,5
	50–150	2	3,6	6,4	9,2	15	22,5	30
	150–300	1,7	2,9	5,4	7,8	12,8	19,2	25,6
	>300	1,5	2,6	4,8	7	11,4	17	22,7
3–4	10–35	5,8	10	18,8	28,2	47	70,5	94
	15–20	4,1	7,8	15,5	23,2	38,6	58	77,3
	20–30	3,2	6,3	12,4	18,5	30,9	46,4	61,8
	30–50	2,6	4,8	9,3	13,9	23,2	34,7	46,3
	50–120	2,2	3,9	7,4	11,1	18,5	27,8	37
	120–300	1,7	3,1	6	8,9	14,9	22,4	29,8
	>300	1,4	2,6	4,7	7,1	11,8	17,7	23,6

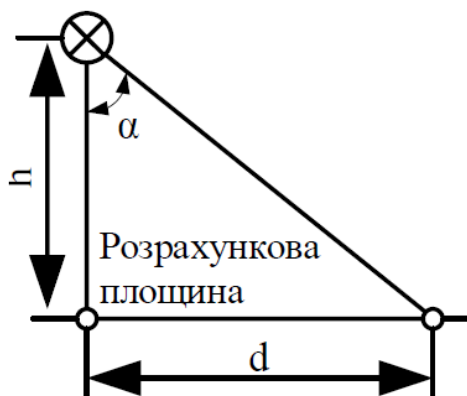
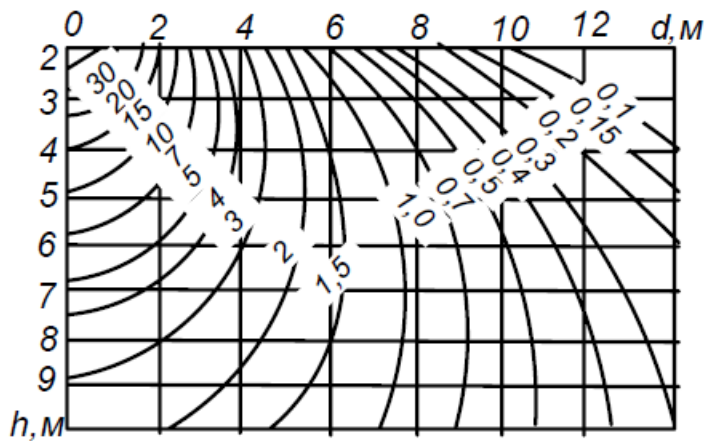


Рис. 3. Схема розрахунку освітленості горизонтальної площини точковим методом



$d$  – відстань від контрольної точки до проекції світлового центра джерела світла на розрахункову площину

Рис. 4. Графік просторових ізолюксів для світильників “Астра-1”, “Астра-11”, “Астра-12”:

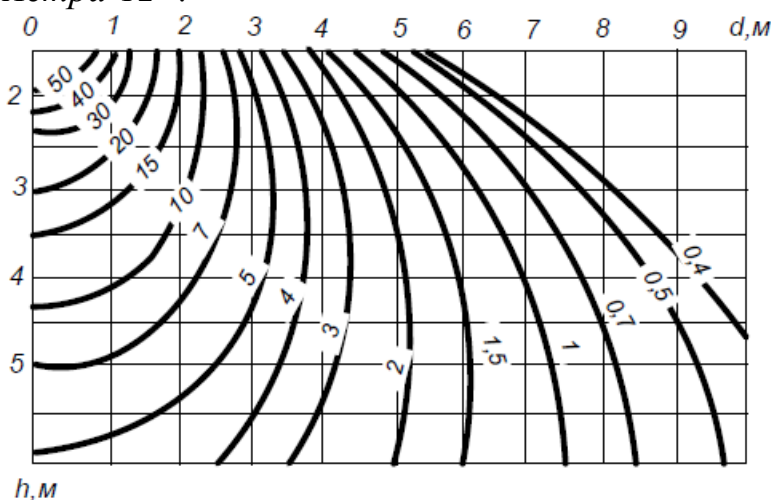


Рис. 5. Графік просторових ізолюксів для світильників ППД-100 і ППД-200  
Світловий потік лампи  $\Phi_l$  визначають за формулою:

$$\Phi = \frac{1000Ek}{\mu \sum e},$$

де  $E$  – нормована освітленість, лк;  $\mu$  – коефіцієнт додаткової освітленості, який враховує дію віддалених світильників і світло, що відбивається (беруть у межах 1,1–1,2);  $k$  – коефіцієнт запасу.

За здобутим значенням світлового потоку вибирають стандартну лампу, потік якої близький до розрахункового. Окремі люмінесцентні лампи або їх ряди можна розглядати як світні лінії, якщо їх довжина більше половини розрахункової висоти підвішування світильника. Світні лінії бувають безперервні і з проміжками.

При розрахунку освітленості від світної лінії вибирають контрольну точку і для неї визначають відносну освітленість від кількох рядів ламп, користуючись графіками лінійних ізолюксів умовної горизонтальної освітленості. Ізолюкси лінії з однаковою умовною освітленістю (рис.4.6).



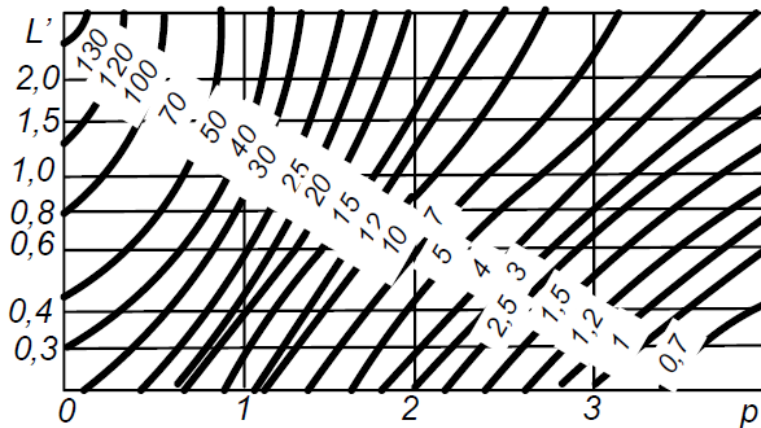


Рис. 6. Графіки лінійних ізолюксів умовної горизонтальної освітленості для світильників ПВЛМ з двома лампами ЛБР

На осі ординат відкладені величини  $L'=L/h$ , а на осі абсцис  $p=p/h$ , де  $h$  – розрахункова висота підвішування світильників;  $p$  – відстань від освітлювальної точки до проекції осі світної лінії на освітлювальну площину (рис. 4.7). Графіки побудовані для випадку, коли світна лінія розміщена на висоті 1м над освітлюваною площиною, світловий потік одного метра світної лінії становить 1000 лм, а розрахункова точка лежить проти кінця світної лінії. Якщо розрахункова точка лежить у межах світної лінії (наприклад, точка  $A_2$  на рис.4.7), то світну лінію умовно ділять на дві пластини  $L_1$  і  $L_2$ . Тоді розрахункова точка лежатиме проти кінців цих частин і відносна освітленість у ній дорівнюватиме:

$$e = e_1 + e_2, \quad (4.36)$$

де  $e_1, e_2$  – відносні освітленості у заданій точці, утворені відповідно частинами  $L_1$  і  $L_2$ , світної лінії  $L$ , лк.

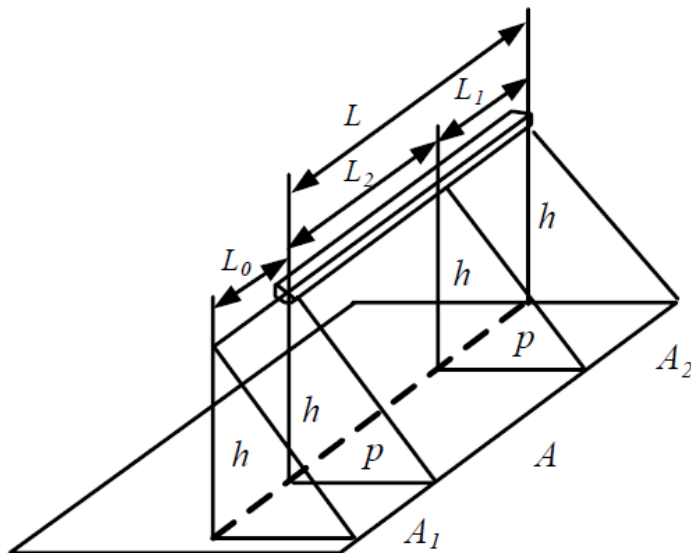


Рис. 7. Схема до розрахунку освітленості, створюваної світною лінією

Розрахункова точка може лежати за межами світної лінії. Тоді освітлювальну лінію продовжують наскільки, щоб розрахункова точка була розміщена проти її кінця. Відносну освітленість у точці визначають як різницю відносної освітленості від лінії  $L_1 + L_0$  та відносної освітленості від лінії  $L_0$  світної лінії.

Потрібну густину світлового потоку  $\Phi$ ,  $\text{лм}\cdot\text{м}^{-1}$ , у реальному ряду безперервної світної лінії для забезпечення нормованої освітленості у контрольній точці визначають за формулою:

$$\Phi = \frac{1000Ek_3h_p}{\mu\Sigma e},$$

де  $E$  – нормована освітленість, лк;  $\Sigma e$  – сумарна відносна освітленість у контрольній точці від найближчих рядів. Світловий потік світної лінії визначається як:

$$\phi_l = \Phi L, \quad (4.37)$$

де  $L$  – довжина світної лінії, м.

Кількість світильників у ряду визначається за формулою:

$$N = \frac{\phi_{\text{лік}}}{n\phi_{\text{л1}}},$$

де  $n$  – кількість ламп у світильнику, шт.;  $\phi_{\text{л1}}$  – світловий потік одної лампи, лм.

Освітленість у контрольній точці для безперервної лінії визначається за виразом:

$$E = \frac{\phi_{\text{лін}}\mu \sum e}{1000kh_pL};$$

для лінії з проміжками визначається за виразом:

$$E = \frac{\phi_c\mu \sum e}{1000kh_pL},$$

де  $l$  – довжина лампи, м;  $L$  – умовна частина світної лінії, м;  $\phi_c$  – світловий потік ламп у світильнику, лм.

**Приклад 4.1.** Розрахувати освітленість корівника, який має площу  $68 \times 20 = 1360 \text{ м}^2$ .

З використанням ламп розжарювання нормована горизонтальна освітленість на рівні підлоги  $E=30$  лк. Беремо світильник ППР-200. Висота підвішування від підлоги  $h_p = 2,7$  м. Коефіцієнт відбиття стелі  $\rho_c = 0,5$ , стін  $\rho_{\text{ст}} = 0,3$ , підлоги  $\rho_n = 0,1$ . Коефіцієнт запасу.  $K=1,15$ . Відносна відстань між світильниками  $\lambda=2$ .

Коефіцієнт нерівномірності освітлення  $Z=1,1$ . Відстань між світильниками  $L=2 \cdot 2,7=5,4$  м. Відстань від крайніх світильників до стіни

$$l = 0,51 \cdot L = 0,5 \cdot 5,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Кількість рядів світильників визначаємо за виразами (4.28) і (4.29):

$$n_a = 20/5,4 = 4; n_b = 68/5,4 = 13;$$

Загальна кількість світильників за формулою (4.30):

$$N = 4 \cdot 13 = 52.$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{68 \cdot 20}{2,7(68 + 20)} \approx 5,7.$$

Беремо найближче табличне значення індексу 5 і знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,49$ .

Необхідний світловий потік лампи

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1360 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{52 \cdot 0,49} = 2026 \text{ лм.}$$

За значенням світлового потоку вибираємо стандартну лампу, світловий потік якої близький до розрахункового. Це лампа типу Г 220-230-150 із світловим потоком  $\Phi_{\text{л}} = 2090$  лм.

Визначаємо розрахункову освітленість:

$$E_p = E \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi} = 30 \frac{2090}{2026} = 30,9 \text{ лм.}$$

У разі освітлення люмінесцентними лампами беремо світильник ПВЛМ-2×40 з двома лампами типу ЛБ-40 ( $\Phi_{\text{л}} = 3000$  лк). Нормована горизонтальна освітленість  $E=75$  лк. Висота підвішування світильника від підлоги  $h_p=2,7$  м.

При значенні індексу приміщення  $i = 5$  знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,69$ . Коефіцієнт запасу  $K = 1,3$ , коефіцієнт нерівномірності освітлення  $Z = 1,1$ , коефіцієнт додаткової освітленості  $\mu = 1,2$ . Відносна відстань між світильниками  $\lambda = 1,4$ , довжина лампи  $l_{\text{л}} = 1,2$  м.

Відстань між світильниками:

$$L = \lambda \cdot h_p = 1,4 \cdot 2,7 = 4 \text{ м.}$$

Відстань від крайніх світильників до стіни:

$$l = 0,5L = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ м.}$$

Кількість рядів світильників:

$$n_a = 20/4 = 5; n_b = 68/4 = 17.$$

Загальна кількість світильників:

$$N = 17 \cdot 5 = 85.$$

Беремо розрахункову точку, яка міститься в центрі прямокутника, в вершинах якого розміщено світильники. Відстань між світильниками в ряду:

$$l = (68 - 17 - 1,2) : 17 = 2,8 \text{ м.}$$

Тоді для вибраної точки:  $\rho = 2$  м;  $L = 1,2$  м;  $L_0 = 1,4$  м.

Визначимо сумарну відносну освітленість у контрольній точці  $\Sigma e$ . Для цього кожен світну лінію, якою є світильник, доповнимо відрізком  $L_0 = 1,4$  м. Тоді для кожної доповненої лінії:

$$\rho' = 2 : 2,7 = 0,74; L' = (1,2 + 1,4) : 2,7 = 0,96,$$

за допомогою рис. 4.6 визначаємо  $e = 64$  лк. Для відрізка  $L_0$ :

$$\rho' = 2 : 2,7 = 0,74; L = 1,4 : 2,7 = 0,52,$$

знову за допомогою рис. 4.6 визначаємо  $e = 40$  лк. Сумарна відносна освітленість від чотирьох світильників:

$$\Sigma e = 4(64 - 40) = 96 \text{ лк.}$$

Освітленість у контрольній точці дорівнює:

$$E = \frac{\phi_{\lambda} \mu \Sigma e}{1000 k h_p (l_{\partial} + L_0)} = \frac{6000 \cdot 1,2 \cdot 96}{1000 \cdot 1,3 \cdot 2,7 \cdot 2,6} = 75,7 \text{ лк.}$$

Отже, здобуто значення близьке до нормованої горизонтальної освітленості  $E = 75$  лк.

#### 2.4. Розрахунок і вибір установок для опромінення рослин за умов захищеного ґрунту

В осінньо-зимовий період частка природного освітлення знижується порівняно з літніми умовами в 100 разів. Тривалість світлового дня скорочується в 2–3 рази. Для компенсації нестачі природного випромінювання під час вирощування овочевих культур у теплицях застосовують опромінювальні установки (табл.4.8) з газорозрядними та люмінесцентними лампами (табл.4.9). Вони забезпечують потрібний рівень опроміненості 6–10 тис. лк, якщо використовувати систему світлових величин і одиниць.

Таблиця 4.8 – Тепличні опромінювальні установки і світильники

Найменування	Напруга, В	Тип лампи, кількість ламп, потужність, Вт	Габаритні розміри, мм
1	2	3	4
ОТ-400 МИ-045-У5	220	ДРЛФ-400-1 1×400	155×560
ОТ-400 МЕ-046-У5	220	ДРЛФ-400-01 1×400	155×680
ОТ-1000МИ-049-У4	220	ДРЛФ-1000 1×1000	280×440
ОГС О1-000-УХЛ4 “Фотос-1”	380	ДРИ-1000-6 1×1000	350×500
ОГС О1-1000-002-УХЛ4 “Фотос-2”	380	ДРИ-1000-6 1×1000	350×500
ОГС О1-2000-ООІ-УХЛ4 “Фотос-3”	380	ДРИ-2000-6 1×2000	350×600
ОГС О1-2000-002-УХЛ4 “Фотос-4”	380	ДРИ-2000-6 1×2000	350×600
ОГС О1-3500-001-УХЛ4 “Фотос-5”	380	ДРИ-3500 1×3500	350×600
ОГС О1-3500-002-УХЛ4 “Фотос-6”	380	ДРИ-3500 1×3500	350×600
020П-ДРИ-2000-УХЛ4 “Светотрон”	380	ДРИ-2000-6 1×2000	490×1470
Світильник ССПОЗ-750-001-УХЛ4	220	ДРВ-750 1×750	270×440
Світильник ЖСП 1 8-400-00 1-УХЛ4	220	ДНаТ-400. 1×400	450×375
Світильник ГСП 26-400-00 1-УХЛ4	220	ДРИ-400-5 1×400	440×540
КОП2-001-УХЛ4 “Светотрон”	380	ДРИ-2000-6 12×2000	36000×1080

Таблиця 4.9 – Характеристика ламп для опромінення рослин

Тип	Потужність	Напру-га, В	Струм, А	Світло-вий потік, клм	ФАР ( $\lambda=400\text{--}700\text{ нм}$ ), Вт	Фіто-потік, фт.	Термін служби, тис. год
ДРЛФ-400	0,4	135	3,25	16	55	27,2	2
ДРЛФ-1000	1,0	130	9,0	55	200	95	2
ДРИ-1000-6	1,0	230	4,7	90	240	140	3
ДРИ-2000-6	2,0	230	9,5	190	520	294	2
ДРИ-400-5	0,4	130	3,3	35	98,0	60	10
ДНаТ-400	0,4	125	4,2	47	108	62	15
ДРВ-750	0,5	200	3,4	19,5	49	62	2
ДРЛ-2000	2,0	270	8	120	300	182	6
ДМЗ-3000	3,0	105	15	270	855	467	1,5
ДКсТ- 10000	10,0	220	96	240	1300	630	1,0
ЛФ-40-1	0,04	103	0,43	1,88	6	4,2	12
ЛФ-40-2	0,04	103	0,43	1,72	6	4,45	12
ЛБ-40	0,04	103	0,43	3,1	8,8	3,74	12

Найбільш важливу роль під час вирощування рослин відіграє випромінювання з довжиною хвиль 400–700 нм. Воно дістало назву фотосинтетичне активної радіації (ФАР). Максимальну фотосинтезну дію на лист рослини проявляють випромінювання з довжиною хвилі 680 нм, тому за одиницю вимірювання фотосинтезного потоку 1 фіт беруть потік в 1 Вт із довжиною хвилі 680 нм.

Для будь-якої лампи значення фітопотіку можна здобути методом графічного інтегрування:

$$\Phi_{\phi} = g_{\lambda_{\max}} \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \varphi(\lambda) k(\lambda)_p d\lambda,$$

де  $g_{\lambda_{\max}} = 0,95$  максимальна фотосинтезна активність випромінювання;  $\varphi(\lambda)$  – спектральна інтенсивність випромінювання лампи;  $k(\lambda)_p$  – відносна спектральна чутливість середнього листа рослини.

Частіше фіто-потік ламп визначають за формулою:

$$\Phi_{\phi} = \Phi / K_{\phi}, \quad (4.42)$$

де  $\Phi$  – світловий потік, лм;  $K_{\phi}$  – коефіцієнт переведення освітленості на фотоопромінення, лм/(фт·м<sup>2</sup>).

Висоту підвішування опромінювачів вибирають за умови забезпечення заданого рівня опроміненості та запобігання перегріванню рослин. Виходячи з цих умов, стаціонарні опромінювані з потужними джерелами випромінювання підвішують на висоті не менш як 0,5 м над рослинами. Загальна тривалість штучного і природного опромінення має становити 14–18 год., а обов'язкова нічна перерва – 6–8 год.

На практиці під час проектування опромінювальних установок з точковими джерелами випромінювання широко застосовують метод питомої опроміненості або метод питомої потужності. Необхідний фіто-потік чи необхідну потужність визначають за формулами:

$$\Phi_{\phi} = \omega_{\phi} S, \quad (4.43)$$

$$P = \omega S. \quad (4.44)$$

Дані про питомий фіто-потік і потужність наведено в довідковій літературі. Для розсади питомий фіто-потік становить 15–40 фт / м<sup>2</sup>, для дорослих рослин приблизно на третину вищій.

З метою економії електроенергії для опромінення рослин слід вибирати лампи з високою фіто-віддачею (фт/Вт). Це лампи ДРИ і ДНаТ. Тривалістю світлового і темного періодів і величиною фітоопроміненості залежно від періоду вирощування рослин слід керувати автоматично за допомогою спеціальних програмних пристроїв.

### **2.5. Розрахунок і вибір установок для ультрафіолетового опромінення**

Ультрафіолетове випромінювання є важливим фактором зовнішнього середовища. Під час утримання в приміщеннях у тварин і птиці виникає “ультрафіолетове голодування”, яке послаблює імунобіологічні властивості організму. Багатьма дослідженнями доведено, що ці негативні явища можна ліквідувати, застосовуючи штучне ультрафіолетове опромінення області УФ-В ( $\lambda=280\text{--}315\text{нм}$ ).

Ультрафіолетові випромінювання області УФ-С ( $\lambda = 100\text{--}280 \text{ нм}$ ) згубно діють на бактерії, тому їх застосовують для стерилізації повітря і технологічного обладнання в тваринницьких приміщеннях.

Важливе значення має дозування ультрафіолетового опромінення. Експозиція (доза) опромінення – це рекомендована на підставі біологічних досліджень кількість опромінення, дія якої на об’єкт викликає необхідний ефект. Оптимальні дози для різних тварин і птиці визначені експериментально і наведено в табл.4.10.

Таблиця 4.10 – Добові дози ультрафіолетового опромінення тварин і птиці

Вид тварини чи птиці	Доза опромінення, мер·год/м <sup>2</sup>
Корови і бички	270–290
Телиці та нетелі	180–210
Телята: старші за 6 міс	160–180
до 6 місяців	120–140
Поросята-сосуни	20–25
Поросята	60–80
Те саме на відгодівлі та свиноматки	60–80
Кури	40–50
Курчата	15–25

Технічна характеристика джерел ультрафіолетового випромінювання наведена в табл. 4.11, установок ультрафіолетового опромінення – в табл. 4.12.

Таблиця 4.11 – Технічна характеристика джерел ультрафіолетового випромінювання

Тип	Технічні дані					
	потужність, Вт	напруга, В	світловий потік, лм	еритемний (вітальний) потік, віт (ер)	бактерицидний потік, бк	термін служби, тис. год
1	2	3	4	5	6	7
ЛЗ-15	15	127	40	0,3	0,055	5,0
ЛЗ-30	30	220	110	0,75	0,125	5,0
ЛЗР-30	30	220	90	1,35	0,105	5,0
ЛЗР-40	40	220	130	1,6	0,15	3,0
ЛЗО-15	15	127	660	0,11	-	5,0
ЛЗО-30	30	220	1350	0,27	-	5,0
ЛЗО-40	40	220	1850	0,37	-	5,0
ДРВЗД-160	160	220	1600	0,35	-	1,5
ДРВЗД-250	250	220	3200	0,6	-	1,5
ДРТ-230	230	220	4800	3,0	6,7	1,5
ДРТ-400	400	220	8000	4,75	10,5	2,7
ДРТ-1000	1000	220	26000	16,5	39,5	1,5

Таблиця 4.12 – Установки ультрафіолетового опромінення

Тип	Лампа		Потужність, Вт	Напруга, В
	тип	кількість		
ЭНП01-30	ЛЭ-3С	1	37	220
Э0-ІхЗОМ-001	ЛЭ-30	1	37	220
ОРК-2	ДРТ-400	1	450	220
ОРКШ	ДРТ-400	1	450	220
УО-4М	ДРІ-400	4	2000	380/220
УОК-1	ДРТ-400	2	1400	380/220
ОЭСП02	ЛЭР-40	1	96	220

Для адаптації тварин і птиці до ультрафіолетового випромінювання спочатку програму опромінювання задають частками від повної розрахункової, а потім роблять перерву на кілька діб.

У довідковій літературі наводять значення еритемної опроміненості (мер·м<sup>2</sup>) від різних джерел залежно від висоти підвішування.

Так, лампа ЛЭ-30 дає еритемну опроміненість на висоті підвішування 1 м над спиною тварин 42 мер·м<sup>2</sup>, а на висоті 2 м – 10,6 мер·м<sup>2</sup>.

Поділивши значення добової дози опромінення на опроміненість при заданій висоті підвішування опромінювача, матимемо значення тривалості опромінювання в годинах на добу.

Для пересувних установок потрібну кількість проходів опромінювача за добу, яка забезпечує денну норму опромінення тварин, за відомих типу лампи,

даних арматури і висоті підвішування опромінювача над тваринами визначають за формулою:

$$n = \frac{\pi^2 v H_{ep} h_p}{2 \Phi_{ep} K_n \sin \alpha},$$

де  $n$  – кількість проходів опромінювача;  $H_{ep}$  – денна доза опромінення, мер·год/2;  $h_p$  – розрахункова висота підвішування опромінювачів,  $v$  – швидкість руху опромінювачів, м/год;  $\Phi_{ep}$  – еритемний потік лампи;  $K_n$  – коефіцієнт підсилення арматури ( $K_n = 1,3$ );  $\alpha$  – кут, що дорівнює половині кута дії опромінювача (для У0-4М кут  $\alpha = 67^\circ$ ).

Кількість опромінення в певній точці в загальному випадку дістають за формулою:

$$H = E \cdot t, \quad (4.46)$$

де  $E$  – опроміненість, мер·м<sup>-2</sup>;  $t$  – час, год.

Одну й ту саму експозицію можна здобути за різних комбінацій значень опроміненості й часу. Для підвищення продуктивності тварин рекомендують брати меншу опроміненість за тривалішого проміжку часу, який не перевищує тривалості світлового дня.

Розрахунок тривалості опромінення від стаціонарних опромінювальних установок можна виконати точковим методом. За розрахункову беруть точку з найкращими умовами опромінення, щоб запобігти переопроміненню тварин чи птиці. Криві розподілу еритемного потоку випромінювання  $\Phi = f(\alpha)$  беруть для окремих ламп з довідкової літератури. При цьому коефіцієнт нерівномірності опромінення не повинен бути меншим за 0,8.

## ***2.6. Розрахунок і вибір установок інфрачервоного та комбінованого опромінення***

Інфрачервоне випромінювання широко використовують для обігрівання молодняку тварин і птиці. Воно не тільки надає теплової дії, але й активізує біологічні процеси в організмі тварин, підвищує їх тонус. Найбільший ефект досягається за відповідності максимумів спектральної чутливості шкіри тварин і спектрального розподілу енергії випромінювача. Шкірою тварин практично повністю поглинаються випромінювання з довжиною хвиль 2,5–3,5 мкм, а в діапазоні 0,4–2 мкм коефіцієнт поглинання становить 0,5–0,08 і значною мірою залежить від виду тварин та їхнього кольору.

Особливо добрі результати дає одночасне опромінення тварин і птиці інфрачервоними і ультрафіолетовими променями. У табл. 4.13 наведено технічні дані установок для інфрачервоного і комбінованого (інфрачервоного і ультрафіолетового) опромінення.



Для обігрівання і ультрафіолетового опромінення телят використовують установки ИКУФ та “Луч”. За утримання у клітках один опромінювач встановлюють для обігрівання та опромінення двох сусідніх кліток, а за групового утримання – один опромінювач на 4 м площі.

Таблиця 4.13 – Технічна характеристика установок інфрачервоного і комбінованого (інфрачервоного та ультрафіолетового) опромінення

Тип установки	Тип джерела випромінювання
ИКУФ-1	ИКЗК-220-250×2, ЛЗ-15×1
ИКУФ-1М	ИКЗК-220-250×2, ЛЗ-15×1
“Луч”	ИКЗК-220-250×2, ЛЗ-Т5×1
Сож-1	ИКЗК-220-250×2, ДРТ-100, ДРТ-2-100
ССПО1-250-001	ИКЗК-220-250 або ИКЗС-220-250
ОКГ-1376А	ТЭН-400×3
ССП05-250	ИКЗК-220-250
ОВИ-2, ОРИ-2	ИКЗК-220-250
ОСХ-01-1000	КГТ-220-1000

Для обігрівання *поросят* використовують опромінювачі ССП01-250-001, ОРИ-2 та опромінювальні установки ИКУФ, “Луч”.

Для обігрівання *молодняку птиці* використовують інфрачервоні лампи тільки з пофарбованою нижньою частиною колби типу ИКЗК та опромінювачі ИКУФ, “Луч” і ССП01-250-001. Однією лампою ИКЗК-220-250 можна обігріти 100–120 курчат, 60–80 індичат, гусенят або каченят.

Кількість опромінювальних установок  $n$  можна визначити залежно від кількості молодняку тварин або птиці в приміщенні  $N$  і щільності їх посадки в зоні обігрівання однієї установки  $n_1$ , що дорівнює:

$$n = N/n_1. (4.47)$$

Потужність системи місцевого обігрівання визначається за формулою:

$$P = P_1 \cdot n, (4.48)$$

де  $P_1$  – встановлена потужність однієї установки, кВт.

Величина енергетичної опроміненості залежить від віку молодняку тварин і птиці та температури повітря в приміщенні. Тому точніше кількість опромінювачів можна визначити за енергетичною опроміненістю, яку потрібно створити.

Кількість опромінювачів визначають за формулою:

$$n = \frac{kE_{omm}S}{P_1\beta U},$$

де  $S$  – площа опромінювальної поверхні, м<sup>2</sup>;  $P_1$  – потужність одного випромінювача, Вт;  $\beta$  – енергетичний ККД опромінювача (0,66 для ламп ИКЗК-220-250 та. ИКЗК-220-500, 0,38 для опромінювача ОКБ-3296Т);  $U$  – коефіцієнт ефективності використання ламп, залежить від висоти підвішування ламп і площі приміщення (знаходиться у межах 0,7–0,85);  $K$  – коефіцієнт запасу (беруть у

межах 1,1–1,25);  $E_{opt}$  – оптимальна енергетична опроміненість, Вт·м<sup>-2</sup>. На рис. 4.8. зображені криві для визначення енергетичної опроміненості для курчат.

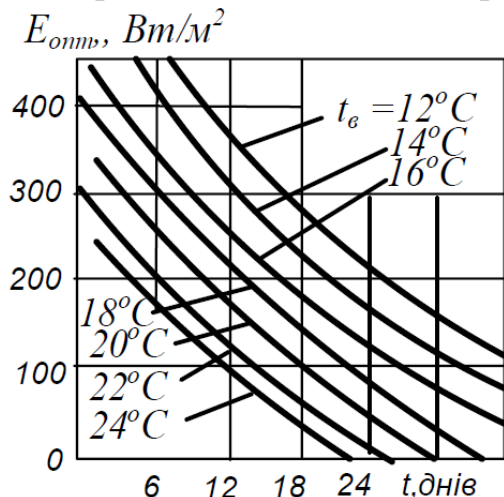


Рис. 4.8. Номограма для визначення оптимальної енергетичної опроміненості для курчат

За відсутності номограм для визначення оптимальної енергетичної опроміненості для тварин чи птиці певного віку і за заданої температури навколишнього середовища можна визначити наближено за формулою:

$$E_{opt} = (E_o - St_e)(1 - \alpha/l), \quad (4.50)$$

де  $E_o$  – оптимальна енергетична опроміненість для новонародженого в сухому приміщенні при температурі  $t_e = 0^\circ\text{C}$ , Вт/м<sup>2</sup> (курчата – 825; поросята – 700; телята – 500; ягнята – 380; індиченята – 900; каченята і гусенята – 710);  $S$  – температурний градієнт опромінення,  $S = 25$  Вт/(м<sup>2</sup>·град) (для ягнят – 13 Вт/(м<sup>2</sup>·град));  $\alpha$  – вік тварини чи птиці, днів;  $l$  – кількість днів для повної температурної адаптації (беруть  $\alpha = 100$  днів);  $t_e$  – температура в приміщенні, °C.

### 3. Розрахунок та вибір електронагрівників

Сільськогосподарське виробництво є споживачем теплової енергії. В структурі загального енергобалансу тепла енергія становить більш як 65 %, у тваринництві потреба в тепловій енергії становить 80–90 % всього енергоспоживання.

Головне питання, яке потрібно вирішити під час проведення теплоенергетичних розрахунків, є вибір доцільного енергоносія, який проводять за допомогою техніко-економічного порівняння різних варіантів. Варіанти, які порівнюють, мають бути близькими за об'ємом вироблюваної продукції, якісними параметрами, соціальним і часовим факторами.

Вибираючи енергоносії, слід брати до уваги, що ефективність електричного нагрівання в значній мірі залежить від теплового навантаження окремих споживачів. Електричне нагрівання, порівняно з іншими енергоносіями, дає найбільший ефект за менших значень одиничних теплових навантажень споживачів.

Важливе значення має економія енергоресурсів. Слід постійно дбати про збільшення коефіцієнта використання енергоресурсів, який являє собою відношення ефективно спожитої енергії до її загальної кількості, що, крім ефективно спожитої енергії, включає в себе також витрати в навколишнє середовище і на нагрівання корпусу конструкції.

### 3.1. Розрахунок і вибір установок для нагрівання води

Гаряча вода потрібна для багатьох технологічних процесів, а також для опалення приміщень. Тваринницькі ферми споживають дуже багато теплої води. Для їх централізованого теплопостачання використовують електрокотли.

Від електрокотлів до споживачів передають гарячу воду та пару. Пару використовують для запарювання та пропарювання кормів, пастеризації молока, пропарювання молочного посуду тощо. У табл. 4.14 наведено норми витрати пари по деяких процесах у тваринництві.

Таблиця 4.14 – Питома витрата пари по деяких процесах тваринництва

Процес	Показник	Питома витрата
Варіння зернових	1 кг	0,12–0,15
Запарювання:		
коренебульбоплодів	1 кг	0,16–0,2
подрібненої соломи	1 кг	0,4–0,5
змішаних кормів	1 кг	0,3–0,4
Пропарювання різних видів кормів	1 кг	0,4
Пастеризація молока	1 кг	0,12–0,15
Опалення приміщення кормоцеху	1 м <sup>3</sup> /добу	0,5–0,75
Пропарювання молочної фляги	1 шт.	0,1–0,2
Нагрівання води від 10 до 90°C	1 л	0,18–0,2

Для нагрівання води на місці її споживання використовують водонагрівачі. В табл. 4.15 наведено норми витрати гарячої води на фермах великої рогатої худоби і свинофермах.

Таблиця 4.15 – Норми витрати гарячої води на фермах

Вид тварин	Добова норма витрати гарячої води, л/год.
Корови дійні	15
Бички й нетелі	5
Телята	2
Свиноматки	26
Свині на відгодівлі	9
Ремонтний молодняк	9
Поросята відлучені	4

Для приготування кормів потрібна вода з температурою 40–65 °С, для підмивання вим'я у корів – 37–39 °С, для миття посуду та іншого обладнання – 50–60 °С. Воду нагрівають спочатку до температури 70–90 °С, а потім змішують

із холодною, щоб вода набула потрібної температури. Між витратами гарячої і змішаної води існує залежність:

$$G_2 = G_{зм}(t_{зм} - t_x)/(t_2 - t_x), \quad (4.51)$$

де  $G_2$  – витрата гарячої води;  $G_{зм}$  – витрата змішаної води,  $\text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$ ;  $t_2$ ,  $t_x$  і  $t_{зм}$  – відповідно температура гарячої, холодної і змішаної води,  $^{\circ}\text{C}$ .

Щоб визначити потужність водонагрівачів, слід побудувати добовий графік споживання гарячої води. Особливо розглядають можливість підігрівання води в години провалів у графіках електроспоживання (вночі, в обідню перерву).

Кількість теплоти  $Q$  кДж, потрібної для нагрівання води, дістають за формулою:

$$Q = cm(t_k - t_n), \quad (4.52)$$

де  $c$  – теплоємність води,  $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-2}$ ;  $m$  – маса води, кг.

Кількість теплоти  $Q$  кДж, щоб здобути пару, знаходять за формулою:

$$Q = cm(i - \lambda), \quad (4.53)$$

де  $m$  – сумарна витрата пари, кг;  $i$  – ентальпія пари,  $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$  (тиск 20 кПа,  $i = 9690 \text{ кДж} \cdot \text{кг}$ );  $\lambda$  – теплоємність конденсату,  $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$  (при температурі  $90^{\circ}\text{C}$   $\lambda = 380 \text{ кДж} \cdot \text{кг}$ ).

Розрахункову середню за годину потужність електротеплогенерувальної установки гарячого водопостачання у разі вільного режиму електропостачання визначають за формулою:

$$P_p = Q_{\text{макс}}/(3600\eta), \quad (4.54)$$

де  $P_p$  – розрахункова середня за годину потужність електротеплогенерувальної установки, кВт;  $Q_{\text{макс}}$  – максимальне годинне споживання теплоти,  $\text{кДж} \cdot \text{год}^{-1}$ ,  $\eta$  – ККД електронагрівальної установки (з урахуванням втрат теплоти в системі роздавання гарячої води); 3600 – тепловий еквівалент потужності,  $\text{кДж}(\text{кВт} \cdot \text{год})^{-1}$ .

У разі використання водонагрівачів з акумуляторами теплоти розрахункову середню за годину потужність електротеплогенерувальної установки гарячого водопостачання дістають за формулою:

$$P_{p.a} = Q_g/(24 \cdot 3600 \eta), \quad (4.55)$$

де  $Q_g$  – добове споживання теплової енергії, кДж.

Під час вимушеного режиму електроспоживання (наприклад, з урахуванням провалів на графіку електронавантажень енергосистеми) застосовують тепло-акумуляційні системи теплопостачання з акумулювальними резервуарами. При цьому режим роботи електротеплогенерувальної установки вибирають на підставі графіка електронавантажень трансформаторних підстанцій, резерву потужності і практичних міркувань.

Розрахункову середню за годину потужність електротеплогенерувальної установки при вимушеному режимі електропостачання визначають за формулою:

$$P_{p.s} = Q_g/(3600t \eta), \quad (4.56)$$

де  $t$  – добова тривалість роботи електротеплогенерувальної установки, год.

Теплова енергія, що потрібна для нагрівання води, нерівномірно споживається протягом доби та року. Щоб знайти потужність електротеплогенерувальних установок гарячого водопостачання, слід побудувати графіки теплового навантаження для зимового і літнього періодів.

На рис. 4.9 зображено зимовий добовий графік теплового навантаження гарячого водопостачання молочної ферми на 400 голів дійних корів.

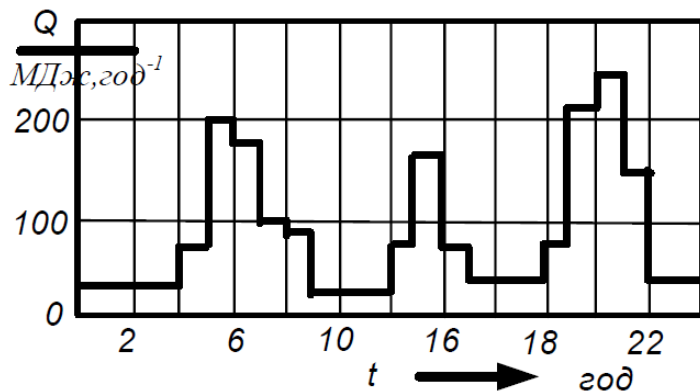


Рис. 4.9. Добовий графік теплового навантаження молочної ферми на 400 голів дійних корів

Площа графіка теплового навантаження в певному масштабі – це добове споживання теплової енергії  $Q_g$ . Добовий графік характеризується максимальним  $Q_{\max}$  і середнім  $Q_{\text{сер}}$  навантаженням.

Середнє навантаження визначають за формулою:

$$Q_{\text{сер}} = Q_g / 24. \quad (4.57)$$

Критерієм завантаження теплогенерувального обладнання є коефіцієнт використання максимуму:

$$K_m = Q_{\text{сер}} / Q_{\max}. \quad (4.58)$$

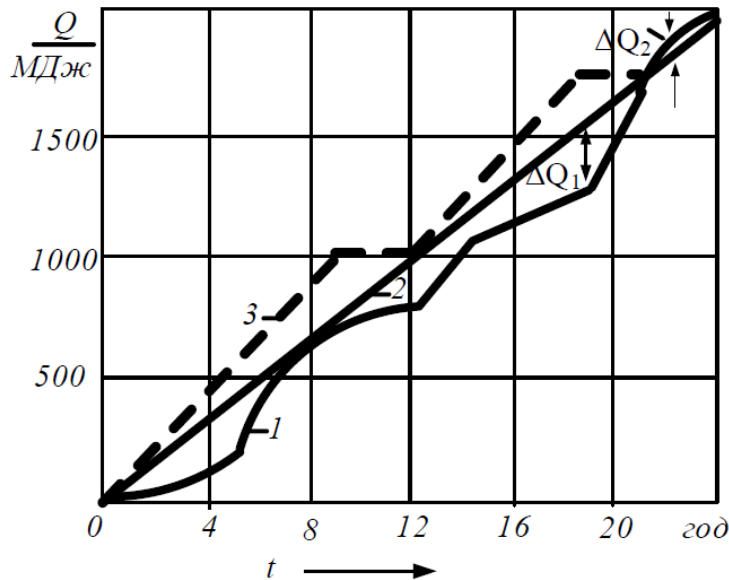
На сучасних теплофікованих молочних фермах  $K_{\max} = 0,25\text{--}0,35$ , на свинофермах –  $K_{\max} = 0,55\text{--}0,75$ .

Розрахункову потужність електротеплогенерувальної установки можна зменшити, вирівнюючи графік теплових навантажень та збільшуючи кількість годин роботи установки.

Потрібну ємність теплоакумлювальних електроводонагрівачів або спеціальних резервуарів-акумуляторів можна визначити за добовим інтегральним графіком теплового навантаження гарячого водопостачання (рис. 4.10), який будують на підставі добового графіка теплового навантаження (рис. 4.9).

Інтегральним графіком витрати теплоти є ламана лінія 1 (рис. 4.10), координати точок якої дорівнюють (у певному масштабі) витраті теплоти від початку доби до моменту, що відповідає даній ординаті.

Інтегральним графіком подачі теплоти під час цілодобової роботи з теплоакумлювальною ємністю є пряма лінія 2; під час вимушеного режиму роботи (з перервами від 9 до 12 год., і від 18 до 21 год.) – ламана лінія 3.



1 – витрат теплоти; 2 – подачі теплоти при цілодобовій роботі електротеплогенерувальної установки; 3 – подачі теплоти при вимушеному режимі роботи електротеплогенерувальної установки

Рис. 4.10. Добові інтегральні графіки теплового навантаження гарячого водопостачання ферми на 400 голів дійних корів:

Ємність тепло-акумулятора залежить від максимальної різниці ординат інтегральних графіків подачі та витрати теплоти, що показано на рис. 4.10 та дорівнює:

$$Q_a = \Delta Q_1 + \Delta Q_2, \quad (4.59)$$

і визначається за формулою:

$$V_a = Q_a / \gamma(c_2 - i_x), \quad (4.60)$$

де  $V_a$  – теплоакумульовальна ємність,  $\text{м}^3$ ;  $Q_a$  – максимальна різниця ординат інтегральних графіків подачі і витрати теплоти,  $\text{кДж}$ ;  $\gamma$  – густина води ентальпії гарячої і холодної при розрахунковій температурі,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;  $(i_2 - i_x)$  – різниця води,  $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

### 3.2. Електричне обігрівання в парниках і теплицях

У сільському господарстві для вирощування розсади широко використовують парники. Переведення парників з біологічного обігрівання на електричне дає змогу значно знизити затрати праці на вирощування розсади.

У парниках застосовують ґрунтово-повітряне або тільки ґрунтове обігрівання. Для цього використовують нагрівальні елементи зі сталевого оцинкованого дроту або нагрівальні проводи ПОСХВ і ПОСХП. Стандартний парник складається з 20 рам. Довжина рами становить 1,6 м, ширина – 1,06 м.

Теплиці використовують для вирощування розсади й овочів. Поділяють їх на весняні та зимові. У весняних теплицях вирощують овочі та розсаду, в зимових – овочі протягом цілого року. Теплиці бувають блочні (площею від 1000 до 30000  $\text{м}^2$ ) і ангарні (площею від 500 до 1000  $\text{м}^2$ ) із застеленим дахом або вкритим

поліетиленовою плівкою. В теплицях застосовують ґрунтово-повітряне обігрівання.

Ґрунт обігривають сталевими оцинкованим дротом або нагрівальними проводами ПОСХВ, ПОСХП та ПОСХВТ.

Під час розрахунку електрообігрівання парників і теплиць потужність нагрівальних елементів  $P$ , кВт, визначають за формулою:

$$P = K F (t_6 - t_3) \cdot 10^3 \quad (4.61)$$

де  $K$  – зведений коефіцієнт теплопередачі через засклену поверхню парника чи теплиці;  $F$  – площа заскленої поверхні, яка омивається зовнішнім повітрям,  $m^2$ ;  $t_6$  і  $t_3$  – відповідно температура повітря всередині культивуваційного приміщення і розрахункова температура зовнішнього повітря в найхолодніший місяць роботи парника або теплиці,  $^{\circ}C$ .

Значення зведеного коефіцієнта теплопередачі наближено можна визначити за формулами:

- для утепленого перекриття:

$$K = 4,5 + 0,08 v^2; \quad (4.62)$$

- для не утепленого перекриття:

$$K = 5,5 + 0,1 v^2, \quad (4.63)$$

де  $v$  – швидкість вітру,  $m \cdot s^{-1}$ .

Розрахункова температура зовнішнього повітря дорівнює:

$$t_3 = 0,6 t_{\min} + 0,4 t_{\text{сер}}, \quad (4.64)$$

де  $t_{\min}$ ,  $t_{\text{сер}}$  – мінімальна і середня температура найхолоднішого місяця в період вирощування даної культури,  $^{\circ}C$  (значення температур беруть з агро-кліматичних довідників).

Розрахункову температуру повітря всередині культивуваційного приміщення беруть згідно з нормами ОНТП-СХ 10-82.

Потужність нагрівальних елементів розподіляють між нагрівальними елементами ґрунту і повітря в співвідношенні: для парників – 1/2 або 2/1, а для теплиць – 1/2.

У парниках і теплицях застосовують автоматичне регулювання температурного режиму, що забезпечує високу продуктивність рослин і дає змогу економити до 30 % електроенергії.

Більш точно потужність нагрівальних елементів можна визначити за рівнянням теплового балансу:

$$Q_{\text{на}} = Q_{\text{ог}} + Q_{\text{вен}} + Q_{\text{гр}}, \quad (4.65)$$

де  $Q_{\text{ог}}$  – втрати теплоти через огороження культивуваційного приміщення;  $Q_{\text{вен}}$  – втрати теплоти з вентиляційним повітрям;  $Q_{\text{гр}}$  – втрати теплоти в ґрунт;  $Q_{\text{на}}$  – теплопродуктивність нагрівальної установки.

Більш детально розрахунки втрат теплоти в культивуваційних приміщеннях висвітлені в довідковій літературі.

### 3.3. Електричне обігрівання підлоги

Вирощування молодняку тварин і птиці потребує створення оптимального температурного режиму в певних зонах приміщення. Для нього використовують установки місцевого обігрівання (теплу підлогу, електробрудери, інфрачервоні лампи, електрообігрівальні килимки, напівпровідникові нагрівники, електрообігрівальні панелі тощо).

Для створення теплої підлоги в окремі ділянки підлоги закладають електронагрівальні елементи з проводів ПОСХВ, ПОСХП і ПОСХВТ або сталевого оцинкованого дроту.

Встановлена потужність електронагрівальних елементів  $P_0$  становить приблизно  $0,15-0,2$  кВт·м<sup>-2</sup> площі підлоги, яку обігрівають.

При розрахунках приймають, що площа теплої підлоги дорівнює для поросят одного опоросу  $1-1,4$  м<sup>2</sup>, для курчат при утриманні на підлозі –  $1,4-1,6$  м<sup>2</sup> на 100 курчат.

Загальну потужність електронагрівників теплої підлоги  $P$ , кВт для одного приміщення, визначають за формулою:

$$P = P_0 F, \quad (4.66)$$

де  $F$  – загальна площа теплої підлоги, м<sup>2</sup>.

$$F = N / \Delta N, \quad (4.67)$$

де  $N$  – загальне поголів'я молодняку тварин чи птиці в приміщенні;  $\Delta N$  – щільність посадки, гол·м<sup>2</sup>.

Електронагрівники в приміщенні розбивають на кілька трифазних секцій, кожна з яких має самостійне живлення і регулятор температури теплої підлоги.

Потужність однієї фази секції дорівнює:

$$P_{\phi.c} = P / 3n, \quad (4.68)$$

де  $n$  – кількість секцій.

Довжина дроту на одну фазу секції дорівнює:

$$L = P_{\phi.c} / \Delta P, \quad (4.69)$$

$\Delta P$  – питоме навантаження на один метр проводу, Вт·м<sup>-1</sup>.

### 3.4. Тепловий та електричний розрахунок електронагрівальних установок

Встановлену потужність електронагрівальної установки, кВт, визначають за формулами:

- під час нагрівання матеріалів:

$$P = K_3 G_c (t_2 - t_1) / (3600 \eta), \quad (4.70)$$

- під час плавлення і випаровування:

$$P = \frac{K_3 G [c(t_1 - t_2) + a]}{3600 \eta},$$



де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує старіння нагрівальних елементів і можливе зниження електричної напруги, беруть 1,1–1,3);  $G$  – продуктивність установки, кг·год<sup>-1</sup>, м<sup>3</sup>·год<sup>-1</sup> та ін.;  $c$  – середня за період нагрівання питома теплоємність тіла,  $a$  – питома теплота разового перетворення (питома теплота плавлення випаровування) кДж·кг;  $\eta$  – ККД електронагрівальної установки, який складається з електричного ККД і теплового ККД (наближено беруть  $\eta = 0,9–0,95$  для теплоізольованих установок безперервної дії і  $\eta = 0,7–0,8$  – для установок періодичної дії та неізольованих);  $t_1$  і  $t_2$  – початкова та кінцева температура тіла, град.

Електричний розрахунок електронагрівальних установок полягає у виборі способу нагрівання, напруги і частоти струму та визначенні основних геометричних розмірів і робочої температури.

*Вибір трубчастих нагрівальних елементів* проводять за розрахунковою потужністю та за допустимим питомим навантаженням поверхні трубки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Допустимі навантаження на ТЕНи

Середовище, яке нагрівається	Характер нагрівання	Матеріал трубки	Допустиме-питоме навантаження, Вт·см <sup>2</sup>
Вода	Нагрівання, кип'ятіння і випаровування	Латунь, нержавіюча сталь Х18Н10Т	9,0–11,0
Повітря	Нагрівання в спокійному повітрі до температури на поверхні ТЕНів: 500°С понад 500°С	Сталі 10 і 20 Нержавіюча сталь Х18Н10Т	1,2–1,8 2,3–5,0
Жири харчові, мінеральне масло	Нагрівання у ванні	Сталь 10 і 20	2,3–3,0
Молоко	Нагрівання у ванні	Нержавіюча сталь Х18Н10Т	1,5–2,0
Побутові плити	ТЕНи, залиті в метал електроконфорки	Сталь 10 і 20	5,0–7,0
Променисте обігрівання тварин і птиці	У тваринницькому приміщенні	Нержавіюча сталь Х18Н10Т	5,0–6,0

Потрібну активну поверхню нагрівників визначають за формулою:

$$S = \frac{P}{10\delta_{дон}}$$

де  $P$  – потужність нагрівальної установки, кВт;  $\delta_{дон}$  – допустиме питоме навантаження на поверхню трубки, Вт·см<sup>-2</sup>;  $S$  – активна поверхня нагрівача, м<sup>2</sup>.

З каталогу вибирають трубчастий нагрівальний елемент, який відповідає заданим умовам роботи, і визначають його активну поверхню за формулою:

$$S_1 = \pi d L 10^{-3}, \quad (4.73)$$

де  $d$  – діаметр трубки, мм;  $L$ , – активна довжина одного трубчастого нагрівального елемента, м.

Потрібну кількість електронагрівників знаходять за формулою:

$$N = S/S_1. \quad (4.74)$$

*Розрахунок нагрівальних елементів за робочим струмом і таблицями навантаження.* В табл. 4.17 наведено дані про навантаження ніхромового дроту. В разі переходу від умов роботи, для яких складено таблицю, до реальних вводять поправкові коефіцієнти монтажу та середовища ( $K_m$  та  $K_c$ ).

Таблиця 4.17 – Навантаження ніхромового дроту, підвішеного горизонтально в спокійному повітрі при температурі 20°C

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

Поправкові значення коефіцієнта  $K_m$  залежно від конструктивного виконання нагрівача наведено в табл. 4.18.

Менші значення коефіцієнта монтажу беруть для малих діаметрів дроту. Поправочні значення коефіцієнта  $K_c$  для деяких умов навколишнього середовища наведено в табл. 4.19.

Таблиця 4.18 – Поправкові значення коефіцієнти  $K_M$  залежно від конструктивного виконання нагрівача

Конструктивне виконання	Коефіцієнт
Дріт при горизонтальному розміщенні у спокійному повітрі	1
Спіраль з дроту без теплової ізоляції в спокійному повітрі	0,8-0,85
Спіраль з дроту на вогнетривкому каркасі в спокійному повітрі	0,7
Дріт на вогнетривкому каркасі у спокійному повітрі	0,6-0,7
Нагрівальні опори з доброю теплоізоляцією (трубчасті електро-нагрівники електронагрівальні елементи в ґрунті та підлозі)	0,3-0,4

Робочий струм нагрівального пристрою визначають за формулами:

- для однофазних установок:

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{U \cdot n},$$

- для трифазних:

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta},$$

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

Таблиця 4.19 – Поправкові значення коефіцієнта  $K_C$  для деяких умов навколишнього середовища

Умови навколишнього середовища	Коефіцієнт
Спіраль з дроту у потоці повітря, що рухається зі швидкістю, м·с <sup>-1</sup> :	
3	1,8
5	2,1
10	3,1
Нагрівальний елемент:	
у воді	2,5
у потоці рідини	3–3,5

Далі вибирають матеріал дроту і його допустиму температуру в довідниковій літературі.

Розрахункову температуру дроту визначають враховуючи коефіцієнти монтажу і середовища:

$$t_p = \frac{t_d}{K_M K_C},$$

де  $t_d$  – допустима температура дроту, °С.

За робочим струмом  $I$  та розрахунковою температурою  $t_p$  вибирають із табл. 4.17 діаметр і поперечний переріз дроту.

Довжину одної секції дроту, м, одержують за формулою:

$$l = \frac{U_{\phi}^2 S}{10^3 P_c \rho_t},$$

де  $U_\phi$  – фазна напруга, В;  $S$  – площа поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>;  $P_c$  – потужність одної секції, кВт;  $\rho_t$  – питомий опір при розрахунковій температурі, Ом·м, визначається за формулою:

$$\rho_t = \rho_{20}[1 + \alpha(t_p - 20)] \quad (4.79)$$

де  $\rho_{20}$  – питомий опір при температурі 20°C, Ом·м;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору, град<sup>-1</sup>;  $t_p$  – розрахункова температура, °C.

**Приклад 4.2.** Визначити потужність та геометричні розміри нагрівальних елементів трифазного елементарного електроводонагрівача місткістю 400 л, якщо вода підігрівається від 5 до 50 °C протягом 2 год. ККД водонагрівача  $\eta = 0,9$ , фазна напруга  $U_\phi = 220$  В.

За умови, що  $K_3 = 1,2$ ;  $G = 400:2 = 200$  кг·год<sup>-1</sup>;  $c = 4,2$  кДж·кг<sup>-1</sup>·град<sup>-1</sup>;  $t_1 = 5$  °C;  $t_2 = 50$  °C потужність трифазного елементарного водонагрівача:

$$P = \frac{K_3 G c (t_1 - t_2)}{3600 \eta} = \frac{1,2 \cdot 200 \cdot 4,2 (50 - 5)}{3600 \cdot 0,9} = 14 \text{ кВт.}$$

Якщо нагрівальні елементи з'єднані на “зірку” і кількість паралельних секцій в одній фазі  $n=2$ , то робочий струм дорівнює:

$$I = \frac{14 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 2} = 10,6 \text{ А.}$$

Вибираємо для нагрівальної спіралі дріт з потрібного ніхрому Х15Н60-Н і вважаємо, що робоча температура  $t_\theta = 1050$  °C.

Беремо коефіцієнт монтажу  $K_n = 0,7$  і коефіцієнт середовища  $K_c = 2,5$ . Тоді розрахункова температура дроту дорівнює:

$$t_p = \frac{1050}{0,7 \cdot 2,5} = 600^\circ \text{C.}$$

За робочим струмом та розрахунковою температурою вибираємо з табл. 4.17 ніхромовий дріт діаметром 1 мм і перерізом 0,785 мм<sup>2</sup>.

При температурі 600 °C питомий опір ніхромового дроту:

$$\rho_{600} = 1,1 \cdot 10^{-6} (1 + 0,0000163 \cdot (600 - 20)) = 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Потужність однієї секції водонагрівача:

$$P_c = 14:6 = 2,333 \text{ кВт.}$$

Довжина дроту на одну секцію дорівнює:

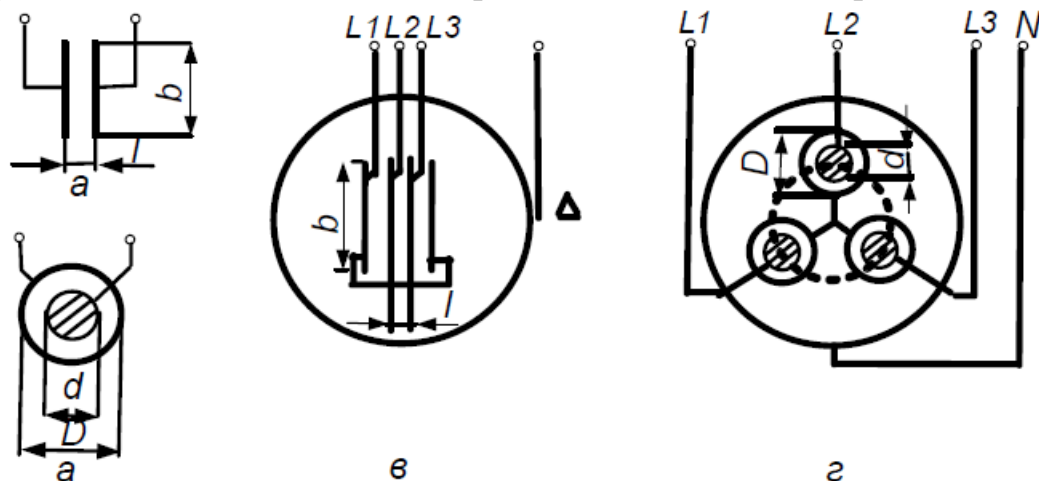
$$l = \frac{U_\phi^2 S}{10^3 P_c \rho_t} = \frac{2200,78510^{-6}}{10^3 \cdot 2,333 \cdot 1,11 \cdot 10^{-6}} = 14,67 \text{ м.}$$

*Розрахунок електродних нагрівників.* Електродні нагрівники – це система електродів (рис. 4.11). Нагрівальним елементом є безпосередньо матеріал.

Розраховуючи електродні нагрівники, вибирають їх конструктивне виконання та визначають площі електродів і відстані між ними.

Максимальна напруженість поля між електродами  $E_{\text{дон}}$  для води 125–250 В·см<sup>-1</sup>. Максимальна густина струму на електродах наприкінці періоду нагрівання

не повинна перевищувати  $2 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$  під час нагрівання води циліндричними електродами і  $0,5 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$  під час нагрівання плоскими електродами.



*a* – однофазний з плоскими електродами; *б* – однофазний з циліндричними коаксіальними електродами; *в* – трифазний з пластинчастими електродами; *г* – трифазний з коаксіальними електродами

Рис. 4.11. Найпоширеніші типи електродних нагрівників:

Відстань між електродами визначається за формулою:

$$l = U/E_{дон}, \quad (4.80)$$

де  $U$  – напруга, що подається до електродів, В.

Не рекомендується брати  $l$  менш як 1,5 см.

Незалежно від схеми з'єднань електродів потужність трифазного нагрівника визначають за формулою:

$$P = (3U_{\phi}^2 10^{-3})/R_{\phi}, \quad (4.81)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;  $R_{\phi}$  – опір однієї фази, Ом.

З нагріванням води опір її зменшується завдяки збільшенню швидкості руху іонів – носіїв електричних зарядів.

Для розрахунку беруть середнє значення опору, яке визначають за формулою:

$$R_{t\text{сеп}} = K \cdot \rho_{t\text{сеп}} / h, \quad (4.82)$$

де  $K$  – геометричний коефіцієнт;  $\rho_{t\text{сеп}}$  – середній питомий опір води за період нагрівання, Ом·см;  $h$  – висота електродів, см.

Геометричний коефіцієнт для різних електродних систем (рис. 4.11) одержують за формулами:

- для однофазної системи з плоскими електродами:

$$K=l/b; \quad (4.83)$$

- для трифазної системи з пластинчастими електродами:

$$K=l/(n-1)b; \quad (4.84)$$

- для трифазної системи з коаксіальними електродами:

$$K=(l/2\pi) \cdot \ln(D/d); \quad (4.85)$$

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

Питомий опір води при температурі  $t$  дорівнює:

$$\rho_t = P_{20} / [1 + \alpha (t - 20)], \quad (4.86)$$

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

Якщо взяти  $\alpha = 0,025$ , то матимемо спрощену формулу:

$$\rho_t = 40 \rho_{20} / (20 + t), \quad (4.87)$$

За період нагрівання середня температура дорівнює:

$$t_{\text{сер}} = 0,5(t_1 + t_2), \quad (4.88)$$

де  $t_1$  – температура води до нагрівання, град;  $t_2$  – те саме води наприкінці нагрівання, град.

За період нагрівання середній питомий опір дорівнює:

$$\rho_{\text{сер}} = 40 \rho_{20} / (20 + t_{\text{сер}}). \quad (4.89)$$

Підставивши в формулу (4.81) значення  $R_{t,\text{сер}}$ , дістанемо значення середньої потужності за період нагрівання:

$$P_{\text{сер}} = 3U_{\phi} 10^{-3} (20 + t_{\text{сер}}) h / (40K\rho_{20}). \quad (4.90)$$

Звідси визначимо висоту електродів:

$$h = 13,3 \cdot 10^3 P_{\text{сер}} \cdot \rho_{20} K / (U_{\phi}^2 (20 + t_{\text{сер}})). \quad (4.91)$$

Підставивши замість  $P_{\text{сер}}$  її значення з формули (4.70), отримаємо вираз для визначення висоти електрода:

$$h = 3,62 K_3 G_c \rho_{20} K (t_1 - t_2) / (U_{\phi}^2 \eta (20 + t_{\text{сер}})). \quad (4.92)$$

Максимальна густина струму має бути меншою за допустиму, оскільки розрахункову площу електродів слід перевірити за максимальною густиною струму. Для цього спочатку визначають потужність однієї фази наприкінці нагрівання води:

$$P_{\text{мф}} = U_{\phi}^2 h (20 + t_2) 10^{-3} / 40K\rho_{20}. \quad (4.93)$$

Потім визначаємо максимальну густину струму на електродах за формулою:

$$j = K_n P_{\text{мф}} 10^3 / (U_{\phi} S), \quad (4.94)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність густини струму на поверхні електродів (беруть 1,1–1,4);  $S$  – активна поверхня електрода однієї фази, см<sup>2</sup>.

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

**Приклад 4.3.** Визначити потужність та геометричні розміри трифазного електродного нагрівника з пластинчастими електродами продуктивністю 0,2 м<sup>3</sup> гарячої води за годину при нагріванні від 10 до 70 °С. Питомий опір води за годину при 20 °С становить 2000 Ом·см, ККД водонагрівача  $\eta = 0,96$ , напруга живлення – 380 В.

Потрібна потужність нагрівача (при  $K_3 = 1,1$ ):

$$P_{\text{сер}} = [K_3 G_c (t_2 - t_1)] / 3600 \eta = [1,1 \cdot 0,2 \cdot 10^3 \cdot 4,19(70 - 10)] / (3600 \cdot 0,96) = 16 \text{ кВт.}$$

Середня температура нагрівання води:

$$t_{\text{сер}} = 0,5(t_1 + t_2) = 0,5(10+70) = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Відстань між електродами ( $E_{\text{доп}} = 130 \text{ В}$ ):

$$l = 380/130 = 2,9 \text{ см.}$$

Узявши чотири електроди з шириною пластин  $l = 10 \text{ см}$ , знаходимо геометричний коефіцієнт:

$$K = l / [(n-1) b] = 2,9 / [(4-1) 10] = 0,097.$$

Висота пластин дорівнює:

$$h = \frac{40 P_{\text{сер}} K \rho_{20}}{3 U_{\phi}^2 \cdot 10^{-3} (20 + t_{\text{сер}})} = \frac{40 \cdot 16 \cdot 0,097 \cdot 2000}{3 \cdot 380^2 \cdot 10^{-3} \cdot 60} = 4,8 \text{ см.}$$

Потужність однієї фази наприкінці нагрівання дорівнює:

$$\begin{aligned} P_{\text{мф}} &= U^2 h (20 + t_2) 10^{-3} / (40 \rho_{20} K) = \\ &= 380^2 \cdot 4,8 (20 + 70) 10^{-3} / (40 \cdot 2000 \cdot 0,097) = 5,3 \text{ кВт. } 2 \text{ ( ) } 3 \text{ ( ) .} \end{aligned}$$

Максимальна густина струму на електродах дорівнює:

$$j = K_n P_{\text{мф}} \cdot 10^3 / (U_{\phi} S) = 1,4 \cdot 5,3 \cdot 10^3 / (380 \cdot 10 \cdot 4,8) \approx 0,4 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$$

або менша від допустимого значення  $0,5 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ .

*Розрахунок сталевих нагрівальних елементів.* Розрахунок нагрівальних елементів, виготовлених із сталевого дроту, утруднюється нестандартністю електричних характеристик сталі. Тому точність розрахунку становить  $\pm 20\%$ . Щоб підвищити точність розрахунку, потрібно експериментально визначити питомий опір сталевого дроту, з якого будуть виготовлені нагрівальні елементи. Сталевий дріт має низький питомий опір  $\rho_{20} = (0,11-0,15) 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  і високий температурний коефіцієнт опору  $\alpha = 0,004-0,006 \text{ град}^{-1}$ . Допустима температура нагрівання сталевого дроту становить  $300-350 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Відношення опору сталевого проводу змінному струму певної частоти до опору постійного струму називають *коефіцієнтом поверхневого ефекту*.

При частоті  $50 \text{ Гц}$  для дроту  $d = 1-6 \text{ мм}$  наближено значення коефіцієнта поверхневого ефекту можна визначати за емпіричною формулою:

$$K = 1 + 0,0176 d^{2,2}, \quad (4.95)$$

де  $d$  – діаметр дроту, мм.

Повний опір дроту визначаємо за формулою:

$$Z = K \cdot R / \cos \varphi, \quad (4.96)$$

де  $R$  – опір дроту постійному струму, Ом;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності (можна взяти  $0,86$ ).

Активну потужність нагрівача визначаємо за формулою:

$$P = U_2 \cos \varphi / (K \cdot R), \quad (4.97)$$

Визначаємо довжину дроту:

$$L = \sqrt{\frac{10^5 P U^2 \cos^2 \varphi R_t^2}{4 \pi \rho_1 (t - t_0)^2}},$$

де  $U$  – напруга, на яку розрахований нагрівник, В;  $R_T$  – термічний опір від дроту, що нагрівається  $\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}$ ;  $\rho_l$  – питомий опір дроту при температурі  $t$ ,  $\text{Ом} \cdot \text{см}$ ;  $t$  – температура дроту, град;  $t_0$  – температура зовнішньої поверхні матеріалу, що нагрівається, град.

**Приклад 4.4.** Визначити довжину сталевого оцинкованого дроту діаметром 3 мм ( $\rho_{20} = 0,135 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ;  $\alpha = 0,0045 \text{ град}^{-1}$ ) для обігрівання ґрунту в парниках. Потрібна потужність на одну фазу становить 20 кВт. Дріт прокладають у азбоцементній трубі під шаром ґрунту. Термічний опір від дроту до ґрунту  $R_T = 0,04 \text{ м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}$ , температура ґрунту – 18 °С, напруга живлення – 220 В. Беремо за робочу температуру дроту 250 °С,  $\cos \gamma = 0,86$ .

При робочій температурі питомий опір дроту дорівнює:

$$\rho_t = 0,135 \cdot 10^{-4} [1 + 0,0045(250 - 18)] = 0,276 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Коефіцієнт поверхневого ефекту:

$$K = 1 + 0,0176 \cdot d^{2,2} = 1 + 0,0176 \cdot 3^{2,2} = 1,2.$$

Довжина дроту дорівнює:

$$L = \sqrt[3]{\frac{105 \cdot 20 \cdot 220^2 \cdot 0,86^2 \cdot 0,04^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,267 \cdot 10^{-4} \cdot 1,2 \cdot 232^2}} \approx 172 \text{ м}.$$

#### **4. Розрахунки і вибір установок для застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві**

В останні роки в сільськогосподарському виробництві все ширше застосовують електротехнологію – використання електрики безпосередньо в технологічних процесах з метою електричної дії на предмет праці без попереднього перетворення електроенергії на інші види енергії, в електродвигунах, електронагрівальних установках, в електроосвітлювальних і опроміненні.

У галузі електротехнології на сьогодні проведено багато наукових досліджень, результати яких знайшли практичне застосування в сільськогосподарському виробництві. Хоча промисловість випускає ще мало установок і машин, в яких використовуються принципи електротехнології, однак питання щодо застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві дуже актуальне. Нині в сільськогосподарське виробництво почали впроваджувати деякі електротехнології.

*Електронно-іонна технологія* використовує взаємодію сильних електронних полів з електрично зарядженими частинками твердих або рідких матеріалів. Особливо широко використовується коронний розряд, який виникає з підвищенням напруги між електродами до значення, що спричинює інтенсивну іонізацію повітря або газу. Серед установок, які використовують коронний



розряд, найбільш поширені електричні іонізатори повітря та електричні сепаратори зерна.

*Електричні іонізатори* використовують для іонізації повітря в тваринницьких приміщеннях, інкубаторах і для знепилювання повітряного середовища вивідних шаф і інкубаторів.

В електричних сепараторах використовують властивість зерна та різних домішок, що до нього потрапляють, здобувати заряд в електричному полі. Величина заряду здебільшого залежить від діелектричної проникності, провідності, форми та розмірів зерна. Зерно та домішки розділяють залежно від їхніх фізичних властивостей.

Для нормальної роботи електричних сепараторів зерна потрібно створювати електричне поле напруженістю близько  $2 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$ . Тому для живлення електричних сепараторів зерна використовують підвищувальні трансформатори, випрямлячі та схеми множення напруги, які забезпечують на виході напругу 30–70 кВ. На рис 4.12 наведено однонапівперіодну схему множення напруги.

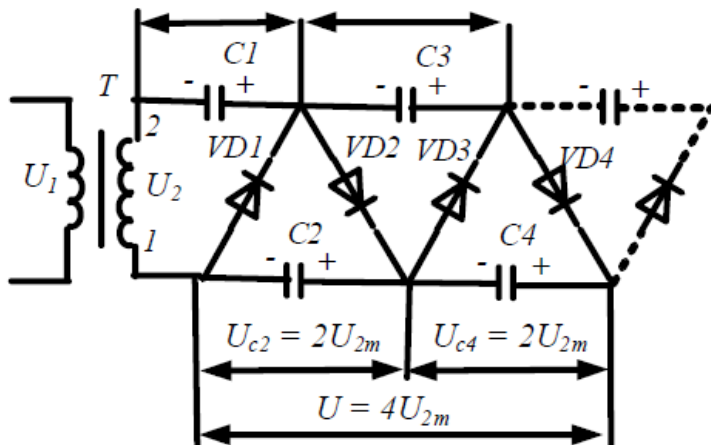


Рис. 4.12. Однонапівперіодна схема множення напруги

Ці схеми в режимі холостого ходу дають змогу дістати напругу на виході:

$$U_{xx} = 2nU_{2m}, \quad (4.99)$$

де  $n$  – число каскадів множення;  $U_{2m}$  – амплітудне значення напруги на вторинній обмотці підвищувального трансформатора.

Зі струмом навантаження  $I$  спад напруги  $U$  в однонапівперіодичній схемі визначаємо за формулою:

$$\Delta U = I / 6fC(4n^3 + 3n^2 + 2n), \quad (4.100)$$

де  $C$  – ємність конденсаторів;  $f$  – частота мережі живлення.

Напругу на виході схеми визначаємо за формулою:

$$U = 2n\sqrt{2} \cdot U_2 - \Delta U,$$

де  $U_2$  – діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора.

Для розрахунку схем множення беруть номінальну напругу конденсаторів більшу або таку, що дорівнює  $2,85 U_2$ . Зворотну напругу напівпровідникових вентилів беруть такої самої величини.

*Обробка сільськогосподарських матеріалів електричним струмом.* У сільськогосподарському виробництві широко застосовують електричну обробку насіння, електричне розсолення і знезараження ґрунту та електроплазмоліз рослинної сировини.

Під час *електричної обробки насіння* перед посівом його вміщують у конденсатор, між пластинами якого створюється електричне поле напруженістю 100–400 кВ/м. Тривалість обробки насіння становить 20–180 с.

Для *розсолення ґрунту* на ділянці поля встановлюють систему електродів з металевих труб або стержнів. Густина струму в ґрунті 1–10 А·м<sup>-2</sup>.

У парниках ґрунт стерилізують на глибину 0,12–0,15 м, а в теплицях – на глибину 0,25 м. Для цього використовують стаціонарні або переносні установки, які є системою електродів зі сталевих пластин, розташованих на відстані 0,2–0,25 м один від одного. Досліди показали, що фітопатогенні гриби в ґрунті гинуть при температурі 55–65 °С.

*Електроплазмоліз* рослинної сировини здійснюють у валкових плазмолізаторах. До двох валиків, що обертаються назустріч один одному, підводиться електрична напруга через контактні кільця. Напруженість електричного поля в зоні обробки рослинної сировини становить 60–75 кВ·м<sup>-1</sup>. Тривалість сушіння трави порівняно з природним сушінням зменшується в 1,5–2 рази.

Електроімпульсну техніку і технологію використовують в електричних огорожах, для створення електрогідравлічного ефекту, електроерозійної обробки металів.

*Електричні огорожі* призначені для загінного випасання великої рогатої худоби, свиней, овець та кіз.

*Електрогідравлічний ефект* застосовують для подрібнення або пластичної деформації різних матеріалів, знезараження рідин, очищення вовни тощо.

*Електроерозійна обробка* застосовується для створення в металі отворів складної форми діаметром менш як 0,3 мм, виготовлення інструментів тощо.

*Магнітну обробку* матеріалів застосовують під час очищення насіння проса і багаторічних трав від бур'янів (електромагнітний сепаратор), для очищення кормів від залізних предметів, видалення залізних предметів із шлунка ВРХ та магнітної обробки води.

*Іскровий розряд* використовують для обробки рослинної сировини, прорідження прорості культурних рослин, боротьби з бур'янами тощо.

*Розрахунок установок для штучної іонізації повітря у сільськогосподарських приміщеннях.* Визначаючи аероіонізацію повітря у приміщенні, спочатку знаходять питому силу струму коронного розряду, мкА/м<sup>3</sup>:

$$I_v = 0,44 n_{л}^2 \cdot 10^{-12}, \quad (4.102)$$

де  $n_n$  – рекомендована (табл. 4.20) концентрація легких негативно заряджених іонів у зоні дихання тварини чи птиці,  $\text{см}^{-2}$ .

Таблиця 4.20 – Режимы штучної іонізації повітря у птахівничих і тваринних приміщеннях

Вид тварин	Вік тварин (птиці) $10^3 \text{см}^2$	Тривалість сеансу аероіонізації повітря, діб	Тривалість паузи між сеансами, діб	Добова тривалість сеансу аероіонізації повітря, год	Особливості режиму
Яйця курячі інкубаційні	13	19		24	Після однієї години іонізації перерва на 1 год
Кури несучки	300	30	30	4–8	
Курчата	25	5	5	1–2	
Корови	300	30	10–20	5	
Телята	150–250	30		6–8	
Дорослі свині	400–500	28–30	21–28	0,5	
Поросята	300–350	28–30	21–28	0,5	

Далі визначають загальну силу струму всіх коронуючих електродів у приміщенні, А:

$$I_{заг} = I_v \cdot V \cdot 10^{-6}, \quad (4.103)$$

де  $V$  – внутрішній об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

За  $I_{заг}$  вибирають аероіонізуючу установку або проводять її розрахунок за методиками, наведеними в [19].

### Запитання для самоперевірки

1. Призначення електроприводу?
2. За якими вимогами слід вибрати раціональний електропривод?
3. Які ви знаєте категорії розміщення електрообладнання?
4. Які ви знаєте комплектні пристрої керування?
5. Які ви знаєте види і системи освітлення?
6. Призначення світильника та з чого він складається?
7. Для чого застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку?
8. Призначення установок для опромінення рослин?
9. Призначення установок для ультрафіолетового опромінення?
10. Призначення установок інфрачервоного та комбінованого опромінення?
11. Які ви знаєте установки застосування електротехнології у сільсько-господарському виробництві?