

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту
з дисципліни
„ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АПК”

Кам'янець-Подільський
2021

Укладачі:

І.Д.Гарасимчук, Л.М. Михайлова, Ю.І.Панцир, П.В.Потапський, О.В.Козак,
О.В.Думанський, М.В.Вусатий

*Рекомендовано до друку науково–методичною радою Подільського державного
аграрно–технічного університету
(протокол № ___ від _____)*

Рецензенти:

Мазур Віктор Анатолійович

кандидат технічних наук, викладач-методист фахових електротехнічних
дисциплін ДВНЗ «Кам'янець-Подільського індустріального коледжу»

Дубік Віктор Миколайович

кандидат технічних наук, доцент кафедри енергозберігаючих технологій та
енергетичного менеджменту Подільського державного аграрно-технічного
університету.

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисципліни
«Електротехнології в АПК» для студентів різних форм навчання освітнього
ступеня «Магістр» спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» / І.Д.Гарасимчук, Л.М. Михайлова, Ю.І.Панцир,
П.В.Потапський, О.В.Козак, О.В.Думанський, М.В.Вусатий. (За загальною
редакцією І.Д.Гарасимчука) – ПДАТУ, 2021. – 59 с.

Наведені основні рекомендації і методики з підготовки, виконання та
оформлення курсового проекту з дисципліни «Електротехнології в АПК» для
студентів різних форм навчання освітнього ступеня «Магістр» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	4
2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ.....	7
2.1 Тепловий розрахунок електронагрівних установок	7
2.2 Електричний розрахунок нагрівних елементів	11
2.3 Розрахунок електродних систем водонагрівачів та парових котлів	15
2.4 Розрахунок систем електротеплопостачання (ЕТП) молочних ферм.....	20
2.5 Визначення параметрів, вибір електрокалориферної установки і перевірочний розрахунок електрокалорифера	25
2.6 Розрахунок електронагрівача для підігріву підлоги.....	29
у тваринницьких приміщеннях	29
2.7 Розрахунок електрообігріву парників та теплиць.....	32
2.8 Розрахунок індуктора для високоякісного загартовування деталей.....	39
2.9 Розрахунок параметрів електроплазмолізатора рослинної сировини	43
2.10 Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем	46
2.11 Розрахунок технологічних параметрів процесу і установки для електроаерозольної обробки птиці	49
3 ОРІЄНТОВНА ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ	55
4 БЛАНК ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	58
5 ЛІТЕРАТУРА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУВАННЮ	59

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Метою курсового проекту є закріплення, поглиблення та узагальнення теоретичних знань з дисципліни «Електротехнології в АПК».

Тематика курсових проектів повинна бути актуальною і спрямованою на вирішення завдань стандартного характеру відповідно до напрямку майбутньої діяльності фахівця.

Теми курсових проектів визначаються кафедрою. Примірний перелік тем дипломних проектів наведений в розділі 3.

Студенти самі вибирають тему дипломного проекту із згаданого переліку або можуть запропонувати свою, обґрунтувавши її актуальність та фахову відповідність.

В якості об'єктів проектування вибираються електротехнологічні процеси, які дістали найбільше практичне поширення та застосування (електронагрів води на молочних фермах, електрокалориферний обігрів виробничих приміщень, місцевий електрообігрів молоднику, електрообробіток матеріалів та ін.

Завдання на проектування включає назву об'єкту та технологічного процесу, для якого розробляється електротехнологічна установка.

Вихідними даними для виконання курсового проекту є сучасні довідникові і нормативні дані. Для виконання курсового проекту видається завдання кафедри (див. розділ 4).

Бланк завдання розміщується на початку розрахунково-пояснювальної записки. Здійснення виконавцем будь-яких змін у завданні кафедри не допускається.

Курсовий проект складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Обсяг пояснювальної записки без додатків і списку літератури не повинен перевищувати 50 сторінок друкованого тексту (без урахування додатків); обсяг графічного матеріалу має складати 1-2 аркуші формату А1.

Пояснювальна записка містить:

- завдання курсового проекту;
- вступ з обґрунтуванням теми;
- огляд спеціальної літератури по темі курсового проекту з аналізом стану, перспектив, проблем і напрямів реалізації завдань, що вирішуються в проекті;
- аналіз та розрахунок технічних рішень по проектуванню чи удосконаленню технологічного процесу, для якого розробляється електротехнологічна установка (обов'язковим елементом проектування повинна бути автоматизація процесу чи установки);
- розробка заходів з техніки електробезпеки та охорони (за потреби);
- заходи з енергозбереження (за потреби);
- обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту (за потреби);
- висновки.

Графічні матеріали розподіляють приблизно так:

- плани основних об'єктів з розміщенням технологічного та електричного обладнання, засобів автоматики, силових та електричних мереж;
- принципові електричні схеми та принципові схеми автоматизації, конструкторські креслення об'єкта розробки, окремих його частин і деталей;
- схеми з'єднань та підключень;

Оформлення пояснювальної записки аналогічне оформленню пояснювальної записки дипломного проекту.

При проектуванні студенту слід, крім рекомендованої тут літератури (див. розділ 5), використовувати довідковий, нормативний, спеціальний періодичний матеріал, а також типові проекти.

До захисту, крім матеріалів курсового проектування, студент додає довідку про проходження перевірки на плагіат згідно «Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату у наукових, навчально-методичних, кваліфікаційних та навчальних роботах учасників освітнього процесу у ПДАТУ».

2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

В методичних вказівках наведено приклади розрахунків основних виробничих процесів. Детальніше часткові випадки розрахунків наведено у рекомендованій літературі.

2.1 Тепловий розрахунок електронагрівних установок

Головна задача теплового розрахунку – визначити потужність електронагрівної установки, її теплового к.к.д. та оптимальних геометричних розмірів, а також найвигіднішу товщину теплової ізоляції.

Встановлена (приєднана) потужність, кВт, електронагрівної установки:

$$P = \kappa_3 P_{\text{потр}},$$

де κ_3 -коефіцієнт запасу, який враховує старіння теплової ізоляції, яке призводить до збільшення теплових втрат, а також старіння матеріалу нагрівного елемента, що призводить до підвищення його питомого електричного опору, і можливе пониження його напруги живлення ($\kappa_3 = 1,1 \dots 1,2$);

$P_{\text{потр}}$ – споживча потужність, кВт.

$$P_{\text{потр}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{дод}} + P_{\text{огор}} + P_{\text{втрат}} + P_e$$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна потужність, кВт;

$P_{\text{дод}}$ - потужність, затрачена на нагрів допоміжних пристроїв (тари, транспортуючих засобів), кВт;

$P_{\text{огор}}$ - потужність, використана на нагрів огорожуючих конструкцій установки, кВт;

$P_{\text{втрат}}$ - потужність, необхідна для компенсації теплових втрат через огорожуючі конструкції установки в зовнішнє середовище, кВт;

P_e - електрична потужність, яка втрачається у колах управління, кВт.

Для сільськогосподарських низькотемпературних установок з невеликою частотою вмикання $P_{\text{дод}}$ та $P_{\text{огор}}$ складають малу частину спожитої потужності, і їх часто не враховують.

Корисна потужність, кВт,

$$P_{\text{кор}} = \frac{cm(\Theta_k - \Theta_n) + qm}{3600t},$$

де c - питома теплоємність матеріалу який нагрівається, кДж/ (кг с);

m - маса матеріалу який нагрівається, кг;

Θ_k та Θ_n – відповідно температура матеріалу в кінці та на початку нагріву, °С;

q - питома теплота фазового перетворення матеріалу, який нагрівається, кДж/кг;

t - час нагріву, год.

Потужність $P_{\text{втрат}}$ дорівнює тепловому потоку $\Phi_{\text{втрат}}$, який втрачається через огорожуючі конструкції установки в зовнішнє середовище.

Тепловий потік, кВт,

$$\Phi_{\text{пот}} = \frac{\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}}}{R_T} 10^{-3}$$

де $\Theta_{\text{вн}}$ та $\Theta_{\text{зов}}$ - температура в середині та зовні установки, °С;

R_T – повний термічний опір огорожуючих конструкцій установки, °С/Вт.

Повний термічний опір, °С/Вт, плоскої стінки (включаючи контактні опори):

одношарової

$$R_{Tnc} = R_{K_{вн}} + R_{T_{ст}} + R_{K_{зов}} = \frac{1}{\alpha_{вн} A_{вн}} + \frac{h}{\lambda A_{cp}} + \frac{1}{\alpha_{зов} A_{зов}}$$

Багатошарової

$$R_{Tnc} = \frac{1}{\alpha_{вн} A_{вн}} + \frac{h_1}{\lambda_1 A_{cp1}} + \frac{h_2}{\lambda_2 A_{cp2}} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n A_{cpn}} + \frac{1}{\alpha_{зов} A_{зов}}$$

Тут h – товщина стінки, м;

$\alpha_{вн}$ та $\alpha_{зов}$ - коефіцієнти теплообміну на внутрішній та зовнішній сторонах стінки, Вт/(м²·°C);

$A_{вн}$ та $A_{зов}$ – площа внутрішньої та зовнішньої стінки, м²;

λ - теплопровідність матеріалу стінки, Вт/(м·°C);

$A_{ср} = \sqrt{A_{вн} A_{зов}}$ - середня розрахункова площа стінки (при нерівних площі внутрішньої та зовнішньої поверхонь, м²).

Повний термічний опір, °C/Вт, циліндричної стінки:
одношарової

$$R_{ТЦС} = \frac{1}{\alpha_{вн} \pi d_{вн} H} + \frac{1}{2\pi\lambda H} \ln \frac{d_{зов}}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{зов} \pi d_{зов} H}$$

багатошарової

$$R_{ТЦС} = \frac{1}{\pi H} \left(\frac{1}{\alpha_{вн} d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_1}{d_{вн}} + \dots + \frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}} + \frac{1}{\alpha_{зов} d_{зов}} \right)$$

Тут $d_{вн}$ та $d_{зов}$ - внутрішній та зовнішній діаметр стінки, м;

H - висота стінки, м;

n - число шарів стінки.

Температура, °C, на межах шарів багатошарової стінки

$$\Theta_{зр.ш} = \Theta_{вн} \Phi_{ном} \sum R_T,$$

де $\sum R_T$ – сума термічних опорів по напрямленню теплового потоку $\Phi_{пот}$ до розглянутої межі шарів.

Наприклад, температура, °C, на межі шарів двохшарової стінки

$$\Theta_{ад.ф} = \Theta_{ái} - \hat{O}_{íð} \left(\frac{1}{\alpha_{ái} A_{ái}} + \frac{h_1}{\lambda_1 A_{пð_1}} \right).$$

Тепловий потік, кВт, який віддається нагрітою поверхнею у зовнішнє середовище:

$$\Phi = \alpha (\Theta_{нов} - \Theta_{зов}) A \cdot 10^{-3},$$

де $\Theta_{нов}$ та $\Theta_{зов}$ - відповідно температура поверхні, яка віддає теплоту та зовнішнього середовища, °C;

A – площа поверхні, яка віддає тепло, m^2 .

Потік випромінювання, Вт, "чорного тіла" (закон Стефана-Больцмана)

$$\Phi_s = c_s (T/100)^4 \cdot A,$$

Тут $c_s = 5,7 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K^4)$ – стала Стефана-Больцмана;

T – абсолютна температура тіла, К.

Потік випромінювання, Вт, реальних ("сірих") тіл

$$\Phi = \epsilon \Phi_s = \epsilon c_s (T/100)^4 A,$$

де ϵ - коефіцієнт випромінювання тіла.

Тепловий потік, Вт, променевого теплообміну між двома тілами 1 і 2, одне (2) з яких охоплює друге (1)

$$\Phi_{1,2} = \frac{c_s A_1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Тепловий к.к.д. нагрівної установки:

для установок безперервної дії

$$\eta_m = Q_{кор} / (Q_{кор} + P_{втрат} t) = P_{кор} / (P_{кор} + P_{втрат})$$

для установок періодичної дії

$$\eta_m = Q_{кор} / (Q_{кор} + Q_{огор} + P_{втрат} t),$$

де $Q_{кор}$ – корисна теплота, яка використовується на нагрів матеріалу, кДж;

$Q_{огор}$ – теплота, яка затрачається на нагрів огорожуючих конструкцій установки, кДж;

$P_{втрат}$ – потужність втрат, кВт;

t - час роботи установки, с.

Потрібна потужність, кВт, може бути також визначена:

по тепловому η_T і електричному η_e к.к.д. установки

$$P_{потр} = P_{кор} / (\eta_m \eta_e);$$

по питомій енергоємності $E_{пит}$, кВт·год/кг, процесу і продуктивності Q , кг/год, установки

$$P_{потр} = E_{пит} Q;$$

по коефіцієнту теплопередачі в зовнішнє середовище

$$P_{\text{потр}} = kA(\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}})$$

де $k = 1/R_T$ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°С);

A - площа тепловіддаючої поверхні, м².

Оптимальні геометричні розміри установки визначають з умови мінімальної поверхні тепловіддачі при заданому об'ємі. Для установки циліндричної форми ця умова виконується, якщо діаметр D циліндра рівний його висоті H.

Оптимальна товщина, м, теплової ізоляції з умови мінімуму питомих приведених затрат (якщо знехтувати малим термічним опором металеві стінки)

$$\sigma_{I=} = \sqrt{\frac{t_r S_e \lambda_i (\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{зов}})}{10 S_i (P_a + E_n)}} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} \right) \lambda_i$$

де t_r - кількість годин роботи установки на протязі року;

S_e - вартість 1 кВт·год електроенергії, грн/(кВт·год);

λ_i - теплопровідність матеріалу теплової ізоляції, Вт/(м²·°С);

S_i - вартість 1 м³ теплової ізоляції, грн/м³;

P_a - річні відрахування на амортизацію, %;

$E_n = 15\%$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

2.2 Електричний розрахунок нагрівних елементів

Електричний розрахунок нагрівних елементів включає в себе розробку схем їх з'єднань з врахуванням вимог до регулювання потужності установки, вибір напруги живлення та визначення геометричних розмірів робочих опорів.

Нагрівачі розраховують по питомій поверхневій потужності (питомому поверхневому тепловому потоку) або по робочому струму .

Розрахунок по питомій поверхневій потужності заснований на спільному вирішенні двох рівнянь:

$$P = P_{\text{пит}} \cdot A = P_{\text{пит}} \Pi l$$

та

$$P = U_{\phi}^2 / R = U_{\phi}^2 S / (\rho_{\Theta} l),$$

де P – потужність нагрівача, Вт;

$P_{\text{пит}}$ – питома поверхнева потужність нагрівача, Вт/м²;

A – площа поверхні нагрівача, м²;

Π – периметр розрізу нагрівача, м;

l – довжина нагрівача, м;

U_{ϕ}^2 – фазна напруга, прикладена до нагрівача, В;

R – електричний опір нагрівача, Ом;

S – площа перерізу нагрівача, м²;

ρ_{Θ} – питомий електричний опір нагрівача, Ом·м, при робочій температурі Θ .

Для нагрівачів, виконаних з заготовки круглого перетину (дріт, прутки), $\Pi = \pi d$, $S = \pi d^2 / 4$ (d – діаметр перерізу нагрівача, м). В цьому випадку загальний розв'язок рівнянь дає вираз для діаметра, м,

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\rho_{\Theta} P^2}{\pi^2 U_{\phi}^2 P_{\text{пит}}}}$$

та довжини, м, нагрівача

$$l = \sqrt[3]{\frac{P U_{\phi}^2}{4\pi\rho_{\Theta} P_{\text{пит}}^2}}$$

В тих випадках коли, тепловий потік передається випромінюванням, максимально допустиму питому поверхневу потужність, Вт/м², ідеального нагрівача (теплові втрати дорівнюють нулю) визначають на основі закону Стефана-Больцмана.

$$p_{\text{пит ід}} = c_{\text{пр}} [(T_{\text{н}}/100)^4 - (T_{\text{нт}}/100)^4],$$

де $c_{\text{пр}} = 5,7 / \left(\frac{1}{\epsilon_{\text{нт}}} + \frac{1}{\epsilon_{\text{н}}} - 1 \right)$ – приведений коефіцієнт випромінювання

ідеального нагрівача, Вт/(м²·К⁴). Тут $\epsilon_{\text{н}}$ і $\epsilon_{\text{нт}}$ – відносні коефіцієнти

випромінювання відповідно нагрівача і нагрітого тіла; ці значення приведені в літературі [1];

T_n і $T_{нт}$ – температура відповідно нагрівача і нагрітого тіла, К.

Гранично допустима питома поверхнева потужність реального нагрівача, працюючого при тій ж температурі, що й ідеальний, відображається наступною залежністю:

$$p_{пит} = p_{пит\ id} a_{ef} a_k a_c a_p,$$

де a_{ef} , a_k , a_c , a_p – поправочні коефіцієнти.

Коефіцієнт a_{ef} характеризує ефективність випромінювання даної системи нагрівача. Для дротяної спіралі, розміщеної на поличці або керамічній трубці, a_{ef} приймають рівним 0,32.

Коефіцієнт кроку a_k враховує залежність p_{num} від відносної виткової відстані h/d (рис. 1).

Коефіцієнт a_c визначає вплив на $p_{пит}$ приведенного коефіцієнта випромінювання реального нагрівача (рис. 2).

$$c_{пр} = 5,7 / \left[\left(\frac{1}{\epsilon_{н.т}} + \frac{A_{н.т.}}{A_{ст}} \left(\frac{1}{\epsilon_n} - 1 \right) \right) \right]$$

де $A_{н.т}$ - площа теплоприймаючої поверхні нагріваемого тіла, м²;

$A_{ст}$ - площа поверхні стін установки, зайнятих нагрівачами, м².

Коефіцієнт a_p враховує вплив відносних розмірів нагріваемого тіла на $\rho_{ред}$ і залежить від відношення $A_{н.т}/A_{ст}$ (рис. 3); при $A_{н.т} \geq 0,8 a_p = 1$. В якості $A_{н.т}$ приймають площу поверхні, яка повернута до нагрівачів. Для нагрітих тіл складної форми за розрахункове значення $A_{н.т}$ приймають площу огинаючої поверхні.

При $A_{н.т}/A_{ст} < 0,3$ поправки на розмір нагрітого тіла a_p і приведений коефіцієнт випромінювання a_c не вводять.

Геометричні розміри спіралі визначають за наступними формулами:

крок $h = (3,2 \dots 4,8) d$;

діаметр $D = (6 \dots 10) d$

число витків $w = 1/\sqrt{h^2 + (\pi D)^2}$

довжина $L = n w$.

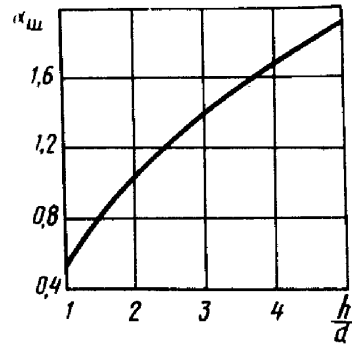


Рис. 1. Залежність коефіцієнту α_w від відношення h/d для дротового спірального електронагрівача.

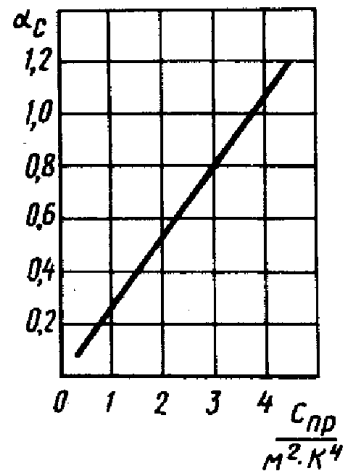


Рис. 2. Залежність коефіцієнту α_c від приведенного коефіцієнту $\alpha_{пр}$ випромінення.

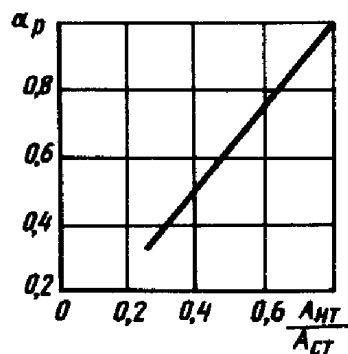


Рис. 3. Залежність коефіцієнту α_p від відношення $A_{нт}/A_{ст}$.

2.3 Розрахунок електродних систем водонагрівачів та парових котлів

Особливості електродних водонагрівачів і парових котлів заключаються в залежності споживаної потужності від питомого електричного опору нагріваємої води та в обмеженні напруженості електричного поля між електродами для попередження електричного пробою та розкладання води.

В системах з коаксіальними циліндричними електродами напруженість поля E , В/м, і щільність струму j , А/м, в поперечному перетині міжелектродного простору непостійні:

$$E = \frac{U}{\ln \frac{r_3}{r_a}} \frac{1}{r};$$

$$j = \frac{U}{\rho_{\Theta} \ln \frac{r_3}{r_a}} \frac{1}{r}$$

де r_b та r_3 – радіуси відповідно внутрішнього та зовнішнього електродів, м;

r - поточний радіус точки в міжелектродному просторі, м;

ρ_{Θ} - питомий електричний опір води, Ом·м.

При $r = r_b$ напруженість поля та щільність струму максимальні.

В системах з плоскопаралельними електродами електричне поле однорідне і його напруженість, В/м,

$$E=U/a,$$

де a - відстань між електродами, м.

Допустима щільність струму, А/м², на електродах

$$j_{\text{доп}} = E_{\text{доп}} / \rho_{\Theta} \beta,$$

де $E_{\text{доп}}$ - допустима напруженість поля, яка залежить від питомого опору води, Вт/м (рис. 4);

β - коефіцієнт, який враховує вплив пароутворення на питомий опір води (для водонагрівачів $\beta = 1$, для парових котлів $\beta = 1,25 \dots 1,35$).

Максимальна щільність струму, A/m^2 , на електродах

$$j_{\max} = k_n I / A_e,$$

де $k_n = 1,1 \dots 1,4$ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність щільності струму на поверхні електрода;

I – сила струму, стікаючого з електрода, A ;

A_e – площа поверхні електрода, m^2 .

Розрахунок електродних систем водонагрівачів і парових котлів заключається у виборі раціональної форми електродів, у визначенні їх розмірів, потужності і діапазону її регулювання, перевірці роботоздатності апарата по напруженості поля і щільності напруги на електродах.

Вихідні дані для розрахунку:

- проточних водонагрівачів – об'ємний розхід Q_v води, температура води $\Theta_{вх}$ на вході і $\Theta_{вих}$ на виході;
- непроточних – об'єм V нагрітої води, час t нагріву, початкова $\Theta_{п}$ і кінцева $\Theta_{к}$ температура води;
- парових котлів – масовий розхід Q_T пари, робочий тиск H_p і температура Θ_s кипіння води, а також питомий електричний опір ρ_{20} води при температурі $20^\circ C$.

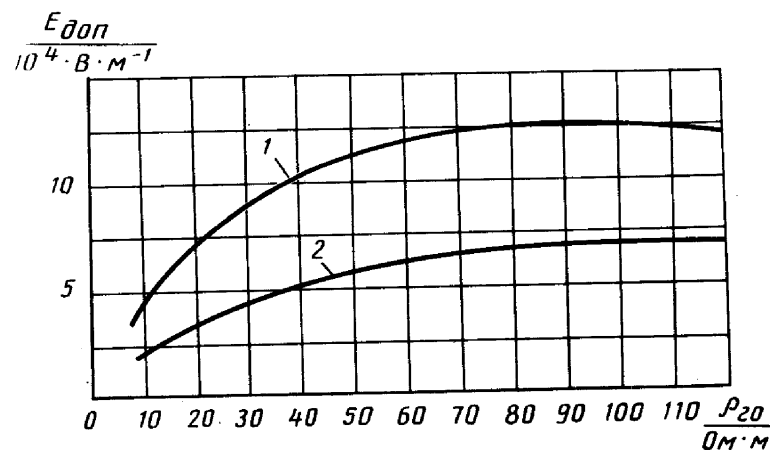


Рис. 4. Допустима напруженість електричного поля в електродних апаратах: 1 - для водонагрівачів; 2 - для парових котлів.

Фазний опір, Ом, може бути визначений:

по фазній напрузі U_{ϕ} , В, і потужності апарата P , Вт,

$$R_{\phi} = 3U_{\phi}^2/P$$

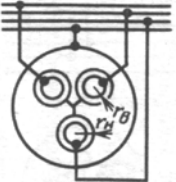

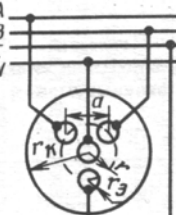
за геометричними розмірами електродної системи

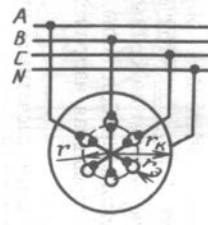

$$R_{\phi} = k_{e.g} \rho_{\ominus}/h,$$

де $k_{e.g}$ – геометричний коефіцієнт системи (табл.1);

h – висота електродів, м.

Таблиця 1 - Конструктивні схеми та розрахункові формули електродних систем водонагрівачів та парових котлів

Конструктивна схема електродної системи	Еквівалентна електрична схема: основна	Геометричний коефіцієнт *	Максимальна напруженість поля *	Примітка
	Y	$\frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_n}{r_b}$	$E_{\max} = \frac{U_{\phi}}{r_b \ln \frac{r_n}{r_b}}$	Оптимальне співвідношення $r_b/r_3 = 0,368$
	$\Delta(Y)$	$\frac{1}{4\pi} \ln \left[\frac{3r^2 (r_k^2 - r^2)^3}{r_3^2 (r_k^6 - r^6)} \right]$	$E_{\max} = \frac{0,43U_{\pi}}{\sqrt{3r_3} \lg \frac{2r_3 + a}{r_3 \sqrt{3}}}$	
	Y(Δ)	$(0,33 \dots 0,5) \frac{1}{4\pi} \ln \times$ $\times \left[\frac{3r^2 (r_k^2 - r^2)^3}{r_3^2 (r_k^6 - r^6)} \right]$	$E_{\max} = k \frac{U_{\phi}}{a}$ $k > 1$	

	$\Delta(Y) = \frac{1}{8\pi} \ln \left[\frac{3r^2 (r_k^4 - r^4)^2}{4r_k^2 (r_k^4 + r^4)} \right]$	Оптимальне співвідношення розмірів $r = 0,51 r_k$ $r_e = 0,21 r_k$
	$\Delta(Y) = a/b$ $E_{\text{макс}} = k \frac{U_{\text{л}}}{a}$ $k > 1$	

В проточних електродних водонагрівачах, які працюють в замкнутій системі теплозабезпечення без відбору води, при незмінній температурі води на вході і виході споживана потужність, Вт, постійна:

$$D = \frac{3U_{\delta}^2}{R_{\delta}} = \frac{3U_{\delta}^2}{\frac{k_{\dot{a},\dot{a}}}{h} \rho_{\dot{n}\delta}} = \frac{3U_{\delta}^2 h(20 + \Theta_{\dot{n}\delta})}{40 \rho_{20} k_{\dot{a},\dot{a}}}$$

де ρ_{cp} – середній питомий електричний опір води в апараті, Ом·м;

$\Theta_{\text{cp}} = (\Theta_{\text{ex}} + \Theta_{\text{вих}})/2$ - середня температура в апараті, °С.

В непроточних водонагрівачах потужність в процесі нагріву підвищується з підвищенням температури води.

Потужність, Вт, на початку нагріву

$$D_i = \frac{3U_{\delta}^2 h(20 + \Theta_i)}{40 \rho_{20} k_{\dot{a},\dot{a}} \beta} = D_{20} \frac{20 + \Theta_i}{40}$$

Потужність, Вт, в кінці нагріву

$$P_k = \frac{3U_{\phi}^2 h(20 + \Theta_k)}{40 \rho_{20} k_{e,z} \beta} = P_{20} \frac{20 + \Theta_k}{40}$$

Середня потужність

$$P_{\text{cp}} = \frac{P_n + P_k}{2} = \frac{V \rho_B c_B (\Theta_k - \Theta_n)}{t_{\eta}}$$

де V – об'єм води, м³;

ρ_B – щільність води, кг/м³;

c_B - питома теплоємність води, Дж/(кг·°С);

t – час нагріву води, с.

Час, с, нагріву води від початкової до кінцевої температури

$$t = \frac{40V\rho_B c_B k_{e.z} \rho_{20}}{3U^2_{\phi} h \eta} \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n} = B \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n},$$

де $\frac{40V\rho_B c_B k_{e.z} \rho_{20}}{3U^2_{\phi} h \eta} = B$ - постійний час нагріву, с.

Якщо час нагріву задано, то можна визначити висоту, м, електроду

$$h = \frac{40V\rho_B c_B k_{e.z} \rho_{20}}{3U^2_{\phi} t \eta} \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n}.$$

Площа поверхні електродів на одну фазу, м²,

$$A_e = \frac{40V\rho_B c_B k_{e.z} \rho_{20} b}{3U^2_{\phi} t \eta} \ln \frac{20 + \Theta_{\kappa}}{20 + \Theta_n}.$$

Потужність, Вт, непроточного електродного водонагрівача в любий момент часу:

$$P_t = P_n e^{t/B},$$

де t – час від початку включення водонагрівача, с.

Температура, °С, води в любий момент часу:

$$\Theta_t = (20 + \Theta_n) e^{t/B} - 20.$$

Як правило, перед початком роботи вибирають конструктивну схему електродної системи і приймають її геометричні розміри в поперечному перетині. В цьому випадку при розрахунку визначають висоту електродів.

Проточні водонагрівачі розраховують в наступній послідовності.

Знаходять потужність, Вт, апарату

$$P = Q_v \rho_B c_B (Q_{вих} - Q_{вх}) / \eta.$$

Визначають фазний опір $R_{\phi} = 3U^2_{\phi} / P$, Ом, середню температуру води в апараті $\Theta_{cp} = (\Theta_{вх} + \Theta_{вих}) / 2$, °С, і питомий електричний опір води при середній температурі $\rho_{cp} = 40\rho_{20} / (20 + \Theta_{cp})$, Ом·м.

По табличними даними знаходять геометричний коефіцієнт $k_{e.g}$ для прийняття конструктивної схеми електродної системи.

Визначають висоту h електродів.

Після цього визначають фактичну максимальну напругу $E_{\text{макс}}$ електричного поля і порівнюють її з допустимою, яку знаходять по графічним залежностям рисунка 4.

Щоб уникнути електричного пробую води і підвищеного зносу електродів фактична максимальна напруженість поля не повинна перевищувати допустиму.

Якщо $E_{\text{макс}}$ не вдається знайти розрахунковим шляхом (відсутні розрахункові формули), то роботоздатність апарата оцінюють орієнтовно, порівнюючи допустиму $j_{\text{доп}}$ і фактичну максимальну $j_{\text{макс}}$ щільності напруги на електродах.

2.4 Розрахунок систем електротеплопостачання (ЕТП) молочних ферм

Задача розрахунку ЕТП молочних ферм – визначення максимальних теплових навантажень, річних витрат електроенергії і вибір електротеплогенеруючих установок.

Методика розрахунку систем ЕТП молочних ферм викладена в літературі [8].

Теплову потужність, кВт, необхідну для підігріву припливного повітря тваринницьких приміщень, знаходять з рівняння теплового балансу:

$$\Phi = \Phi_{\text{огор}} + \Phi_{\text{вент. пов.}} - \Phi_{\text{тв.}}$$

де $\Phi_{\text{огор}}$, $\Phi_{\text{вент. пов.}}$ і $\Phi_{\text{тв.}}$ – теплові потоки відповідно через зовнішню огорожу, з видаленим вентиляційною системою повітрям, від тварин.

Тепловий потік, кВт, від тварин

$$\Phi_{\text{тв.}} = n(k_q q_{\text{тв.}} + q'_{\text{тв.}}),$$

де n - число тварин в приміщенні;

k_q – коефіцієнт, який враховує температуру повітря на тепловиділення тварин;

$q_{\text{тв.}}$ – тепловий потік від однієї тварини при температурі повітря 10°C , кВт;

$q'_{\text{ТВ}}$ – додатковий тепловий потік, виділений тваринами при відносній вологості вище 80% (приймається рівним 3% від $q_{\text{ТВ}}$).

Тепловий потік, кВт, через зовнішню огорожу

$$\Phi_{\text{опр}} = \left(\sum_1^i k_j A_j \right) (\Theta_B - \Theta_H) 10^{-3} = K_T (\Theta_B - \Theta_H),$$

де k_j – коефіцієнт теплопередачі і-ї огорожі, Вт/(м²·°C);

A_j – площа огорожі, м²;

Θ_B, Θ_H – температура внутрішнього і зовнішнього повітря, °C;

K_T – теплова характеристика приміщення, кВт/°C.

Коефіцієнт, Вт/(м²·°C), теплопередачі багатоярусних огорож

$$k = \frac{1}{1/\alpha_{\text{ВН}} + 1/\alpha_{\text{НАР}} + \sum h_j / \lambda_j}$$

де $\alpha_{\text{ВН}}, \alpha_{\text{НАР}}$ – коефіцієнт теплообміну на внутрішній і зовнішній поверхні огорожі, Вт/(м²·°C);

h_j – товщина і-го шару, м;

λ_j – теплопровідність матеріалу і-го шару огорожі, Вт/(м·°C).

Максимальне теплове навантаження молочної ферми визначають при розрахункових значеннях температури зовнішнього повітря [14] і температури зовнішнього повітря з розрахунком допустимого зниження температури внутрішнього повітря в холодний час (для корівників 5°C).

Тепловий потік, кВт, з видаленим повітрям розраховують з розрахунку прихованої теплоти пароутворення, - з врахуванням різниці вологовмісту внутрішнього і зовнішнього повітря.

$$\Phi_{\text{у.в}} = \frac{1}{3600} Q_p [c(\Theta_B - \Theta_H) + q(d_B - d_3) 10^{-3}]$$

де Q – повітрообмін приміщення, м³/год;

ρ – щільність повітря, кг/м³;

c – питома ізобарна теплоємність повітря, кДж/(кг·°C) [$c=1$ кДж/(кг·°C)];

q – питома теплота пароутворення, кДж/кг ($q=2500$ кДж/кг);

d_B і d_3 – вологовміст відповідно внутрішнього і зовнішнього повітря, г/кг.

Вологовміст d_B і d_3 знаходять по I-d-діаграмі відповідно при допустимих значеннях температури і відносної вологості внутрішнього повітря і при розрахункових значеннях параметрів зовнішнього повітря.

Повітрообмін, м³/год, визначають при умові забезпечення в приміщенні допустимої концентрації вологи і вуглекислого газу:

$$Q_{H_2O} = \frac{1,1W_{me}}{p(d_B - d_H)10^{-3}} = \frac{1,1n(k_w w + w)}{p(d_B - d_H)10^{-3}};$$

$$Q_{CO_2} = k_{CO_2} / (c_B - c_H),$$

де W_{TB} – кількість водяних парів, що виділені тваринами, кг/ч;

k_w – коефіцієнт, що враховує зміни вологовиділення тварин при зміні температури повітря;

w – кількість водяних парів, кг/год, виділених однією твариною при температурі повітря 10°C;

w' – додаткова кількість водяних парів, кг/год, виділених тваринами при відносній вологості більше 80% (приймається 3% від w)

k_{CO_2} – кількість вуглекислого газу, виділеного тваринами, л/год;

c_B – допустимий зміст вуглекислого газу в зовнішньому повітрі, л/м³ ($c_H = 0,3$ л/м³).

Кількість вологи і вуглекислого газу, виділених тваринами, вказана в [11].

З двох вирахованих значень повітрообміну для розрахунку приймають більше. Для великої рогатої худоби, як правило, $Q_{H_2O} > Q_{CO_2}$.

З врахуванням наведеного вище:

$$\Phi = (0,306 \frac{W_{me}}{d_B - d_H} + K_T)(\Theta_B - \Theta_H) + 0,764W_{me} - \Phi_{me}.$$

По розрахунковому тепловому навантаженню вибирають число і потужність електрокалориферів. Відповідно до умови надійності тепlopостачання в приміщенні повинно бути не менше двох електрокалориферів.

Гранична температура зовнішнього повітря, °С, при якій в корівнику підтримується нормована температура повітря 10 °С за рахунок тепловиділення тварин:

$$\Theta_{H.GP.} = \Theta_B - \frac{\Phi_{me} - 0,764W_{ж}}{K_T + 0,306W_{me} / (d_B - d_3)}$$

Температура, °С, зовнішнього повітря, при якій, працюючи з повною потужністю, електрокалорифер підтримує в приміщенні розрахункові параметри повітря,

$$\Theta'_{H.P.} = \Theta_B - \frac{\Phi + \Phi_{me} - 0,764W_{me}}{K_T + \frac{0,306W_{me}}{(d_B - d_3)}}$$

$\Theta_{H.GP.}$ і $\Theta'_{H.P.}$ обчислюють методом послідовних наближень. Задавшись яким-небудь значенням $\Theta_{H.GP.}$, визначають перше наближення $\Theta_{H.GP1}$. Якщо різниця між $\Theta_{H.GP0}$ і $\Theta_{H.GP1}$ більше одиниці, то задаються новим значенням $\Theta_{H.GP}$ і розрахунок повторюють.

Умовна середня температура, °С, розрахункового періоду

$$\Theta_{H.SP.} = \frac{F(\Theta_{H.GP.}) + \Theta'_{H.P}T(\Theta'_{H.P})}{T(\Theta_{H.GP})}$$

Функція $F(\Theta)$ і $T(\Theta)$ знаходять в літературі [8].

В таблиці 2 приведені характерні для України значення цих функцій.

Таблица 2 - Значення функцій T і F

$\Theta_H, ^\circ C$	T, год	F, год·°C	$\Theta_H, ^\circ C$	T, год	F, год·°C
-1	2886	-23822	-16	319	-6264
-2	2575	-23357	-17	256	-5224
-3	2289	-22640	-18	197	-4192
-4	2063	-21849	-19	152	-3359
-5	1852	-20899	-20	112	-2579
-6	1633	-19695	-21	84	-2005
-7	1441	-18447	-22	61	-1511
-8	1270	-17164	-23	44	-1128
-9	1103	-15745	-24	32	-846
-10	964	-14424	-25	23	-626
-11	835	-13070	-26	15	-422
-12	693	-11437	-27	11	-316
-13	589	-10137	-28	7	-206
-14	485	-8733	-29	4	-120

-15	381	-7225	-30	2	-61
-----	-----	-------	-----	---	-----

Середня теплова потужність, кВт, необхідна для підігріву проточного повітря,

$$\Phi_{cp} = (0,306 \frac{W_{m6}}{d_B - d_3} + K_T)(\Theta_B - \Theta_{3,CP}) + 0,764W_{m6} - \Phi_{m6}.$$

Річна витрата енергії, кВт·год, на підігрів повітря:

$$\epsilon = \Phi_{CP} T_{\Theta_{3,CP}}.$$

Теплова потужність, кВт, необхідна для опалення додаткових приміщень ферми з незначною кратністю повітрообміну, визначається тепловим потоком, кВт, через зовнішню огорожу.

$$\Phi = \sum_1^i (k_i A_i \gamma_i)(\Theta_B - \Theta_3),$$

де γ_i - додаткові втрати на інфільтрацію.

Річний розхід енергії, кВт·ч, на опалення

$$\epsilon = \left[\sum_1^i (k_i A_i \gamma_i) \right] (\Theta_B - \Theta_{3,CP}) T_{OP},$$

де $\Theta_{3,CP}$ і T_{OP} - середня температура і продовжуваність опалювального періоду для приміщень без значних внутрішніх виділень теплоти [8].

Додаткові приміщення ферм опалюють від децентралізованих систем електричного опалення за допомогою електроконвекторів чи електродних водонагрівних установок (ЕВУ) з теплоакумуючими ємностями при використанні позапікової електроенергії.

Потужність ЕВУ, кВт

$$P_{EBy} = 24 \Phi / t,$$

де Φ – розрахункова теплова потужність опалення, кВт;

t – продовженість нічного провалу добового графіку навантаження, год.

Об'єм, м³, теплоакуючої ємності

$$V_{AKK} = 3600 \Phi (24 - t) / [pc(95 - \Theta_{розр})].$$

де ρ і c – щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$, і питома теплоємність, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ води;
 95 – температура води в кінці “зарядки”, $^\circ\text{C}$;
 $\Theta_{\text{розр}}$ - температура води в кінці “розрядки”, $^\circ\text{C}$.

В приміщеннях з періодичними виділеннями теплоти, газів і вологи (доїльні і молочні відділення, пункти штучного запліднення, ветсанпропускники та ін.) крім опалення, розрахованого аналогічно опаленню додаткових приміщень, необхідна періодична вентиляція з підігрівом повітря.

Розрахункова теплова потужність, кВт , використана для підігріву приточного повітря приміщень з періодичним нахожденням тварин,

$$\Phi = 0,306 \frac{W_{me}}{d_B - d_3} (\Theta_B - \Theta_3) + 0,764 W_{me} - \Phi_{me}.$$

В цьому випадку при визначенні $\Phi_{\text{ТВ}}$ і $W_{\text{ТВ}}$ враховують середнє число тварин, які одночасно знаходяться в приміщенні протягом 1 години.

Воду на фермах підігрівають в акумуляційних електричних апаратах САОС, вибраних по їх місткості і добовій потребі гарячої води для даного приміщення [8].

2.5 Визначення параметрів, вибір електрокалориферної установки і перевірочний розрахунок електрокалорифера

Орієнтований розрахунок параметрів і вибір електрокалориферного пристрою типу СФОЦ проводять по номограмам, показаними на малюнку 5 [6].

По номограмі можна визначити температуру Θ_H нагрівача при заданих значеннях подачі Q вентиляційного повітря, температуру $\Theta_{\text{в}}$ оточуючого повітря і прийнятому типорозмірі електрокалориферної установки. Хід розрахунку показаний лінією а.

Використовуючи цю ж номограму, можна вирішити зворотну задачу – вибрати необхідний типорозмір електрокалориферної установки за заданими значеннями розходу і температури зовнішнього повітря при допустимій

максимальній температурі нагрівача (для опалювальних калориферів 180°C). По точці перетину ліній b' і b'' визначають типорозмір пристрою. Потрібно пам'ятати, що по номограмі вибирають типорозмір електрокалориферного пристрою не по використаній потужності, а по геометричним розмірам прохідного перерізу електрокалорифера, при яких забезпечується велика швидкість повітря і відповідно інтенсивність тепловіддачі нагрівача.

По номограмі рисунка 6 можна визначити температуру повітря на виході з електрокалориферної установки вибраного типорозмірам по заданими значеннями подачі Q і температури зовнішнього повітря $\Theta_{\text{окр}}$. Хід розрахунку показаний лінією a . По точці перетину лінії b' і b'' вибирають типорозмір електрокалориферної установки по даним розрахунку і температурі повітря на виході.

З розрахунком обмеженої температури нагрівача калориферів типорозмір пристрою визначають в такій послідовності. По рисункам 5 і 6 знаходять типорозмір пристрою для заданих Θ і $\Theta_{\text{вих}}$. Якщо типорозмір на рисунках 5 і 6 співпадають, то вибір можна рахувати закінченим. Якщо потужність пристрою на рисунку 5 перевищує значення, получене на рисунку 6, то слідє перевірити, чи може електрокалорифер робити з відключеною секцією чи необхідно вибрати калорифер меншого типорозміру. Декілька калориферів меншого типорозміру можна встановити послідовно по напрямленню руху повітря. При цьому їх сумарна потужність повинна відповідати значенню, отриманому по рисунку 6. Взаємодія декількох електрокалориферів застосовують в тому випадку коли потужність пристрою по рисунку 5 менше значення, визначеного на рисунку 6.

При проектуванні і експлуатації електрокалориферних пристроїв приходитьсь визначати аеродинамічний опір системи повітрообміну, щоб забезпечити потрібний розхід повітря в вентиляційній системі при вентиляторах чи електрокалориферних пристрої заданих типів. Цю задачу

вирішують, співставляючи напірно-розхідну характеристику вентилятора і аеродинамічну характеристику електрокалорифера (рис.7).

Невідповідність по координаті Δp між характеристикою вентилятора і аеродинамічної характеристики електрокалорифера визначають аеродинамічний опір роздаючих трубопроводів, при якому вентилятор може забезпечити задане значення подачі.

При аеродинамічному опорі роздаючих трубопроводів знаходять їх геометричні розміри (протяжність, переріз, геометрію поворотів та ін.).

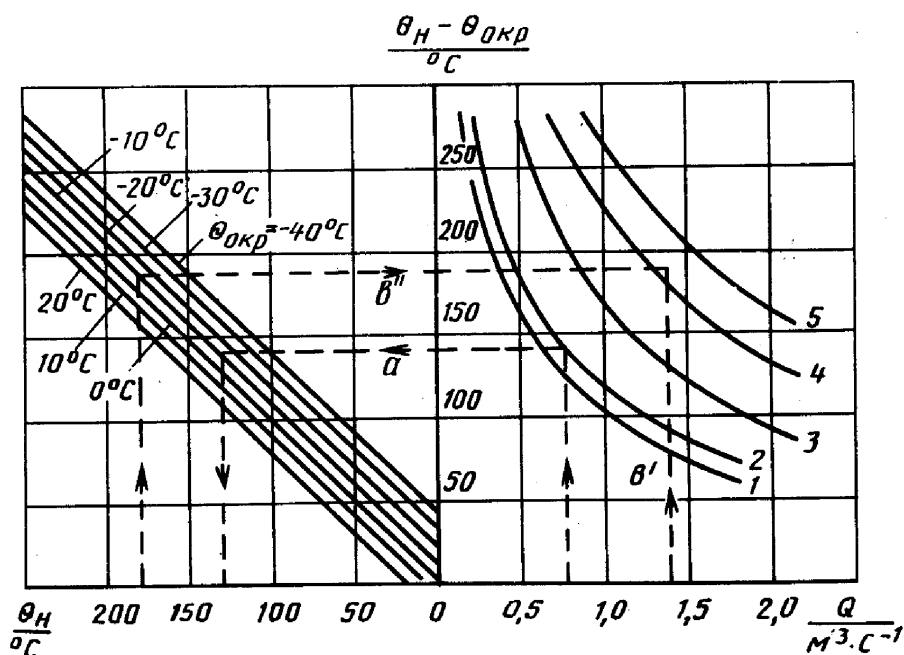


Рис.5. Номограма для визначення температури ТЕНа в електрокалориферних установках серії СФОЦ:

1 –СФОЦ – 16/0,5; 2 – СФОЦ-25/0,5; 3 –СФОЦ 40/0,5; 4 – СФОЦ 60/0,5;
5 – СФОЦ-100/0,5

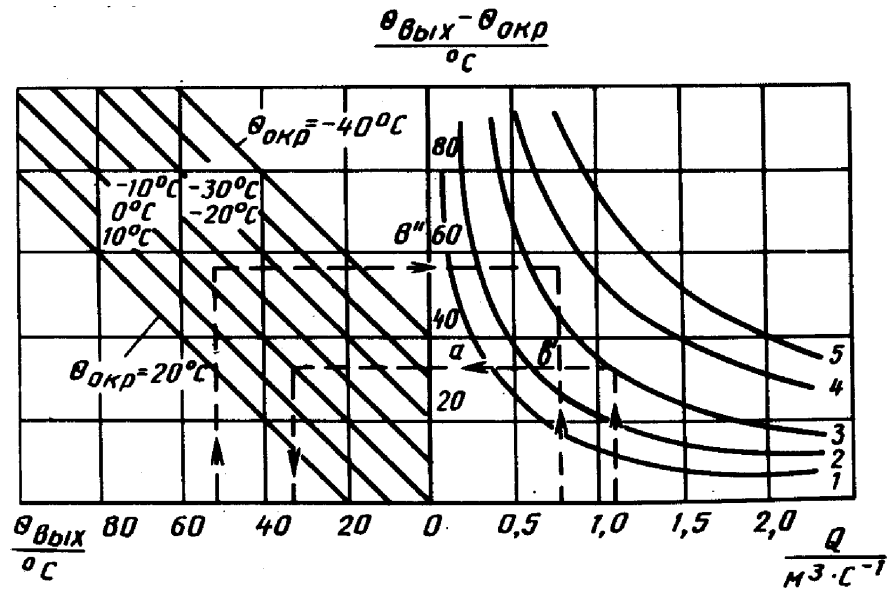


Рис.6. Номограма для визначення температури повітря, яке виходить з еоелектрокалориферних установок СФОЦ:

1 – СФОЦ-16/0,5; 2 – СФОЦ-25/0,5; 3- СФОЦ-40/0,5; 4 – СФОЦ-60/0,5; 5 – СФОЦ-100/0,5.

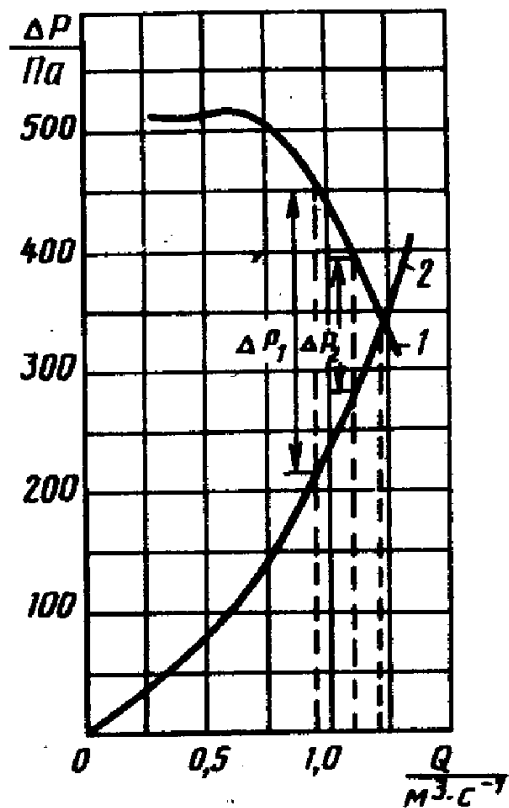


Рис.7. До визначення допустимого аеродинамічного опору роздаючих повітроводів:

1 – напорно-розхідна характеристика вентилятора Ц-4-70 №6 з частотою обороту робочого колеса $23,5^{-1}$; 2 – аеродинамічна характеристика електрокалорифера СФО-100.

2.6 Розрахунок електронагрівача для підігріву підлоги у тваринницьких приміщеннях

Для підігріву підлоги часто використовують провoda ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ і ПНВСВ.

Підігрів підлоги розраховують в такій послідовності [1].

Повний (вверх і вниз) поверхневий тепловий потік (питома поверхнева потужність) підігрітої підлоги, $Вт/м^2$,

$$\Phi_A = \alpha(\Theta_{II} - \Theta_B) / \eta,$$

де α - коефіцієнт теплоподачі підлоги, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$ ($\alpha = 10 Вт/м^2 \cdot ^\circ C$);

Θ_{II} і Θ_B - температура відповідно поверхні підлоги і повітря в приміщенні, $^\circ C$ (приймають по ОНТП в залежності від виду і вікової групи тварин і птиці);

η - коефіцієнт, який враховує втрату теплоти в ґрунт (при наявності гідро- і теплоізоляції $\eta = 0,8 \dots 0,85$).

Крок закладки α і температура $\Theta_{жс}$ поверхні провoda – основні розрахункові величини електрообігрітої підлоги Їх визначають графічним шляхом взаємного рішення двох рівнянь: $\Theta_{жс} = f(\Phi_A, \alpha)$ і $\Theta_{жс} = \varphi(\Phi_A, \alpha)$. Перше рівняння характеризує теплообмін нагрітого провoda з навколишнім середовищем, а друге дає зв'язок між електричними параметрами нагрівача.

Рівняння $\Theta_{жс} = f(\Phi_A, \alpha)$ можна записати на основі закону Ома для теплового ланцюга

$$\Phi = (\Theta_{жс} - \Theta_{II}) / R_T \text{ або } \Theta_{жс} - \Theta_{II} = \Phi R_T.$$

Враховуючи, що лінійний тепловий потік проводу дорівнює $a\Phi_A$, а термічний опір тепловіддачі складається з термічного опору ізоляції проводу $R_{Тіз}$ і термічного опору підлоги $R_{Тп}$, для провода довжиною 1 м можна записати

$$\Delta\Theta = \Theta_{жс} - \Theta_{П} = \Phi_A \alpha (R_{Тіз} + R_{Тп}).$$

Термічний опір ізоляції проводу довжиною 1 м визначають по виразу термічного опору для циліндричної стінки

$$R_{Тіз} = \ln \frac{D}{d} / (2\pi\lambda_u),$$

де D – зовнішній діаметр проводу, м; d – діаметр жили проводу, м; λ_i – теплопровідність матеріалу ізоляції проводу, Вт/(м·°С).

Термічний опір підлоги можна розраховувати по відомому в теорії теплопередачі вираженню, якщо паралельно розташовані нагрівачі, діаметр та температура яких однаково розміщені в напівобмеженому масиві

$$R_{Тн} = \eta \ln \left(\frac{2a}{\pi D} \operatorname{sh} \frac{2\pi h}{a} \right) / (2\pi\lambda_\sigma),$$

де $\operatorname{sh} \frac{2\pi h}{a} = \frac{e^{\frac{2\pi h}{a}} - e^{-\frac{2\pi h}{a}}}{2}$ – гіперболічний синус;

h – глибина, на яку закладено провід у масив полу,

λ_σ – тепло провідність бетону, Вт/(м·°С).

З врахуванням цих рівнянь зміну температури можна записати у наступному вигляді:

$$\Delta\Theta = \Theta_{жс} - \Theta_n = \Phi_A a \left[\frac{\ln \frac{D}{d}}{2\pi\lambda_u} + \frac{\eta}{2\pi\lambda_\sigma} \ln \left(\frac{2a}{\pi D} \operatorname{sh} \frac{2\pi h}{a} \right) \right]$$

Для того щоб побудувати криву $\Theta_{жс} = f(\Phi_A, a)$ задаються трьома – чотирма значеннями a (наприклад, 0,04; 0,06; 0,08; та 0,1 м) по рівнянню(91) для цих значень a та прийнятого

значення Φ_A знаходять $\Delta\Theta$ та визначають $\Theta_{жс} = \Delta\Theta + \Theta_n$.

Рівняння кривої $\Theta_{жс} = \varphi(\Phi_A, a)$ можна узяти з визначень для електричного опору проводу довжиною 1 м.

$$R_1 = k_R R_{20} [1 + \alpha_R (\Theta_{ж} - 20)] = k_R \rho_{20} \frac{4[1 + \alpha_R (\Theta_{ж} - 20)]}{\pi d^2};$$

$$R_1 = \frac{U_1^2}{a \Phi_A} \cos^2 \varphi.$$

Порівнюючи праві частини цих рівнянь, в нас вийде

$$\Theta_{ж} = \frac{1}{\alpha_R} \left(\frac{\pi d^2 U_1^2 \cos^2 \varphi}{4 k_R \rho_{20} a \Phi_A} - 1 \right) + 20,$$

де U_1 -напруга проводу довжиною 1 м, В/м;

k_R - відношення сталюого дроту перемінному струму до опору сталюого дроту постійному струму при тійже температурі ($k_R = 1 + 0,0176 d^{2,2}$, де d - діаметр перетину дроту ,мм);

ρ_{20} питомий опір залізного дроту Ом·м.

Для того щоб побудувати криву $\Theta_{ж} = \varphi(\Phi_A, a)$, для тих же значень кроку a визначають температуру $\Theta_{ж}$ - поверхні дроту.

Побудувавши криві $\Theta_{ж} = f(\Phi_A, a)$ та $\Theta_{ж} = \varphi(\Phi_A, a)$, знаходять значення, які відповідають кроку вкладання a та температури $\Theta_{ж}$ поверхні дроту як координати точки перетину цих кривих.

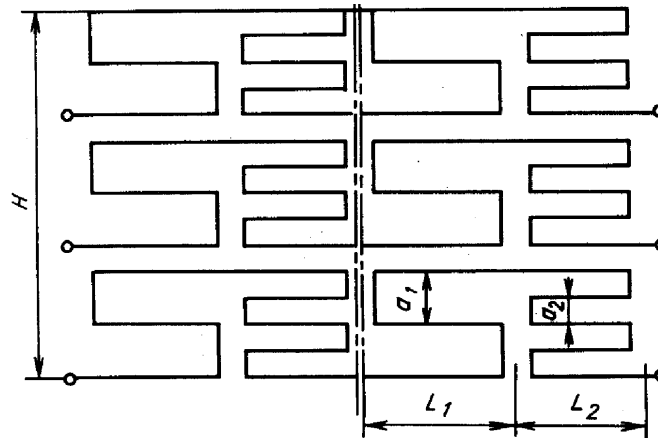


Рис. 8. До розрахунку електронагрівної підлоги в свинарнику-маточнику.

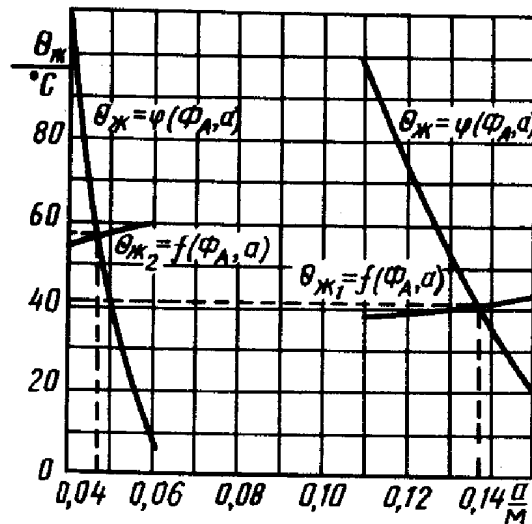


Рис. 9. Графічне вирішення рівнянь $\theta_{ж}=f(\Phi_A, a)$, $\theta_{ж}=\varphi(\Phi_A, a)$ для нагрівального проводу при електрообігріві підлоги.

2.7 Розрахунок електрообігріву парників та теплиць

Потужність установок електрообігріву культиваційних приміщень повинна бути достатньою для компенсації максимальних теплових втрат в навколишньому середовищі в нічний час, коли відсутня сонячна радіація, а значення зовнішньої температури мінімальне.

Рівняння теплового балансу приміщення закритого ґрунту має вигляд

$$\Phi_{об} = \Phi_{огр} + \Phi_{инт} + \Phi_{гр},$$

де $\Phi_{об}$ – теплова потужність електронагрівальної установки, Вт;

$\Phi_{огр}$ – тепловий потік, втрачений через окремі огорожі, Вт;

$\Phi_{инт}$ – тепловий потік, втрачений в зв'язку з інфільтрацією повітря через нещільність огорожі, Вт;

$\Phi_{гр}$ – тепловий потік в ґрунт, Вт.

Потужність, Вт, нагрівного елемента

$$P = \Phi_{об} / \eta$$

де η – к.п.д. електронагрівальний пристрій.

Якщо пристрій електронагріву знаходиться в культиваційному приміщенні, то $\eta = 1$.

Втрати теплоти $Q_{огр}$ легко визначають по формулі втрат через рівну стіну. Чітко розрахувати $Q_{інф}$ і $Q_{гр}$ важко тому, що втрати на інфільтрацію залежать від конструкції і стану будівельної частини будівлі, а розрахунок втрат в ґрунт ускладнений через труднощі опису картини розтікання теплового поля. При цьому потужність, потрібну для електронагріву парника чи теплиці, можна вирахувати лиш наближено.

Наближатися до високої точності розрахунку немає необхідності, так як він проводиться для якихось середніх кліматичних умов, і тому задача в значній мірі опосередковується.

Основна доля втрат (приблизно 70%) приходить на світлопроникну огорожу (скло чи плівку).

З розрахунку, сказаного в практичних розрахунках [10] потужність, кВт, установок для електрообігріву парників і теплиць визначають по наближеній формулі

$$P = k(\Theta_{вн} - \Theta_{нар})A_{огр},$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, приведений до площі світлопроникної огорожі, Вт/(м²·°С). Коефіцієнт залежить від швидкості повітря (рис.10);

$\Theta_{вн}$ - температура всередині парника чи теплиці, °С;

$\Theta_{нар}$ - розрахункова зовнішня температура, °С (відповідно до вимог СНиП 2.10.04-85 для зимніх теплиць в якості

$\Theta_{нар}$ - розрахункова зовнішня температура, °С (в залежності з вимогами СНиП 2.10.04-85 для зимніх теплиць в якості

$\Theta_{нар}$ - необхідно брати середню температуру найбільш холодних днів з забезпеченістю 0,92, а для весняних теплиць – середню температуру найбільш холодного місяця за період експлуатації, знижену на половину максимальної добової амплітуди температури повітря);

$A_{огр}$ – площа світлопроникної огорожі, м².

При комбінованому (грунтово-повітряному) підігріві розрахункову потужність ділять між нагрівачами ґрунту P_r і повітря P_n в такому відношенні: для теплиць $P_r/P_n=1 : 1$ або $1:2$, для парників – $1:1$ або $2:1$.

Для розрахунку нагрівних елементів парників і теплиць використовують експериментальні графіки залежності температури нагрівача від діаметра дроту, сили струму, потужності і напруги дроту довжиною 1м.

Особливість розрахунку заключається в тому, що довжину l нагрівного елемента приймають на початку розрахунку в залежності від геометричних розмірів культивацийного приміщення і схеми з'єднання нагрівачів, а діаметр дроту нагрівача розраховують. Наприклад, якщо вздовж парника встановлено два нагрівача, то при послідовному з'єднанні нагрівачів, чотирьох парників загальна довжина дроту буде $21,5 \times 2 \times 4 = 172$ м.

Нагрівні елементи з сталюого дроту в азбоцементних чи гончарних трубах розраховують шляхом одночасного графічного рішення двох рівнянь: $\Theta_{H.C} = f(d)$ і $\Theta_{H.C} = \varphi(d)$, де $\Theta_{H.C}$ - температура нагрівного елемента, °С.

Рівняння $\Theta_{H.C} = f(d)$ відображає умови теплообміну нагрівача і записується на основі законів теплопередачі.

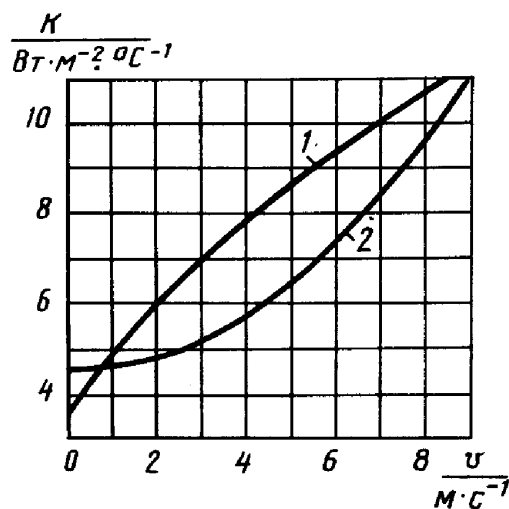


Рис.10. Значення приведенного коефіцієнта теплопередачі через скління теплиць (1) і парників (2) при різній швидкості вітру.

Для нагрівача повітря

$$\Theta_{H.C_B} = \Delta\Theta_1 + \Delta\Theta_2 + \Delta\Theta_3 + \Theta_B,$$

де $\Delta\Theta_1$ - температурний перепад між нагрівачем і внутрішньою поверхнею труби, °С;

$\Delta\Theta_2$ - перепад температури в трубі, °С;

$\Delta\Theta_3$ - перепад температури між зовнішньою поверхнею труби і повітрям в парнику, °С;

Θ_B - температура повітря в парнику, °С.

Величини $\Delta\Theta_1, \Delta\Theta_3$ як функції лінійної потужності P_1 і діаметру дроту d і труби D визначають по кривим рисунків 11 і 12.

Перепад температури в трубі

$$\Delta\Theta_2 = \frac{P_1}{2\pi\lambda} \ln \frac{D_H}{D_B},$$

де λ - теплопровідність матеріалу труби, Вт/(м²·°С);

D_H і D_B - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труби, м.

Для азбоцементних труб діаметром 0,05...0,1 м з розрахунку значення λ, D_H, D_B можна прийняти $\Delta\Theta_2 = 0,06P_1$.

Для нагрівача ґрунту

$$\Theta_{H.C.гp} = \Delta\Theta_1 + \Delta\Theta_2 + \Delta\Theta_{пес} + \Delta\Theta_{гp} + \Theta_{гp}.$$

Тут $\Delta\Theta_1, \Delta\Theta_2$ - те ж, що і для нагрівного елемента повітря, $\Delta\Theta_{пес}$ - температурний перепад в шарі піску, °С:

$$\Delta\Theta_{пес} = 0,31P_1 \ln \left[\frac{2h_1}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h_1}{D}\right)^2 - 1} \right];$$

$\Delta\Theta_{гp}$ - температурний перепад в шарі ґрунту, °С:

$$\Delta\Theta_{гp} \approx 1,1h_2iP_1,$$

де h_1 і h_2 - товщина шару відповідно піску і ґрунту, м (рис.13); $\Theta_{гp}$ - температура поверхні ґрунту, °С.

Рівняння $\Theta_{H.C} = \varphi(d)$, отримане з виразу для електричного опору сталевий проволки довжиною 1м, діаметром при робочій температурі $\Theta_{H.C}$, характеризує залежність температури дроту від діаметру, потужності і напруги. При $p_{20} = 0,13 \cdot 10^{-6}$ Ом · м, $\alpha_R = 0,0045$ 1/°С і $\cos \varphi = 0,93$:

$$\Theta_{H.C} = 222(5,4 \cdot 10^6 U_1^2 d^2 / k_R P_1 - 1) + 20;$$

де $U_1 = U/l_{H.C}$ – потужність дроту довжиною 1м, Вт/м;

d – діаметр дроту м; k_R відношення опору сталюї проволки перемінній напрузі і опору сталюго дроту постійній напрузі при тій же температурі ($k_R = 1 + 0.0176d^{2.2}$); $P_1 = P_{H.C} / l_{H.C}$ – потужність дроту довжиною 1м, Вт/м. Тут U – напруга, яка підводиться до нагрівного елемента, В;

$l_{H.C}$ – довжина нагрівного елемента, м;

$P_{H.C}$ – потужність нагрівного елемента, Вт.

Шляхом сумісного графічного рішення рівняння $\Theta_{H.C} = f(d)$ і $\Theta_{H.C} = \varphi(d)$ визначають діаметр і температуру дроту, яка не повинна перевищувати 300°C.

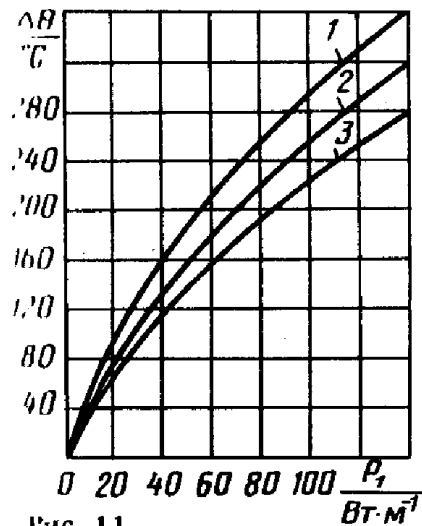


Рис11. Залежність перепаду температури між нагрівним дротом і внутрішньою поверхнею азбоцементної труби від лінійної потужності:

1 – $d = 2$ мм; 2 – $d = 3$ мм; 3 – $d = 4$ мм

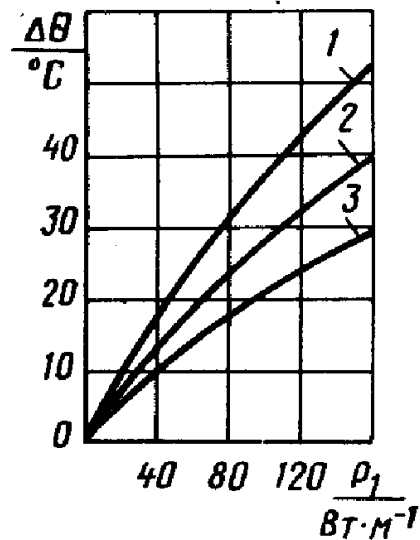


Рис 12. Залежність перепаду температури між зовнішньою поверхнею азбоцементної труби і повітрям від лінійної потужності:

1 – $D = 70$ мм; 2 – $D = 100$ мм; 3 – $D = 130$ мм

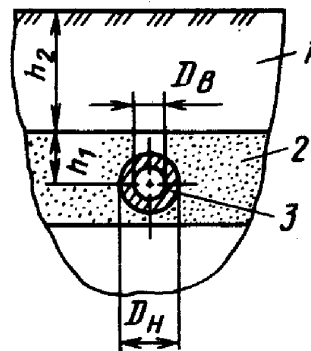


Рис.13. Схема розміщення нагрівного елемента ґрунту:

1 – ґрунт; 2 – пісок; 3- ізоляційна труба

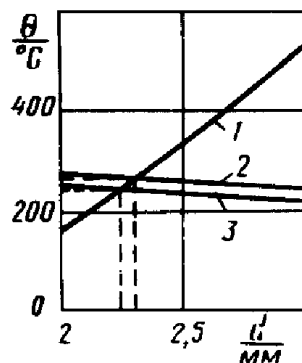


Рис. 14. Графічне вирішення рівнянь $\theta=f(d)$, $\theta=\varphi(d)$ для сталюго дроту при електрообігріві парників: 1 - $\theta_{не}=\varphi(d)$; 2 - $\theta_{не \text{ ґрунту}}=\varphi_2(d)$; $\theta_{не \pi}=\varphi_1(d)$.

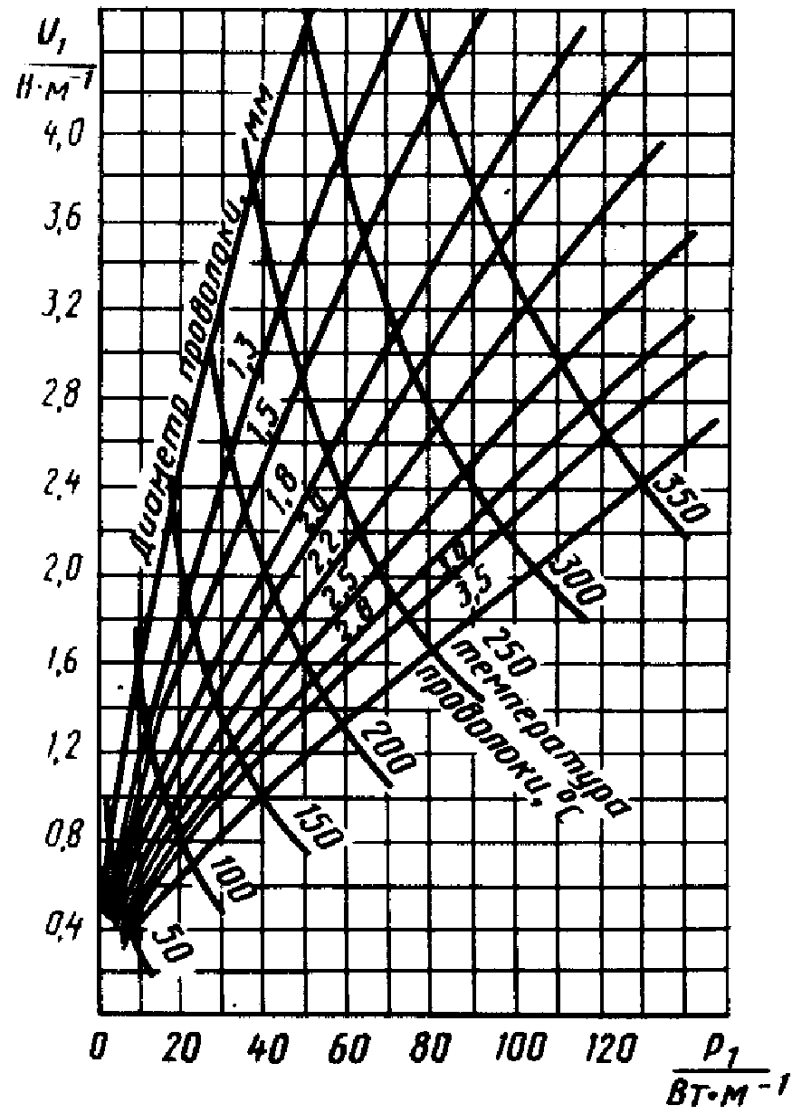


Рис. 15. Залежність діаметру та температури сталюго дроту від лінійної напруги (на 1 м довжини) та лінійної потужності при електрообігріві парників.

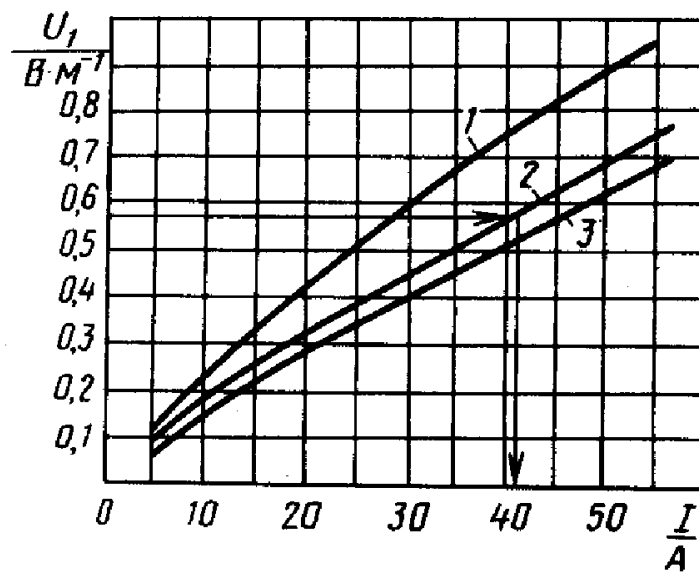


Рис. 16. Залежність втрати напруги на 1 м сталюого дроту від сили струму: 1 - d = 4

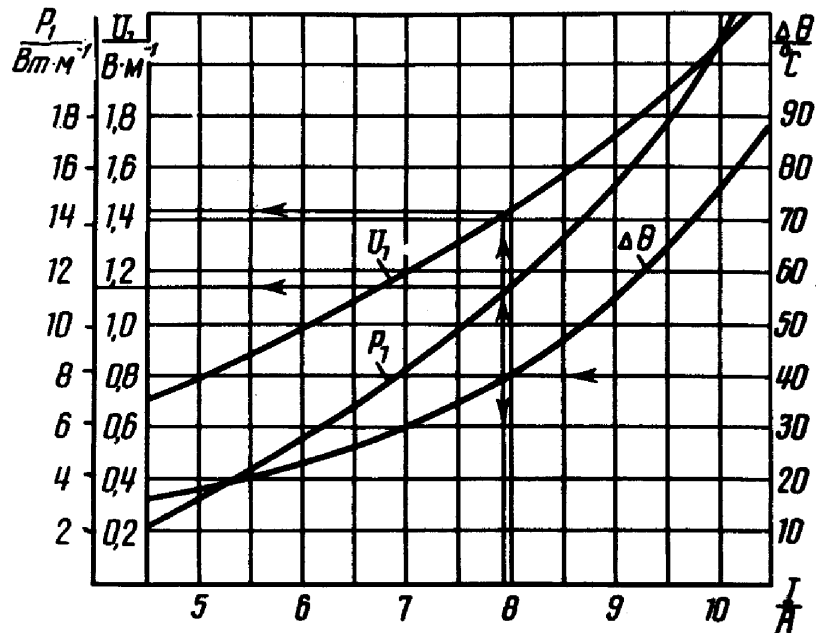


Рис. 17. Номограма для визначення електрообігріву ґрунту в парниках і теплицях нагрівальним проводом.

2.8 Розрахунок індуктора для високоякісного загартовування деталей

Індуктори виготовляють з матеріалів високої електропровідності, наприклад із міді [3,10]. Найбільш вигідно нагрівати індукційним способом матеріал з високою магнітною проникністю. Глибина, м, проникнення сили струму в нагрітий матеріал.

$$\Delta = 503\sqrt{p_{\alpha}/(f\mu_r)},$$

де p_{α} - питомий опір нагрітого матеріалу, Ом·м;

f – частота питаючої мережі, Гц;

μ_r - відносна магнітна проникність.

Приблизно параметри індуктора можна розраховувати, використовуючи графіки подовженості t_K нагріву і питомої потужності p_0 (рис.18), напруга U_1' на одному витку індуктора і сили струму I_1' в індукторі (рис.19).

Для розрахунку необхідно знати діаметр деталі D_2 , ширину a_2 закалюваного на ній шару, глибину x_k закали, частоту f напруги установки, потужність U на індукторі. Схема циліндричного індуктора з деталлю показана на рисунку 20.

Розрахунок ведуть в наступному порядку.

По заданим діаметру деталі і товщині закали по графікам рисунка 18 визначають продовженість t_k нагріву, s , і питому потужність p_0 , кВт/м². Потім розраховують потужність, кВт, підведену до індуктора для закали шару деталі шириною a_2 , м,

$$P_i = p_0 \pi D_2 a_2 / \eta_i,$$

де η_i - к.п.д. індуктора.

По діаметру деталі і прийнятому значенню зазору h_3 , м, між деталлю і індуктором визначають діаметр, м, індуктора

$$D_1 = D_2 + 2h_3.$$

На графіках рисунка 19 напруга на одновитковому індукторі і сила струму в індукторі дані в залежності від умовного діаметру D_1 індуктора (при зазорі між індуктором і деталлю $h_3=0,003$ м) при потужності індуктора $P_i=100$ кВт і частоті живлення $f=250$ кГц. Тому отримані на графіку рисунка 19 значення U'_i і I'_i потрібно перерахувати на фактичне значення діаметру по наступним формулам:

$$U_{il}' = U'_i (D_1 / D_1^o)^2 8,94 \times 10^{-6} \sqrt{P_i} \sqrt{f^3},$$

де D_1^o – умовний діаметр індуктора, м, при зазорі $h_3=0,003$ м;

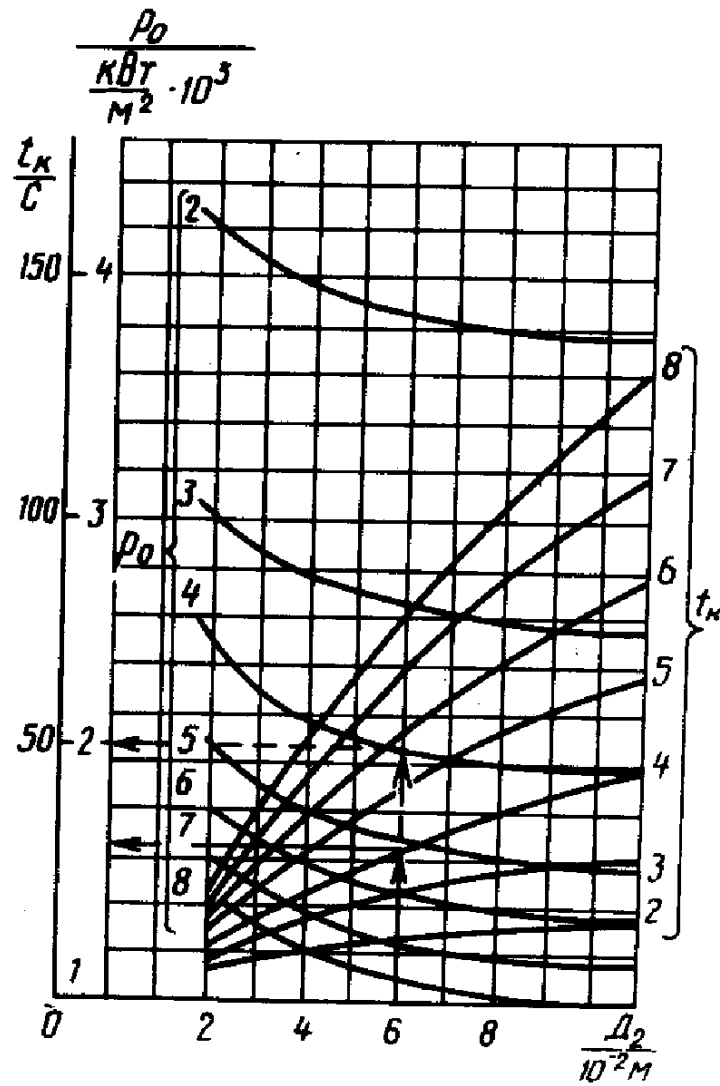


Рис.18. Залежність продовженості t_k нагріву і питомої потужності p_0 від діаметру D_2 деталі при глибині x_k закалки (цифри у кривих показують глибину закалки в міліметрах).

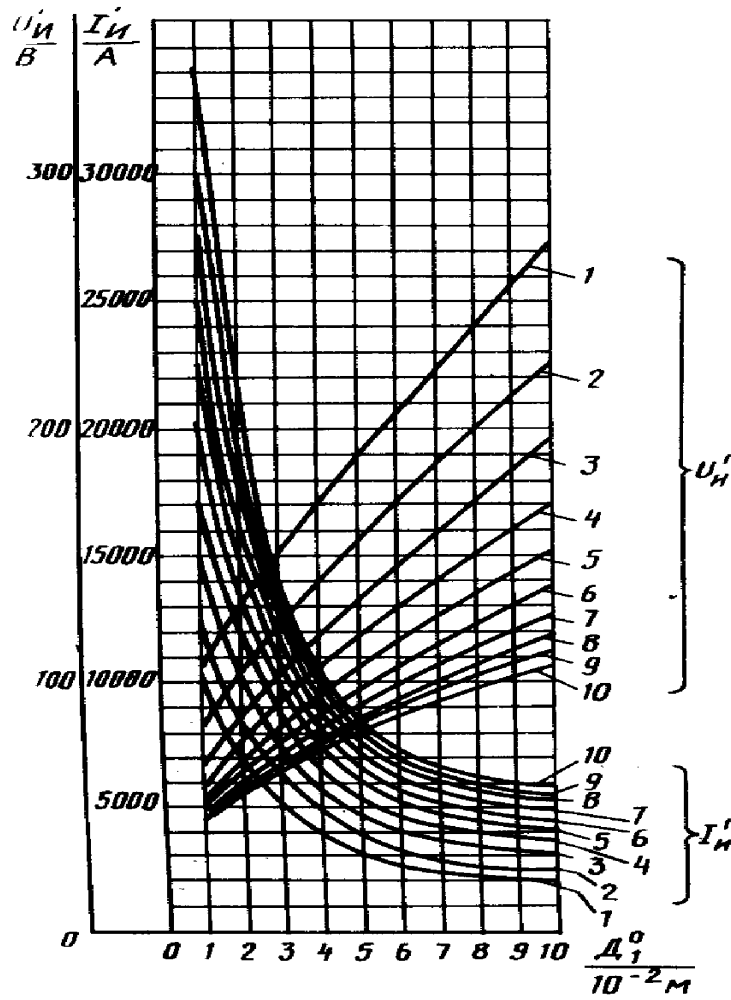


Рис.19. Залежність напруги U_i' на одновитковому індукторі і силі струму I_i' в індукторі від умовного діаметру D_1^0 індуктора (цифри у кривих вказують ширину індуктивного проводу в сантиметрах).

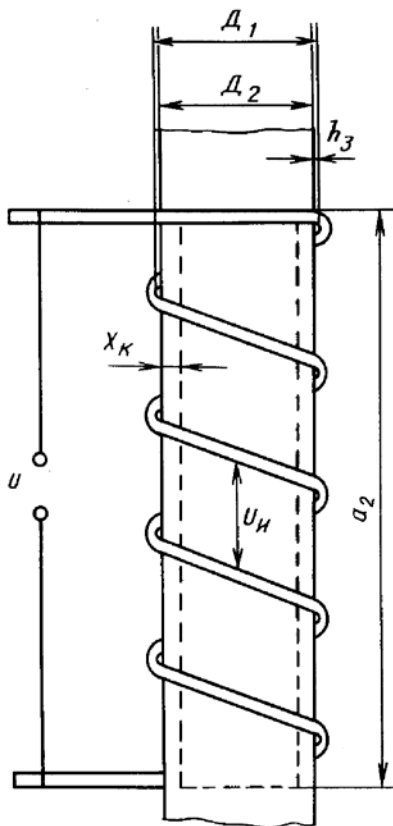


Рис.20. До розрахунку циліндричного індуктора

$$I_{il}' = 2,24I_i' \sqrt{P_i' / \sqrt{f}}.$$

Коефіцієнт потужності індуктора

$$\cos\varphi = P_i' / (U_{il}' I_{il}').$$

Число витків вибраного індуктора

$$\omega = U / U_{il}'.$$

Сила струму індуктора

$$I_i = I_{il}' / \omega.$$

2.9 Розрахунок параметрів електроплазмолізатора рослинної сировини

Електроплазмоліз відноситься до процесів електроконтактної обробки рослинної сировини – стружки плодів і овочів, зеленої маси і т.ін. Процес може виконуватися як на перемінному, так і на постійному і імпульсному струмі. При проходженні електричного струму через вологу рослинну масу виділяється теплота.

При цьому в рослинній клітці виникає стан плазмолізу - відхід від оболочки протоплазми, яка стягується. Це веде до підвищення кліткової проникності і, відповідно, до збільшення соковіддачі плодів, овочів, прискорення обезводнення трав'яної маси [1].

Розроблені різні конструкції електроплазмолізаторів – з повздовжніми і поперечними камерами електроплазмолізу, барабанні і з точковими електродами. Конструкція плазмолізатора визначається в основному питомим опором ρ рослинної сировини [9].

При $\rho < 1$ Ом·м використовують електроплазмолізатор з точковими електродами; при $8 > \rho > 1$ Ом·м – електроплазмолізатор з продовженою камерою електроплазмолізу, а при $\rho > 8$ Ом·м – барабанний електроплазмолізатор.

Електроплазмолізатор “Імпульс М” на трьохфазній напрузі промислової частоти продуктивністю 6...9 т/ч призначений для обробки дробленої тканини плодів і овочів. Розроблені дослідні зразки електроплазмолізатора - косарки [1].

Найбільший інтерес представляє розрахунок параметрів барабанного електроплазмолізатора, конструктивна схема якого показана на малюнку 21 [9].

Вихідні дані для розрахунку: U_{ϕ} – фазна напруга живлення електродної системи, В; Q_T – подача технологічної лінії, кг/ч; ρ – питомий електричний опір рослинної сировини, підігрітого електроплазмолізу, Ом · м; Θ - температура обробленої рослинної сировини, °С; l – відстань між барабаном електродом і днищем електроплазмолізатора, де в діелектричній ванні знаходяться електроди-пластини, м; h – ширина робочого каналу барабана, м; d – діаметр барабана-електрода, м.

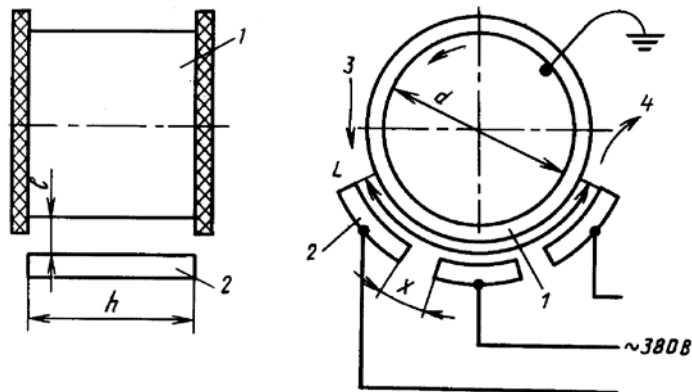


Рис.21.Конструктивна схема барабанного електроплазмолізатор:

1- заземлений барабан з діелектричними бортами; 2 – фазні електроди; 3- подача сировини; 4 – вихід сировини після обробки.

Параметри розраховують в наступному порядку.

Напруга, Вт/м, електричного поля між електродами плазмолізатора .

$$E = U_{\phi}/l < E_{\text{доп}} = j_{\text{доп}}\rho,$$

де $E_{\text{доп}}$ – допустиме значення напруги поля, В/м;

$j_{\text{доп}}$ – допустиме значення щільності електричного струму.

$$A/m^2 (j_{\text{доп}} \leq 6 \cdot 10^3 A/m^2).$$

Продовжуваність, з, процесу електроплазмолізу

$$t = 3 \cdot 10^{-3} \rho K_{\Theta} 10^8 / E^3 \Theta,$$

де K_{\circ} - коефіцієнт струмостійкості, який показує, як клітки протидіють дії сили струму, розрушуючи оболочку. [Значення K_{\circ} для окремих видів рослинної сировини різні: яблука – 1, груша – 1,25, слива – 0,75, цукровий буряк – 10, виноград – 0,9...9 (в залежності від сортів)].

Вираз для t було отримано в результаті сумісного рішення апроксимованих експериментальних результатів при різних умовах досліду [9].

Швидкість, м/с, переміщення рослинної сировини в плазмолізаторі

$$\sigma = Q_T / 3600 S \rho_M,$$

де S – площа живого перерізу потоку сировини, м²:

$$S = h l$$

ρ_M – щільність подрібненої рослинної маси, кг/м³.

Довжина, м, зони електрообробки

$$L = t \sigma.$$

Частота оберт, хв⁻¹, барабана електроплазмолізатора

$$n = 60 \sigma / (\pi d).$$

Площа, м², одного фазного електрода електроплазмолізатора

$$S_1 = (L - 2X)h / 3.$$

де x – відстань між фазними електродами, м.

Сила струму, а, електроплазмолізатора в одній фазі

$$I = U_{\phi} S_1 K_K / \rho l$$

де K_K – конструктивний коефіцієнт, враховуючий вплив наявності сокомозгової або сокостружкової суміші за електродним простором електродних камер (для барабанного електроплазмолізатора $K_K = 1,1$).

Загальна потужність, Вт, трьохфазного електроплазмолізатора

$$P = 3 U_{\phi} I.$$

Розхід електроенергії, Вт · ч/кг, на електроплазмоліз

$$\omega_{\text{ен}} = P / Q_T.$$

Вихід соку, %, з рослинної сировини [9]:

яблук і груш

$$B = 68 \exp \left[0,01(12 - \sqrt{500K_{\Theta}} / (0,050t)) \right] - 10^4 p^2 + 5 \cdot 10^2 p + 16 \cdot 10^{-4} E$$

Цукрового і столового буряка

$$B = 74 \exp \left[0,01(12 - \sqrt{500K_{\Theta}} / (0,05\Theta t)) - 10^6 p^3 + 2 \cdot 10^{2p} + 16 \cdot 10^{-4} E \right]$$

винограду

$$B = 8 \exp \sqrt{500K_{\Theta} / 0,05\Theta t = 16 \cdot 10^{-2} E}.$$

Тут p – середній розмір частинок сировини при подрібненні, м

2.10 Розрахунок ємності-нагрівача з плівковим електронагрівачем

Тонкошарові, поверхневого розподілу, плівкові електронагрівачі (ПЕН) дуже перспективні для сільськогосподарського виробництва при низькотемпературному нагріві.

Основні переваги ПЕН: висока антикорозійна стійкість при роботі в агресивному середовищі, низька стійкість вихідного матеріалу і технологічність виготовлення нагрівачів різних конфігурацій, рівномірний і диференційований нагрів великих поверхонь важкої форми, відносно низька металоємкість і високий тепловий к.п.д. [1,4].

Корпус плівкового електронагрівача – металевий з вузькошаровим склоізоляційним покриттям, на поверхні якого поставлений склометалічний резистивний плівковий елемент шириною $(1 \dots 1,2) 10^{-3}$ м, також зверху захисний склоізоляційним покриттям.

ПЕН можуть працювати на змінному і постійному струмі при напрузі 12...220В з допустимою температурою на поверхні 150...200°C. Механічна міцність і корзинова стійкість ПЕН такі ж, як у виробів з склоемальованим покриттям.

Техніко-економічні показники ПЕН для нагріву різних явищ приведені в таблиці 6.

Випускаються електрокаструлі з ПЕН-елементами [4]: ЄКЄ-1,220 (каструля-експрес), ЄКВ-1,220 (каструля для варки), ЄКП-1,220 (каструля-підігрівач). Їх номінальна потужність відповідно 520,350,240 Вт, температура нагріву 95,85,80%.

Таблиця 6 - Питомі параметри і показники ПЕН для різних сільськогосподарських низькотемпературних термічних процесів

Нагріте середовище	$W_{дПЕН}, \text{кВт/м}^2$	Матеріалоемкість ПЕН, кг/кВт
Вода, термонеїтральна рідке і тверде середовище	40	0,2
Харчові продукти	5...30	1,6...2,7
Повітря в потоці	1,3...3,6	6,2...2,5
Повітря (спокійне)	0,95	8,4
Контактний обігрів біологічних об'єктів	0,24	33,5

Для сумісної ємкості-нагрівача ПЕН розраховують в такій послідовності.

Корисна потужність, Вт, необхідна для нагріву середовища,

$$P_{пол} = cm(\Theta_k - \Theta_n) / t$$

де c - питома теплоємність нагрітого середовища, Дж/(кг·°С);

t – маса нагрітого середовища, кг;

Θ_n, Θ_k - температура на початку і кінці нагріву, °С;

t – час нагріву, с.

Потужність, Вт, установки

$$P_y = Pk_3 / \eta_y,$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, враховуючи старіння ПЕН-елемента ($k_3 = 1,1...1,2$);

η_y - к.п.д. установки ($\eta_y = 0,6...0,98$ в залежності від конструктивного виконання розміру нагрівача).

Потім по додатках з довідкової літератури в залежності від матеріалу ПЕН знаходять допустиму питому поверхневу потужність $W_{д}$, кВт/м².

Корисна площа, м², контактної поверхні теплообміну (КПТ)

$$A_{п} = P_y / w_{д}$$

Повна площа КПТ, м²,

$$A = A_{\text{п}}/K_{\text{зап}},$$

де $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення площі композиційним резистивним плівковим елементом. Для ємкості-нагрівача $K_{\text{зап}} = 0,90 \dots 0,95$ при $\delta = (3 \dots 5) \cdot 10^{-4}$ м (δ - відстань між резистивними смугами) (рис.22).

Об'єм нагрівача, м³, при циліндричній формі ємності - нагрівача з висотою h , рівною діаметру D ?

$$V = \pi D^3 / 4.$$

Якщо припустити, що ємкість до країв заповнена нагрітим середовищем щільністю ρ_c , то маса, кг, нагрітого середовища

$$m = V\rho_c = \frac{\pi}{4} D^3 \rho_c.$$

Тоді діаметр, м, ємкості-нагрівача

$$D = \sqrt[3]{4m / \pi\rho_c}$$

Бокова поверхня, м², ємкості-нагрівача

$$S = (\pi D)D = \pi D^2.$$

Периметр, м, поперечного перерізу-нагрівача

$$l = \pi D$$

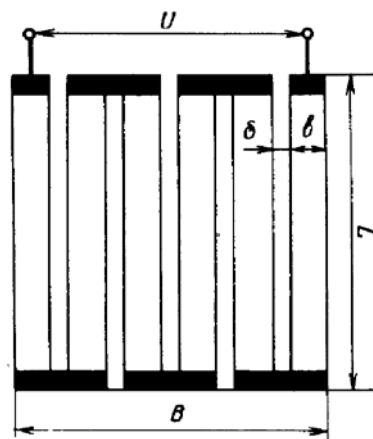


Рис.22. Конструктивна схема плівкового електронагрівача(ПЕН):

b – ширина резистивної полоси; δ - відстань між резистивними полосами; L – довжина резистивних полос плівкового нагрівача; B – ширина контактної поверхні теплообміну.

Приймаємо довжину, м, резистивних полос ПЕН-елемента з умовою, що

$$L < I.$$

Ширина, м, всієї контактної поверхні теплообміну

$$B = A/L.$$

Ширина, м, однієї резистивної полоси ПЕН, показаного на малюнку 22 [4],

$$b = \sqrt{(\delta^2 / 4) + \frac{p_n w_\delta L^2 B (B + \delta)}{U^2}} - \frac{\delta}{2},$$

де p_n – питомий поверхневий опір композиційної резистивної плівки, Ом/см (Ом/см - одиниця, яка характеризує електричний опір тонкого шару).

Число резистивних полос ПЕН

$$n = (B + \delta) / (b + \delta).$$

Якщо n – вийшло дробовим, то беруть найближче ціле число n' - і перераховують параметри резистивного тіла..

Нове значення ширини, м, резистивної полоси

$$d' = B - \delta(n' - 1) / n'.$$

Отримане значення d' підставляють в рівняння і визначають уточнене значення питомого поверхневого опору резистентного елемента ПЕН

$$p'_{п} = \frac{U^2 b' (b' + \delta)}{w_\delta L^2 B (B + \delta)}.$$

Так як p_n дається у визначених розмірах, то на цьому розрахунок закінчується.

2.11 Розрахунок технологічних параметрів процесу і установки для електроаерозольної обробки птиці

В пташниках для терапії і профілактики захворювань проводять вакцинацію птиці шляхом інгаляції. Щоб птиця отримала однакову дозу препарату, використовують аерозольні генератори САГ-ГРН.

Уніполярна зарядка частинок в аерозольному генераторі сприяє примусовому переносу препарату (електроаерозоля) з об'ємним розходом Q , $\text{м}^3/\text{с}$, по всьому приміщенні

Технологічні параметри процесу і аерозольного генератора розраховують в такому порядку [15].

Оцінюють втрати препарату при інгаляції. Це можна зробити, вводючи безрозмірний коефіцієнт,

$$K_{\text{и}} = M_{\text{вд}}/M_{\text{р}},$$

де $M_{\text{вд}}$ – число частиць аерозолю, які вдихає птиця в одиницю часу, $1/\text{с}$;

$M_{\text{р}}$ – число аерозолю, вироблених генератором на одиницю часу, $1/\text{с}$.

$$M_{\text{р}} = 3Q / 4\pi r^3.$$

$$M_{\text{вд}} = NQ_1 K_{\text{ио}} n_1,$$

де r – радіус частиць, м ;

N – число птиці, голів;

Q_1 – об'єм повітря, який вдихає одна птиця на одиниця часу, $\text{м}^3/\text{с}$;

$K_{\text{ио}}$ – коефіцієнт затримки аерозоля в дихальному тракті птиці;

n_1 – концентрація частиць в об'ємі приміщення, $1/\text{м}^3$.

Якщо $K_{\text{и}} = 1$, то весь аерозоль вдихається птицею, і тоді $M_{\text{вд}}=M_{\text{р}}$.

Прирівнявши вирази з врахуванням $K_{\text{и}}$, отримаємо

$$3Q / 4\pi r = NQ_1 K_{\text{ио}} n_1 \frac{1}{K_{\text{и}}}.$$

Визначають умови, при яких втрату частинок аерозолю, які осідають під дією сили тяжіння, можна знизити.. Для цього необхідно, щоб число частин аерозолю, які вдихає птиця, була б більша кількості частинок, що осаджуються на поверхні в тому ж об'ємі приміщення. Дані умови можна записати так:

$$\frac{NQ_1 K_{\text{ио}} n_1}{V} \geq \frac{sv_{\text{д}}}{V} n_1,$$

де V – об'єм приміщення, м^3 ;

s – площа поверхні підлоги приміщення, м^2 ;

v_d – швидкість з'єднання аерозолі, м/с, під дією сили тяжіння при числі Рейнольдса $Re < 1$.

Прийняв силу опору середовища при сферичних частинах що осаджуються F_{CP} рівна силі тяжіння F_g запишемо

$$F_{CP} = 6\pi\eta_B r \sigma_g = F_g = mg,$$

звідки

$$\sigma_g = mg / (6\pi\eta_B r) = 2/9(g\rho_{ж} r^2 / \eta_B),$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\rho_{ж}$ – густина рідини, кг/м³;

η_B – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

Підставивши значення σ_g , отримаємо

$$\frac{NQ_1 K_{IO}}{V} n_1 > \frac{2}{9} g \frac{\rho_{ж} r^2}{\eta_B V} n_1.$$

Звідси радіус, м, частинок розпилюваного аерозолі

$$r < \sqrt{\frac{9NQ_1 K_{IO} \eta_B}{2sg\rho_{ж}}}.$$

Розрахований радіус частинок не повинен перевищувати 10 мкм, як того потребують ветеринарні правила. $K_{IO} = 0,54$ і збільшуються до $K_{IO} = 1$, якщо аерозоль заряджений [15].

Для рівномірного розповсюдження частинок аерозолі по об'єму приміщення необхідно, щоб їх концентрація n_1 під дією гравітаційного розсіювання змінювалась менше, ніж від електричного розсіювання.

Частинки, які мають заряд q , Кл, розсіюються по об'єму приміщення, в якому знаходяться, намагаючись знизити свою концентрацію [15],

$$\frac{dn_1}{dt} = \frac{n_1^2 q^2}{6\eta_B r \pi \epsilon_0}.$$

З наведених вище формул залишаємо нерівність, забезпечуючи умови рівномірного розташування аерозолі в приміщенні,

$$\frac{n_1^2 q^2}{6\eta_B r \pi \epsilon_0} > \frac{2}{9} g \frac{\rho_{ж} r^2}{\eta_B V} n_1,$$

звідки мінімально необхідний заряд , Кл, частинок

$$q \geq \sqrt{\frac{4gs\rho_{ж}\pi\epsilon_0}{3Vn_1}}.$$

Концентрацію рідкої фази інгаляційного аерозолю по масі ветеринарні працівники встановлюють в межах

$$\beta = (0,2..0,3) 10^{-3} \text{ кг/м}^3$$

В цьому випадку препарат, розведений стабілізуючим розчином, знаходиться в межах норми .

Концентрацію n_1 частин в об'ємі можна виразити через β слідуєчим чином:

$$n_1 = 3\beta / (4\pi r^3 \rho_{ж}).$$

Тоді нерівність запишемо таким чином :

$$q = \frac{4}{3} \pi r^3 \sqrt{\frac{gs\rho_{ж}^2\epsilon_0}{V\beta}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \sqrt{\frac{g\rho_{ж}^2\epsilon_0}{h\beta}},$$

де h висота приміщення, м.

Знаючи параметри r , q , n_1 , Q , можна визначити технічні параметри електроаерозольного генератора. Його продуктивність $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_{\Gamma} = Q/A,$$

де A - число генераторів в приміщенні.

Продуктивність генератора по потрібному конвекційному потоку $I_{\text{кп}}$ можна визначити з вираження

$$I_{\text{кп}} = \frac{3}{4} \frac{Q_2}{\pi r^3} q.$$

Таким чином, можна розрахувати технологічні параметри процесу.

Знаходять технологічні параметри дискового розпилювача, у яких розпилюючий диск виконаний з діелектричного матеріалу (рис. 23).

В цьому розпилювачі позитивний потенціал підводиться зверху діелектричного шару та знизу діелектричного розпилюючого диску. Обидва

діелектричних диска індукційні. Електростатичне поле між ними виникає за рахунок заземленого розтікаючого по диску рідкого препарату, який вводять через діелектричну трубку.

Дійсний конвертаційний струм розпилювача [17].

$$I_{\text{кд}} = K_{\text{д}} 2 \pi R \epsilon_0 U \left(\frac{\epsilon_1}{d_1} + \frac{\epsilon_2}{d_2} \right) v_n.$$

де $K_{\text{д}}$ - коефіцієнт, який враховує допоміжні фактори, які діють на процес зарядки (приймаємо в задачі $K_{\text{д}}=1$);

R - радіус розпилюючого диска, м,

U -підведена напруга, В;

ϵ_1, ϵ_2 ,- відносна діелектрична проникність відносно діелектричного шару та розпилювального диска з діелектрика;

d_1, d_2 , товщина діелектричного шару та розпилюючого диска з діелектрика, м;

v_n -швидкість поверхні плівки рідини в момент відривання її з поверхні диска, м/с.

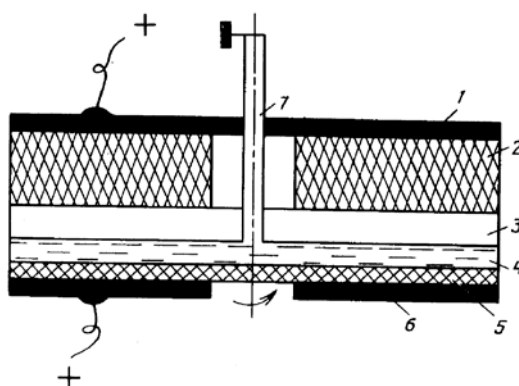


Рис. 23 Схема електростатичного розпилення: 1 - верхній індукуючий електрод; 2 - шар діелектрику; 3 - шар повітря; 4 - плівка рідини; 5 - розпилюючий диск із діелектрика; 6 - нижній індукуючий електрод; 7 - діелектрична трубка для підводу рідини.

В дихальний тракт птиці попадає тільки частина аерозолю, виробленого генератором, що визначається коефіцієнтом $K_{\text{и}}$.

Тобто можна записати

$$I_{кп} = K_{и} I_{кд}$$

Далі знаходять швидкість v_n плівки рідини та, підставивши, отримуємо [12].

$$v_n = \sqrt[3]{\frac{9\rho_{ж} \omega^2 Q_{г}^2}{32\pi^2 \eta_{ж} R}}$$

де ω кутова частота обертання диску, 1/с;

$\eta_{ж}$ - в'язкість розпилюючої рідини, Па·с.

Потім з визначають частоту обертання розпилюючого диску генератора.

$$\omega = \sqrt{\frac{32v_i^3 \pi^2 \eta_{е} R}{9\rho_{е} Q_{а}^2}}$$

3 ОРІЄНТОВНА ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1. Електрифікація і автоматизація технологічного процесу забезпечення мікроклімату в свинарнику-маточнику на 100 голів
2. Електрифікація водопостачання молочнотоварної ферми з розробкою системи автоматичного регулювання рівня води в баштовій водокачці
3. Електрифікація виробничих процесів в свинарнику - маточнику з розробкою системи автоматичного регулювання температури
4. Електрифікація виробничих процесів на зерноочисно-сушильному пункті з розробкою системи автоматичного регулювання температури агенту сушіння в шахтній зерносушарці
5. Електрифікація виробничих процесів молочного блоку ферми на 400 корів з розробкою системи автоматичного регулювання пастеризації молока
6. Електрифікація виробничих процесів в овочесховищі на 5000 т з розробкою системи автоматичного регулювання температури повітря
7. Електрифікація виробничих процесів молочного блоку ферми на 400 корів з розробкою системи автоматичного регулювання охолодження молока
8. Електрифікація виробничих процесів на пункті приготування гранульованих кормів з розробкою системи автоматичного регулювання завантаження гранулятора
9. Електрифікація виробничих процесів у зимових гідропонних теплицях з розробкою системи автоматичного регулювання параметрів живильного розчину
10. Електрифікація виробничих процесів на зерноочисно-сушильному пункті з розробкою системи автоматичного регулювання температури на виході барабанної сушарки
11. Електрифікація виробничих процесів у весняних теплицях з розробкою системи автоматичного регулювання температури повітря
12. Електрифікація виробничих процесів к парникових теплицях з розробкою системи автоматичного регулювання температури ґрунту

13. Електрифікація виробничих процесів в свинарнику-маточнику з розробкою системи автоматичного регулювання температури

14. Електрифікація водопостачання молочнотоварної ферми з розробкою системи автоматичного регулювання підігріву води

15. Електрифікація виробничих процесів на зерноочисно-сушильному пункті з розробкою системи автоматичного управління вологістю зерна на виході шахтної зерносушарки

16. Електрифікація виробничих процесів у пташнику з багатоярусними клітками з розробкою системи автоматичного регулювання температури

17. Електрифікація виробничих процесів у пташнику для вирощування індиків з розробкою системи автоматичного регулювання температури

18. Електрифікація водопостачання молочнотоварної ферми з розробкою системи автоматичного регулювання тиску в трубопроводах водопостачання

19. Електрифікація виробничих процесів при вирощування шампінйонів з розробкою системи автоматичного регулювання вмісту вуглекислого газу в приміщенні

20. Електрифікація виробничих процесів к парникових теплицях з розробкою системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату

21. Електрифікація виробничих процесів на зерноочисно-сушильному пункті з розробкою системи автоматичного регулювання температури теплоносія в зерносушарці

22. Розробка системи автоматичного управління параметрами сушильного агенту в бункері активного вентилявання зернової маси

23. Електрифікація виробничих процесів у корівнику на 200 корів з детальною розробкою установки мікроклімату

24. Електрифікація технологічних процесів у ремонтній майстерні з розробленням схеми установки для ремонту деталей методом зварювання

25. Електрифікація технологічних процесів у телятнику-відгодівельнику з розробкою системи мікроклімату

26. Електрифікація виробничих процесів на молочнотоварній фермі з розробкою безконтактної схеми керування електроводонагрівником УАП-400
27. Електрифікація виробничих процесів у пташнику на 17000 курчат-бройлерів з розробкою системи аероіонізації повітря
28. Електрифікація технологічних процесів у телятнику-відгодівельнику з розробкою системи аероіонізації повітря
29. Електрифікація виробничих процесів у пташнику для вирощування індиків з розробкою системи автоматичного регулювання параметрів мікроклімату
30. Електрифікація виробничих процесів в свинарнику-відгодівельнику з розробкою системи аероіонізації повітря

4 БЛАНК ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут енергетики
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

Затверджую
Зав. кафедри, доцент

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ З ДИСЦИПЛІНИ
ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ В АПК

(Прізвище, ім'я та по-батькові студента)

ТЕМА:

Строк здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 20__ р.

ВИХІДНІ ДАНІ ДО РОБОТИ:

- план приміщення за типовим проектом;
- типові вимоги на проектування електроустановок

ЗМІСТ РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

ВСТУП:

- характеристика об'єкту проектування;
- вихідні дані до проектування;
- мета та задачі розробки.

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

- технологічні розрахунки
- енергетичні розрахунки

КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

- розробка функціонально-технологічної схеми електротехнологічної установки;
- розробка схеми автоматизації електротехнологічної установки;
- розробка принципової електричної схеми електротехнологічної установки;
- опис роботи схем

ПЕРЕЛІК ГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ:

- план об'єкту проектування з нанесенням електрообладнання;
- функціонально-технологічна схема електротехнологічної установки;
- схема автоматизації електротехнологічної установки;
- принципова електрична схема електротехнологічної установки

Дата видачі завдання: "___" _____ 20__ р.

Керівник курсового проектування:

_____/_____/_____
(посада, наукове звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання: _____/_____/_____
(дата) (підпис) (прізвище, ініціали)

5 ЛІТЕРАТУРА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУВАННЮ

Основна

1. Василега П.О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.
2. Соловей О.І. Промислові електротехнологічні установки / О.І.Соловей – К.:Кондор, 2009. 172 с.
3. Іноземцев Г.Б. Електрофізичні та технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : курс лекцій / Іноземцев Г.Б., Червінський Л.С., Берека О.М. - К. : НАУ, 2006. - 124 с.
4. Червінський Л.С. Оптичні технології в тваринництві / Л.С. Червінський. - К. : Наук, думка, 2003. - 230 с.
5. Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату у наукових, навчально-методичних, кваліфікаційних та навчальних роботах учасників освітнього процесу у ПДАТУ <http://pdatu.edu.ua/images/public-info/pologennya-plagiat.pdf>

Допоміжна

1. Электрическое освещение: справочник / В.Б.Козловская, В.Н.Радкевич, В.М.Сацукевич.- 2-е изд.- Минск: Техноперспектива, 2008.-271 с.
2. Эффективные режимы работы электротехнологических установок/И. В. Жежеленко, в. М. Божко, Г. Я. Вягин, М. Л. Рабинович.-К.:Техника, 2001.-183 с.
3. Червінський Л.С., Шевель С.С. Експлуатація освітлювальних і опромінювальних установок у сільському господарстві.-:Урожай, 2000.- 196
4. Салата М.П. Практикум з електротехнології / Салата М.П., Борщ Г.М., Берека О.М. - К.: НАУ, 2007. -Ч.1. - 73с.
5. Салата М.П. Практикум з електротехнології / Салата М.П., Борщ Г.М., Берека О.М. - К.: НАУ, 2007. - Ч.2.- 66 с.