

ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА НАГРІВАННЯ ВОДИ ПРИ ДОЇННІ КОРІВ

Болтянський Б.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Стаття присвячена проблемі зниження енерговитрат на нагрівання води при доїнні корів за рахунок застосування плавнорегульованих електродних водонагрівачів з об'ємним екраном.

Ключові слова – енергозбереження, плавнорегульований електродний водонагрівач, діапазон регулювання, міжелектродний простір, економічна доцільність.

Постановка проблеми. Вимога до точності підтримки заданої температури води в корівнику має важливе технологічне значення. Якщо задані нормативи не виконуються, то виникає технологічний збиток або перевитрата електроенергії. При використанні нерегульованих водонагрівачів отримання води із заданою температурою відбувається за рахунок накопичення перегрітої води і подальшого її розведення. Ці процеси супроводжуються значною перевитратою енергії. Щоб усунути недоліки необхідно розробити електроводонагрівач з плавним регулюванням температури, що дозволить скоротити споживання енергії. Виникла важлива науково-технічна задача – розробити енергозберігаючий плавнорегульований електродний водонагрівач, який би мав забезпечити отримання води з температурою від 40 до 90⁰С.

Прогресивним напрямом вирішення цього завдання може бути використання електродних водонагрівачів, в яких в робочому міжелектродному просторі рухомий плоский діелектричний екран замінюється об'ємним з еластичного діелектрика, розміри якого змінюються при зміні тиску повітря в ньому [1].

Аналіз останніх досліджень. Проблемою регулювання температури в електродних водонагрівачах, підвищення їх надійності в сільському господарстві займалися А.М. Басов, Л.А. Баранов, В.І. Барков, Г.Ф. Бахарев, В.А. Карасенко, І.Ф. Кудрявцев, В.Г. Петько, В.Н. Расстригин, П.А. Рубцов та інші вчені. Ґрунтовні дослідження з цього питання також проводились Шишининою Н.Г. (Саратовський державний аграрний університет ім. Н.І. Вавилова) [2].

В даний час відома велика кількість способів регулювання споживаної потужності і температури електродних водонагрівачів. Діапазон регулювання потужності електродних водонагрівачів становить від 25 до 100% – це не

забезпечує стабільності температури і необхідний її діапазон регулювання. Крім того, всі відомі способи регулювання мають нелінійні характеристики зміни температури і споживаної потужності, а також повністю не використовується можливий діапазон регулювання [3].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є зниження енерговитрат на нагрівання води при доїнні корів за рахунок застосування плавнорегульованих електродних водонагрівачів з об'ємним екраном, а також проведення теоретичного обґрунтування параметрів та режимів регулювання даного водонагрівача.

Основна частина. Розроблені конструктивна (рис. 1) і розрахункова схеми (рис. 2) електродного водонагрівача з об'ємним екраном (ЕВН ОЕ).

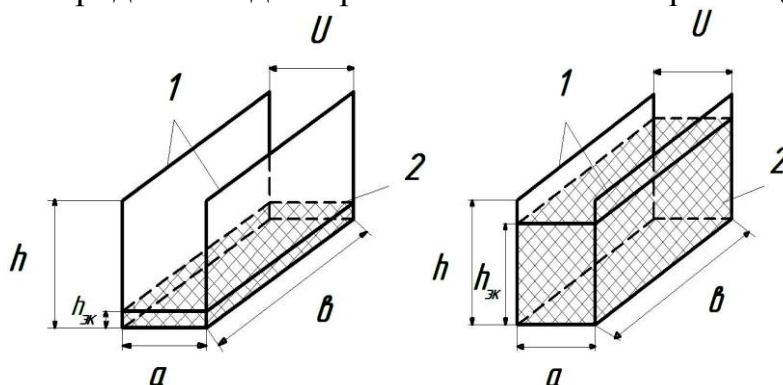


Рис. 1. Конструктивна схема електродного водонагрівача: а) з найменшим об'ємом екрану; б) з найбільшим об'ємом екрану: 1 - електроди; 2 - об'ємний екран; $h_{\text{эк}}$ - висота об'ємного екрана, м; U - напруга мережі, В; h - висота електродів, м; b - ширина електродів, м; a - міжелектродна відстань, м.

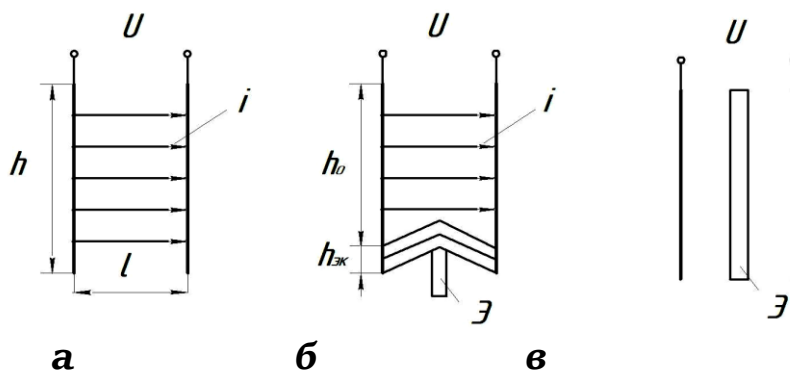


Рис. 2. Розрахункова схема ЕВН ОЕ: а) об'ємний екран відсутній ($h_{\text{эк}} = 0$; $P = P_{\text{max}}$); б) об'ємний екран перекриває частину електродів ($h_{\text{эк}} > 0$; $P_{\text{max}} > P > P_{\text{min}}$); в) об'ємний екран перекриває електроди повністю ($h_{\text{эк}} = h$; $P = P_{\text{min}}$): h - висота електродів, м; $h_{\text{эк}}$ - висота об'ємного екрана, м; U - напруга мережі, В; h_0 - висота без об'ємного екрана, м; l - довжина ліній струму, м; Э - об'ємний екран.

Було виділено два граничних режиму роботи ЕВН ОЕ: найменшою потужності P_{min} , коли об'ємний екран перекриває лінії струму і найбільшої потужності P_{max} , коли об'ємний екран видалений з міжелектродного простору

ЕВН ОЕ. У проміжному положенні об'ємного екрана потужність перебуватиме в межах від P_{\max} до P_{\min} , а діапазон регулювання:

$$d = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}. \quad (1)$$

В сучасних ЕВН діапазон регулювання $d \approx 2,0$ о.е. Це значення не задовольняє вимогам сільськогосподарського виробництва, оскільки діапазон необхідної температури становить $20-90^{\circ}\text{C}$. Виникла важливе завдання визначення способів збільшення діапазону регулювання електродних водонагрівачів [1].

З робочого процесу ЕВН ОЕ видно, що розташування об'ємного екрана змінює опір води в активній і зовнішній зонах за рахунок зміни довжини ліній струму і площі, через яку вони замикаються.

Для ізолюваних із зовнішнього боку електродів в ідеальному випадку основні рівняння мають вигляд:

$$R_n = \rho \frac{\ell_n}{S_n}; P_{\max} = \frac{U^2}{R_{\min}}; P_n = \frac{U^2}{R_n}; P_{\min} = \frac{U^2}{R_{\max}}; d \rightarrow \infty, \quad (2)$$

де P_n – номінальна потужність, кВт;

d – діапазон регулювання, о.е.;

ρ – питомий опір води, Ом·м;

ℓ_n – довжина ліній струму між електродами, м;

S_n – площа електродів, м²;

U – напруга, В;

R_n – опір води, Ом.

Для неізолюваних електродів завжди зберігаються шляхи ліній струму в активній і зовнішній зонах, що знизить опір ЕВН. Тоді $d \neq \infty$. Виділено три режиму зміни потужності. Щоб вивести рівняння регулювальної характеристики приймемо такі припущення: електроди мають односторонню провідність, тобто зовнішні поверхні ізолювані; електроди розміщені на ізолюючій підставці; провідність води не залежить від її температури; лінії струму протікають по ідеалізованим шляхам.

а) *Потужність в першому режимі*, коли об'ємний екран відсутній ($h_e = 0$; $P = P_{\max}$) (рис. 2а):

$$P_{\max} = U^2 \cdot \frac{v \cdot \kappa_{\text{эк}}}{\rho \cdot a}, \quad (3)$$

де v – ширина електроду, м; $\kappa_{\text{эк}}$ – коефіцієнт пропорційності між висотою об'ємного екрану й тиском у ньому, який враховує розширення еластичного матеріалу (силіконової гуми), о.е.;

U – напруга мережі, В;

a – міжелектродна відстань, м.

б) Потужність ЕВН в проміжному режимі, коли об'ємний екран перекриває частину електродів ($h_{\text{э}} > 0$; $P_{\text{max}} > P > P_{\text{min}}$) (рис. 2б):

$$P_i = U^2 \cdot \frac{\nu \cdot (h - h_{\text{эК}})}{\rho \cdot a}, \quad (4)$$

де h – висота електродів, м;

$h_{\text{эК}}$ – висота об'ємного екрана, м.

в) Потужність в третьому режимі, коли об'ємний екран перекриває електроди повністю ($h_{\text{эК}} = h$; $P = P_{\text{min}}$) (рис. 2в):

$$P_{\text{min}} = U^2 \frac{\nu \cdot (h - h_{\text{эК}})}{\rho \cdot a} = 0. \quad (5)$$

У розглянутому варіанті об'ємного екрана, коли він виконаний у вигляді пустотілого еластичного паралелепіпеду, що копіює міжелектродний простір, змінним фактором служить тиск в ньому. Цей фактор можна функціонально пов'язати з висотою $h_{\text{эК}}$ об'ємного екрана і шириною електродів ν при фіксованій a міжелектродній відстані:

$$h_{\text{эКi}} = h \cdot p_i \cdot \kappa_{\text{эК}}, \quad (6)$$

де p_i – тиск в об'ємному екрані, Па.

Зі зміною тиску об'ємний екран змінює лише висоту, так як ширина обмежена міжелектродною відстанню, а довжина обмежена лінійним розміром об'ємного екрана. Ці вихідні дані дозволяють отримати рівняння регульовальної характеристики потужності ЕВН ОЕ:

$$P_i = U^2 \cdot \frac{\nu \cdot (h - (h \cdot p_i \cdot \kappa_{\text{эК}}))}{\rho \cdot a} = U^2 \cdot \frac{\nu \cdot h}{\rho \cdot a} \cdot (1 - p_i \cdot \kappa_{\text{эК}}) = P_{20} \cdot (1 - p_i \cdot \kappa_{\text{эК}}), \quad (7)$$

де P_{20} – потужність ЕВН ОЕ при 20°C , кВт.

Діапазон регульовальної характеристики залежить від параметрів об'ємного екрана і, в першу чергу, від його товщини. Для обліку товщини показана спрощена картина лінії струму в перерізі (рис. 3) в режимі P_{min} для різних товщин об'ємного екрана за умови, що електроди знизу мають ізолюючу підставку (знизу зона витоків ліній струму відсутня).

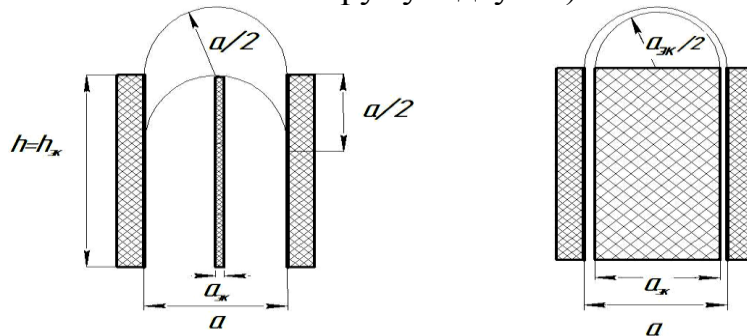


Рис. 3. Лінії струму витоків при різній товщині екрана: а) $a_{\text{эК}} \ll a$; б) $a_{\text{эК}} \approx a$.

З рисунку 3 видно, що картина верхніх зон витоків ліній струму залежить від товщини об'ємного екрана. Вони відрізняються довжиною лінії струму і площею перерізу зони.

Середня довжина лінії струму витoku з плоским екраном дорівнює довжині півкола з радіусом $r = \frac{a}{2}$:

$$\ell' = \frac{2\pi r}{2} = \frac{\pi a}{2}, \quad (8)$$

де a – міжелектродна відстань, м;
 r – радіус ліній струму витoku, м.

Площа зони ліній струму витoku з плоским екраном залежить від її радіуса і довжини електрода:

$$S' = r\ell' = \frac{a\ell}{2}. \quad (9)$$

Опір води з плоским екраном в зоні ліній струму витoku дорівнює, з урахуванням (8) і (9):

$$R' = \rho \frac{\ell'}{S'} = \rho \frac{\pi}{a}, \quad (10)$$

де ρ – питомий опір води, Ом·м;
 S' – площа зони ліній струму витoku, м².

Середня довжина ліній струму витoku, площа перерізу зони та її опір з об'ємним екраном відповідно дорівнюють:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell'' = \frac{\pi \cdot a \cdot (1 + \kappa_{\text{ЭК}})}{4} \\ S'' = \frac{a \cdot \ell \cdot (1 - \kappa_{\text{ЭК}})}{2} \\ R'' = \rho \frac{\pi \cdot (1 + \kappa_{\text{ЭК}})}{\ell \cdot (1 - \kappa_{\text{ЭК}})} \end{array} \right. \quad (11)$$

Рівняння (11) дають загальну оцінку впливу товщини об'ємного екрана на регульовальні характеристики ЕВН. Враховуючи, що діапазон регулювання залежить від величини струмів витoku в режимі найменшої потужності (чим вони менше, тим ширше діапазон), можна однозначно визначити роль конструктивних параметрів. Для цього на рисунку 4 побудована залежність

$$\frac{R''}{R'} = f(a_{\text{ЭК}}).$$

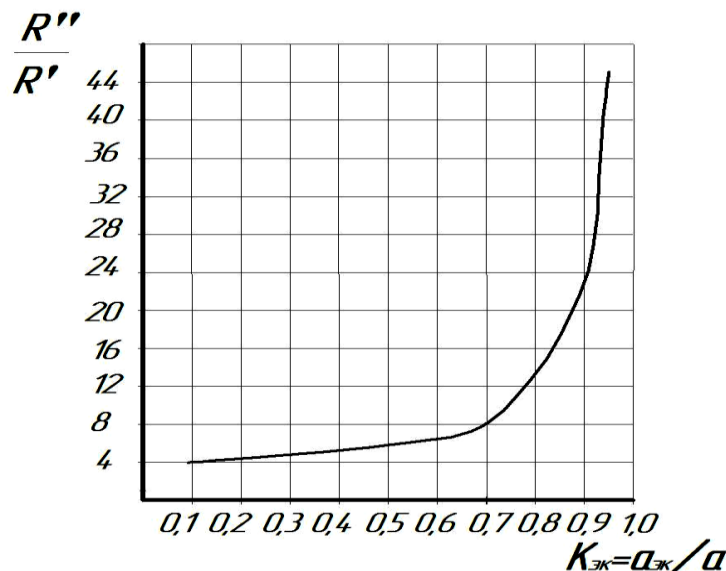


Рис. 4. Залежність опору зони витоків від товщини об'ємного екрана: R'' - опір зони ліній струму витоків з об'ємним екраном, Ом; R' - опір зони ліній струму витоків з плоским екраном, Ом.

Звідси видно, що починаючи з $a_{\text{эк}} \approx 0,8a$ досягається різке збільшення опору води в зоні ліній струму витоків, це є передумовою для досягнення $d \rightarrow \infty$, тобто $P_{\text{min}} \rightarrow 0$.

Таким чином, основним напрямком розширення діапазону регулювання служить застосування об'ємних екранів. За основу аналізу процесу нагріву води може бути прийнята теорія нагріву ідеального однорідного тіла, під яким розуміється тіло з рівномірним розсіюванням теплоти з усієї поверхні і рівномірним розподілом температури по об'єму.

Еластичний порожнистий об'ємний екран при відсутності тиску має найменший об'єм (найменшу висоту). В цьому режимі опір води між електродами найменший, а споживана потужність найбільша. При збільшенні тиску збільшується об'ємний екран і його висота, що збільшує робочий опір ЕВН і знижує споживану потужність. Нарешті, при повному розрахунковому тиску об'ємний екран стає найбільшим. Міжелектродний простір повністю перекривається об'ємним екраном і споживана потужність знижується до нуля.

Таким чином, теоретичні дослідження дозволили знайти кількісний опис процесу нагріву води в електродному водонагрівачі з об'ємним екраном, знайти параметри та режими його роботи.

Роботу ЕВН ОЕ пояснює його конструкція, яка показана на рисунку 5 [2].

В наливний бак 1 встановлена пара вертикальних нерухомих пластинчастих електродів 4, яка розділена міжелектродною відстанню і в вказану відстань поміщений діелектричний об'ємний екран 5. ЕВН ОЕ заповнюється водою через трубку подачі холодної води 8. При підключенні до електричної мережі електричний струм проходить крізь воду між електродами 4 і вода нагрівається. Об'ємний екран 5 через патрубок підведення (відведення) повітря 13 з'єднують з компресором (на рисунку 5 він не вказаний).

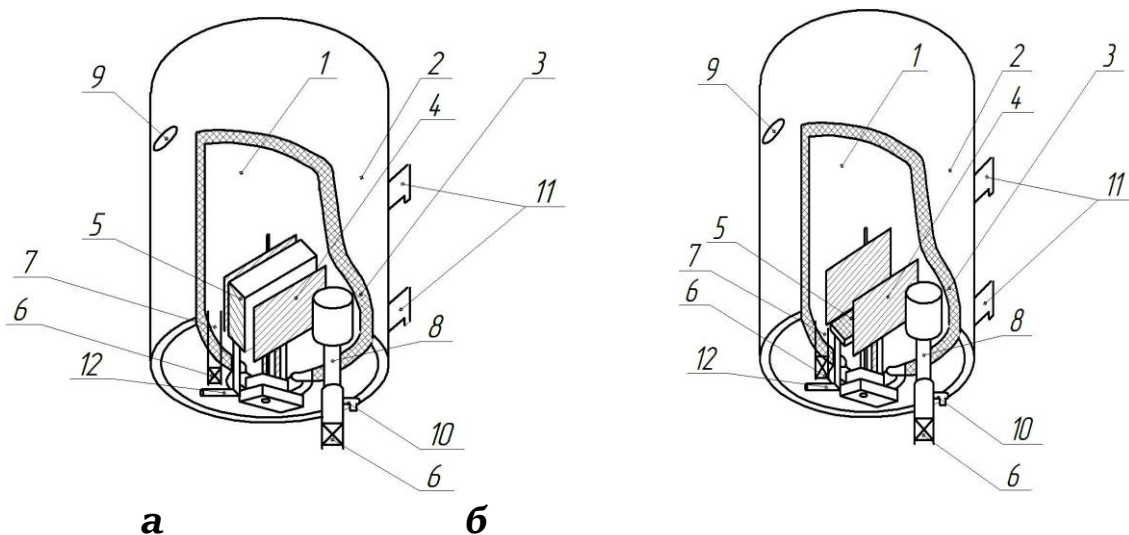


Рис. 5. Конструкція ЕВН ОЕ: а - об'ємний екран заповнений повітрям і перекриває площу електродів; б - об'ємний екран не заповнений повітрям: 1 - наливний бак; 2 - корпус; 3 - шар термоізоляції; 4 - пластинчасті електроди; 5 - діелектричний об'ємний екран; 6 - діелектрична вставка; 7 - трубка відбору гарячої води; 8 - трубка подачі холодний води; 9 - термометр; 10 - запобіжний клапан; 11 - кріплення; 12 - патрубок підведення (відведення) повітря.

Для того щоб зменшити температуру води, що нагрівається збільшують об'ємний екран за рахунок подачі повітря за допомогою компресора, що призводить до зменшення нагріву води та зменшення потужності нагрівача. Щоб збільшити температуру води, що нагрівається зменшують об'ємний екран за рахунок відводу повітря компресором, що призводить до збільшення нагріву води і збільшення потужності ЕВН ОЕ. Споживання гарячої води здійснюється через трубку відбору гарячої води 7.

Діелектричні вставки 6, які встановлені в трубці відбору гарячої води 7 і трубці подачі холодної води 8, призначені для захисту людей і тварин від ураження електричним струмом при використанні ЕВН ОЕ. Корпус 2 через шар термоізоляції 3 ізольований від наливного бака 1 для води.

На лицьовій стороні корпусу розташований термометр 9, а на зворотному боці кріплення 12 електродного водонагрівача до стінки.

Висновки. Серед різних способів регулювання в електродних водонагрівачах найбільш ефективним є зміна робочого опору води в міжелектродному просторі. Доведена перспективність нового способу регулювання за рахунок заміни плоских екранів на об'ємні.

Плавне регулювання електродного водонагрівача за допомогою об'ємного екрана розширює діапазон регулювання споживаної потужності в порівнянні з плоским екраном.

Геометричні розміри об'ємного екрана повинні на 10-15% перевищувати об'єм міжелектродного простору. Найбільший вплив на регулювання нагріву чинить об'ємний екран при його товщині більше 80% ширини міжелектродного простору.

Для нагрівання води в корівнику на 200 скотомісць пропонується встановлювати 3 апарата ЕВН ОЕ по 100 літрів кожний. Це дозволить усунути

наднормативну витрату електроенергії і знизити її споживання на 12-15%. Тобто, впровадження установки ЕВН ОЕ на нагрів води при доїнні корів економічно доцільно.

Список використаних джерел

1. *Каган Н.Б.* Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства / Н.Б. Каган, В.Г. Кауфман, М.Г. Пронько, Г.Д. Яневский. – М: Энергия, 1980. – 192 с.
2. Электродный нагреватель текучих сред: Патент на полезную модель 78618 РФ: МКП Н 05 3/60./ Г.П. Ерошенко, Н.Г. Шишина (RU): заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Саратовский аграрный университет им. Н.И. Вавилова. - №2008126584/22; заявл. 30.06.2008; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33.
3. Використання теплової енергії в тваринництві [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uchni.com.ua>.

Аннотация

ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА НАГРЕВ ВОДЫ ПРИ ДОЕНИИ КОРОВ

Болтянский Б.В.

Статья посвящена проблеме снижения энергозатрат на нагрев воды при доении коров за счет применения плавнорегулируемых электродных водонагревателей с объемным экраном.

Ключевые слова – энергосбережение, плавнорегулируемый электродный водонагреватель, диапазон регулирования, межэлектродное пространство, экономическая целесообразность.

Abstract

WAYS TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION FOR WATER HEATING DURING MILKING COWS

Boltianskiy B.V.

The article deals with the problem of reducing energy consumption for water heating during milking cows through the use of continuously-variable electrode heaters with a volumetric screen.

Key words – energy saving, continuously-variable electrode water heater, setting range, the inter-electrode space, the economic feasibility.