

УПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РЕСУРСОЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СВИНАРНИКАХ-МАТОЧНИКАХ

Гайдукевич С. В., Семенова Н. П.

ВСТУП

Забезпечення оптимального мікроклімату у приміщеннях для утримання сільськогосподарських тварин є одним із найбільш енергоємних технологічних процесів, оскільки системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря сільськогосподарських будівель є найбільшими споживачами теплової енергії.

У зв'язку з ростом цін на енергоносії та інше паливо проблема енергозбереження для агропромислового комплексу перетворилася на одну з найважливіших, що зобов'язало до пошуку шляхів удосконалення наявних систем і розробки нових прогресивних електротехнологій і засобів реалізації, які дозволять забезпечити максимальну продуктивність тварин за мінімальних витрат паливно-енергетичних ресурсів. Це зумовлено тим, що отримання продукції тваринництва відбувається за участю не тільки автоматизованих робототехнічних комплексів, а й біооб'єктів із характерними для них ритмами та режимами життєдіяльності¹. Тому вдосконалення систем кондиціонування має першочергове значення для підвищення енергоефективності сільськогосподарських будівель і зниження витрат енергії на створення у них комфортних параметрів.

Як показують попередні дослідження науковців, молодняк тварин найбільш чутливий до змін параметрів навколишнього середовища та вимогливий щодо їх дотримання в нормативних межах.

Всі розглянуті методи створення оптимального мікроклімату у свинарнику-маточнику^{2,3} не приводять до повного розв'язання задач

¹ Романченко М.А., Бріндза Я., Дабровська П. Застосування ресурсощадних електротехнологій в виробництві продукції тваринництва. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 165. С. 101.

² Бабаханов Ю.М., Степанова Н.А., Шаталов А.П. Снижение энергопотребления систем микроклимата в животноводческих помещениях.

щодо зменшення затрат у процесі їх експлуатації, а великі затрати призводять до здорожчання продукції, що негативно впливає на добробут споживачів, а також знижує конкурентоспроможність галузі.

Тому питання підвищення енергоефективності систем опалення сільськогосподарських приміщень за рахунок невичерпної, безпечної в експлуатації, екологічно чистої та безкоштовної сонячної енергії є сьогодні актуальним.

1. Оцінка динаміки необхідного введення теплової енергії

Скоротити енерговитрати на одиницю одержуваної сільськогосподарської продукції можна за рахунок підвищення енергоефективності енергозбереження і створення точної системи підтримки температурно-вологісних параметрів мікроклімату. Тобто кожна енергетична система повинна бути розроблена так, щоб за мінімальної витрати електричної енергії виконувалися необхідні функції.

Найпростіший метод вирішення цієї проблеми – корегування роботи системи регулювання температурно-вологісних параметрів, яке можна виконати декількома способами:

- зниженням втрат теплоти через огорожуючі конструкції;
- використанням низькопотенціальних джерел тепла;
- використанням альтернативних джерел енергії.

Сьогодні одним із найдоступніших і найраціональніших способів зниження максимальної споживаної потужності у тваринницьких приміщеннях є використання ефективною та перспективною енергоощадної технології, яка використовує відновлювані джерела енергії для створення оптимального мікроклімату. Такими відновлювальними джерелами є сонячна енергія, котра має низьку перевагу, на відміну від традиційного виду опалення, за рахунок значної економії електроенергії, затрат праці й інших показників, крім того, це дає суттєвий економічний ефект, оскільки забезпечуються оптимальні умови за найменших затрат.

Зі всього різноманіття сонячних систем запропоновано вибрати вакуумний трубчастий колектор Altek на 30 трубок, який має здатність поглинати інфрачервоне випромінення навіть у хмарні дні.

Енергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. ВНИЭСХ. Научные труды. Т. 64. 1985. С. 98–107.

³ Енергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами / М.А. Романченко, Д.І. Мазоренко, А.П. Слесаренко, О.С. Сорока. *Електрифікація та автоматизація сільського господарства*. 2006. № 2. С. 82–92.

Сонячний колектор призначений для нагріву води, тому для опалення свинарника-маточника найоптимальніше використовувати загальне водяне опалення. Оскільки у приміщенні разом із маточним поголів'ям утримується молодняк, то для створення оптимального мікроклімату в зонах відпочинку свиноматки та поросят рекомендовано реалізувати теплу водяну підлогу. Попередні розрахунки та практика експлуатації науково-дослідницьких зразків теплоакумуючих установок, які працюють за схемою «знизу-вверх», поліпшують загальні умови розвитку тварин⁴. Завдяки такому виду опалення можна створювати оптимальну температуру для різних груп, наприклад, для маток – 16–20 °С, а для поросят-сосунів – приблизно 30 °С, оскільки зниження температури приводить до збільшення використання корму, зниження продуктивності та збільшення ризику захворювання молодняку. Температура поверхні підлоги повинна становити для поросят-сосунів 30–32 °С, а для свиноматки – 18–20 °С.

Енергетичний баланс повітря тваринницького приміщення з урахуванням нормативних параметрів можна виразити формулою:

$$Q_{on} = Q_{oz} + Q_v + Q_{вин} + Q_{об} - Q_m, \quad (1)$$

де Q_{on} – кількість теплоти, необхідної для опалення приміщення свинарника-маточника розмірами 15х90х3м, ккал/год; Q_{oz} – втрати теплоти через зовнішні огорожі приміщення, ккал/год; Q_v – теплота, яка виноситься із приміщення повітрям при вентиляції, ккал/год; $Q_{вин}$ – теплота, що витрачається на випаровування, ккал/год; $Q_{об}$ – втрати теплоти на обдуваємість, ккал/год; Q_m – вільна теплота, яка виділяється всіма тваринами, що є у приміщенні, кДж/год.

Тепловтрати через огорожуючі конструкції для свинарника-маточника на 100 голів (довжина 90 м, ширина 15 м, висота 3,0 м) визначаємо табличним методом за різних температур зовнішнього середовища (табл. 1) за температури приміщення 20 °С (рис. 1).

⁴ Романченко М.А., Бріндза Я., Дабровська П. Застосування ресурсощадних електротехнологій в виробництві продукції тваринництва. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 165. С. 101.

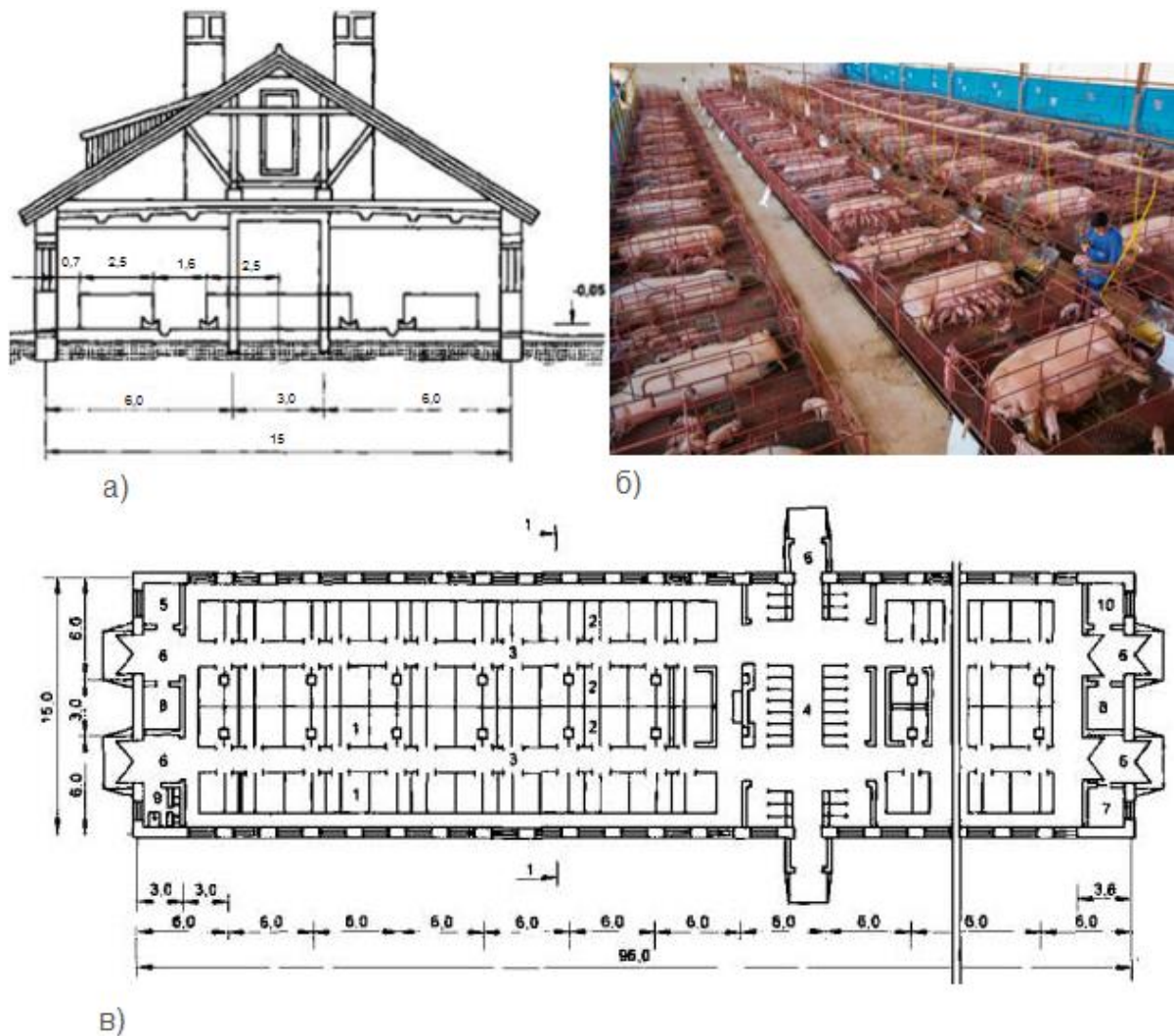


Рис. 1. Свинарник-маточник на 100 голів⁵

а – розріз свинарника-маточника; б – загальний вигляд приміщення

Коефіцієнт теплопередачі можна визначити за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; α_n , $\alpha_{вн}$ – коефіцієнти тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні та від внутрішньої поверхні до повітря у приміщенні, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ_i – товщина шарів матеріалів, складових конструкцій огорожі, м; λ_i – коефіцієнт теплопровідності будівельних матеріалів, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

⁵ Рекомендации по реконструкции свиноводческих комплексов и ферм. Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. С. 95.

Таблиця 1

**Розрахунок тепловтрат через огороження
за різних температур зовнішнього повітря**

Конструктивні елементи	Площа (F), м ²	K, ккал/м ² год °C	KF	Тепловтрати при t _н (KFΔt), ккал/год				
				10°C Δt=10 °C	5°C Δt=15 °C	0°C Δt=20 °C	-22 °C Δt=42 °C	-30°C Δt=50 °C
Стеля	15×90 = 1350	0,52	702	7020	10530	14040	29484	35100
Вікна (подвійні)	1,2×1×52= =62,4	2,3	143,52	1435,2	2152,8	2870,4	6027,84	7176
Ворота (подвійні)	2×2×2=8	2,0	16	160	240	320	672	800
Двері	1,2×2×4= =9,6	0,75	7,2	72	108	144	302,4	360
Стіни по ширині	40,2 40,2	0,57	22,914 20,914	229,14 229,14	343,71 343,71	458,28 458,28	962,388 962,388	1145,7 1145,7
Стіни по довжині	234,8 234,8	0,72	169,056 169,056	1690,56 1690,56	2535,84 2535,84	3381,12 3381,12	7100,352 7100,352	8452,8 8452,8
Підлога 1 зона	404	0,32	129,28	1292,8	1939,2	2585,6	5429,76	6464
Підлога 2 зона	372	0,16	59,52	595,2	892,8	1190,4	2499,84	2976
Підлога 3 зона	340	0,08	27,2	272	408	544	1142,4	1360
Підлога 4 зона	234	0,04	9,36	93,6	140,4	187,2	393,12	468
Всього	3330	8,75	1478,02	14780,2	22170,3	29560,4	62076,84	73901

Визначаємо витрати теплоти на обігрів вентиляованого повітря:

$$Q_{\text{в}} = \Delta t \cdot L_1 \cdot 0,31 \text{ ккал/год}, \quad (3)$$

де 0,31 – кількість теплоти (ккал), необхідна для підігрівання 1 м³ повітря на 1°C; Δt – різниця температур зовнішнього і внутрішнього повітря, °C; L₁ – об'єм повітря, який необхідно видаляти із приміщення щогодини, м³/год.

Обмін повітря визначаємо за формулою:

$$L_1 = \frac{D + 10\%D}{W_{\text{дн}} - W_{\text{з}}}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (4)$$

$$W_{он} = W_{нас.н} \frac{\varphi_n}{100}, \text{ г/м}^3, \quad (5)$$

$$W_з = W_{нас.з} \frac{\varphi_з}{100}, \text{ г/м}^3, \quad (6)$$

$$D = W_m \cdot n, \quad (7)$$

де D – сумарна кількість пароподібної вологи, що виділяється тваринами, г/год; $10\%D$ – випаровування вологи з підлоги, стін, стелі і т. д., г/год, $10\%D = D \cdot 0,1$; $W_{он}$ – допустима норма вмісту водяної пари у повітрі тваринницького приміщення, г/м³; $W_з$ – вміст водяної пари у зовнішньому повітрі, г/м³; φ_n і $\varphi_з$ – відносні вологості повітря у приміщенні та надворі; $\varphi_n = 70\%$, $\varphi_з = 82\%$; W_m – кількість водяної пари, яка виділяється однією твариною середньої для цього приміщення маси, г/год, $W_T = 320 \text{ г/год}$ ⁶.

Розхід теплоти, що витрачається на випаровування, визначимо за формулою:

$$Q_{випр} = 10\% D \times 0,595, \text{ ккал/год}, \quad (8)$$

де $10\%D$ – випаровування з підлоги та інших огорожуючих конструкцій; $0,595$ – розхід теплоти на випаровування 1 г води.

Втрати теплоти на обдуваемість визначаємо за формулою:

$$Q_{обд.} = 10\% \sum KF_{стен, окон, ворот} \times \Delta t, \text{ ккал/год} \quad (9)$$

Вільна теплота, яка виділяється всіма тваринами, що знаходяться у приміщенні:

$$Q_T = q_T \times n, \text{ ккал/год}, \quad (10)$$

де q_m – вільна теплота, яка виділяється всіма тваринами, що знаходяться у приміщенні, ккал/год, $q_T = 2010 \text{ кДж/год} = 480,39 \text{ ккал/год}$.

Розрахунок виконуємо для різних температур зовнішнього середовища (табл. 2).

Аналізуючи графіки теплового балансу приміщення свинарника-маточника залежно від температури навколишнього середовища (рис. 2) можна оцінити динаміку необхідного введення теплової енергії. Лінія загального балансу $Q_{он}$ йде в негативний діапазон координат після 6°C. Тобто у приміщенні свинарника-маточника для

⁶ Гончар В.Ф. Электрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. Київ : Вища школа, 1985. С. 39, табл. 7.

тварин вистачає тепла до температури зовнішнього середовища 6 °С, а нижче цієї температури необхідно вводити додаткові теплові потужності для загального обігріву, оскільки тварини належать до теплокровних, їм притаманна постійна температура тіла, яка підтримується теплорегуляцією, тому свині, а особливо поросята, дуже вимогливі до зміни температури повітря у приміщенні. Свині бояться переохолодження, тому вони гірше реагують на холод, аніж на тепло.

Таблиця 2

Результати розрахунку теплового балансу

Складові балансу	Тепловтрати при $t_H=20^\circ\text{C}$				
	10 °C $\Delta t=10^\circ\text{C}$	5 °C $\Delta t=15^\circ\text{C}$	0 °C $\Delta t=20^\circ\text{C}$	-22°C $\Delta t=42^\circ\text{C}$	-30 °C $\Delta t=50^\circ\text{C}$
Втрати через огорожуючі конструкції, $Q_{ог}$, ккал/год	14780,2	22170,3	29560,4	62076,84	73901
Втрати на вентиляцію, Q_v , ккал/год	24800	25181,53	26810,784	39817,89	46792,48
Втрати на випаровування, $Q_{вип}$, ккал/год	1904	1904	1904	1904	1904
Втрати на обдуваємість, $Q_{об}$, ккал/год	504,832	757,248	1009,664	2120,294	2524,16
Загальні витрати, $Q_{вт}$, ккал/год тепла, ккал/год	41989603	50013,08	59284,85	105919	125121,6
Тепловиділення від тварин, Q_m , ккал/год	48039	48039	48039	48039	48039
Загальний баланс, $Q_{оп}$, ккал/год (кДж/год)	6049,968 (25330,01)	-1974,078 (-8265,07)	-11245,85 (-47084,12)	-57880,02 (-242332,06)	-77082,64 (-322729,59)

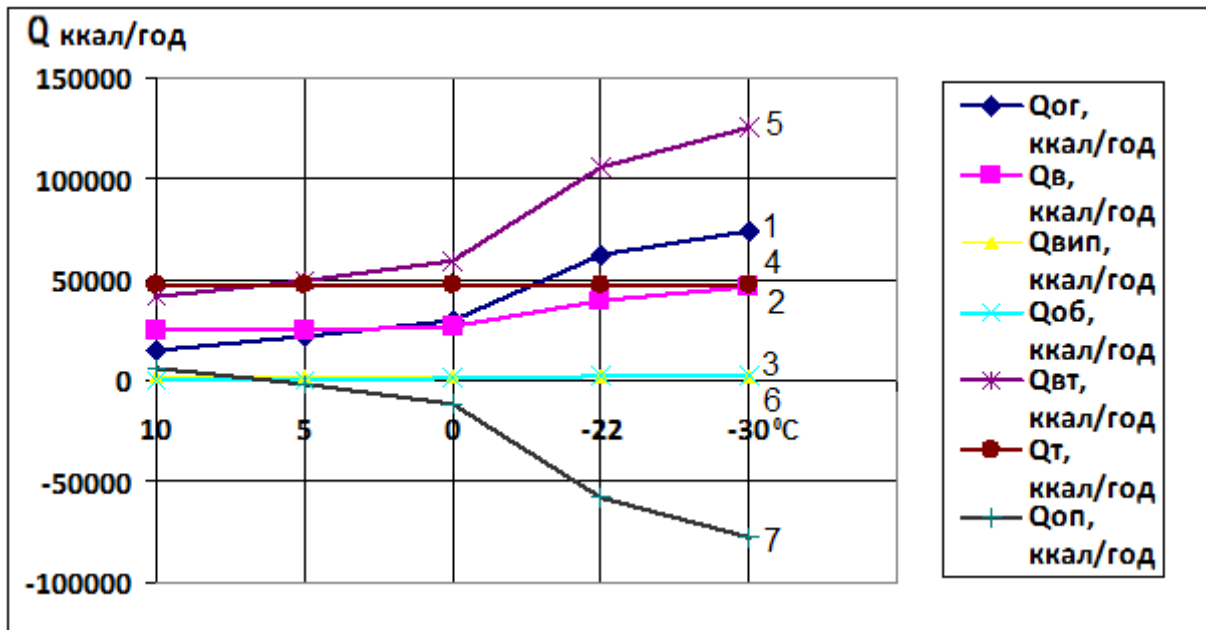


Рис. 2. Графік теплового балансу приміщення залежно від температури навколишнього середовища

1 – втрати теплоти через огорожуючі конструкції, $Q_{ог}$ ккал/год;
 2 – втрати теплоти на вентиляцію, $Q_{в}$ ккал/год; 3 – втрати теплоти на обдуваємість, $Q_{об}$ ккал/год; 4 – тепловиділення від тварин, $Q_{т}$ ккал/год;
 5 – загальні витрати теплоти, $Q_{вт}$ ккал/год; 6 – втрати теплоти на випаровування, $Q_{вип}$ ккал/год; 7 – загальний тепловий баланс, $Q_{оп}$ ккал/год.

2. Визначення теплової потужності

Визначення кількості теплового агента за водяного опалення проведемо при температурі зовнішнього середовища $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ за необхідності теплоти для опалення приміщення свинарника-маточника $Q_{он}=242332,06$ кДж/год.

Визначити кількість води у мережі на водяне опалення можна за формулою:

$$G_{TM}^{он} = \frac{Q_{он}}{C_p \cdot (t_{np} - t_{зв})}, \text{кг/с}, \quad (11)$$

де C_p – теплоємність води, $C_p=4,19$ кДж/(кг·°C)

Витрату води на власні потреби визначаємо за формулою:

$$G_{TM}^{ГВП} = \frac{Q_{ГВП}}{C_p \cdot (t_{np} - t_{зв})}, \text{кг/с}. \quad (12)$$

Загальну кількість води у мережі визначаємо за формулою

$$G_{TM} = G_{TM}^{он} + G_{TM}^{ГВП}, \text{кг/с}. \quad (13)$$

Визначимо кількість води:

– для підживлення мережі

$$G_{пж} = G_{ТМ} \cdot \alpha, \text{кг} / \text{с}, \quad (14)$$

де $\alpha=0,025$

– до мережевого насосу

$$G'_{ТМ} = G_{ТМ} \cdot (1 - \alpha) + G_{пж}, \text{кг} / \text{с}, \quad (15)$$

– зворотної води

$$G_{зв} = G_{ТМ} - G_{пж}, \text{кг} / \text{с}, \quad (16)$$

– через мережевий насос

$$G_{мн} = G_{зв} + G_{пж}, \text{кг} / \text{с}, \quad (17)$$

– у рециркуляційній лінії

$$G_{рец} = G_{ТМ} \frac{t_{зв} - t_{мн}}{t_{пр} - t_{зв}}, \text{кг} / \text{с}. \quad (18)$$

Витрата загальної кількості води

$$G_{к} = G_{мн} + G_{рец}, \text{кг} / \text{с}. \quad (19)$$

Таблиця 3

Витрати води у мережі водяного опалення

Кількість води, кг/с	Показники
у мережі на водяне опалення, $G_{ТМ}^{on}$	0,8033
на власні потреби, $G_{ТМ}^{ГВП}$	0,119
для підживлення мережі, $G_{пж}$	0,023
до мережевого насосу, $G'_{ТМ}$	0,9222
зворотної води, $G_{зв}$	0,8993
через мережевий насос, $G_{мн}$	0,9223
у рециркуляційній лінії, $G_{рец}$	0,0461
загальної кількості води, що витрачається на водяне опалення	0,9684

Температуру води на виході з мережі можна визначити за формулою:

$$t_{мн} = \frac{G_{зв} \cdot t_{зв} + G_{пж} \cdot t_{св}}{G_{мн}} = \frac{0,8993 \cdot 50 + 0,023 \cdot 10}{0,9223} = 49 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (20)$$

Потужність обігрівної установки визначимо за формулою:

$$G_{уст} = G_k \cdot C_p \cdot (t_{np} - t_{зв}) = 0,9684 \cdot 4,19 \cdot (70 - 50) = 81,152 \text{ кВт} / \text{год}. \quad (21)$$

Розрахунок водяної теплої підлоги проведено за допомогою онлайн-калькулятора⁷.

Опалювальна площа підлоги становить 800 м². Оскільки в одному приміщенні знаходяться тварини різного вікового складу і для кожного віку тварин необхідно підтримувати відповідну температуру, опалювальну площу поділяємо на дві частини. Тобто для того, щоб отримати різну температуру підлоги (для поросят – 30 °С, для свиноматок – 20 °С) потрібно труби прокладати з різним кроком. При створенні оптимальної температури для поросят за температури підлоги 30 °С, подачі води в систему 50 °С, температури води зворотної системи 40 °С, кроку між трубами 0,2 м, труби діаметром 20 мм, товщини стяжки 5 см одержали в онлайн-калькуляторі питому теплову потужність 110 Вт/м², що становить необхідну теплову потужність 44 кВт. При створенні оптимальної температури для свиноматок за температури підлоги 20 °С, кроку між трубами 0,5 м одержали питому теплову потужність 50 Вт/м², що становить теплову потужність 20 кВт. Отже, на обігрів підлоги для поросят і свиноматок потрібно 64 кВт.

3. Розробка комбінованої системи опалення тваринницького приміщення

Ефективність роботи сонячної системи залежить від правильного вибору сонячних колекторів.

Визначаємо кількість теплоти, яка виробляється вакуумним колектором за день. Для цього слід використовувати дані про середньомісячний рівень сонячного випромінювання у цій місцевості (табл. 5).

Розрахунок проведемо для середнього значення рівня сонячної радіації.

Визначаємо кількість теплової енергії, що виробляється в середньому вакуумним колектором за день

$$Q_k = E_c \cdot S_p \cdot \eta = 2,92 \cdot 3,84 \cdot 0,95 = 10,65 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}, \quad (22)$$

де E_c – середній місячний рівень сонячної радіації (табл. 5); η – ККД сонячного колектора, $\eta = 0,95$; S_p – площа сонячного колектора, $S_p = 3,84 \text{ м}^2$ (табл. 4).

⁷ Розрахунок теплової водяної підлоги за допомогою онлайн-калькулятора. URL: <https://sdelalremont.ru/uk/kalkulyator-teplogo-pola-vodyanogo.html>.

Визначаємо необхідну площу геліополя, щоб забезпечити теплові потреби:

$$A = \frac{G_{уст}}{E_c \cdot \eta} = \frac{81,152}{2,92 \cdot 0,95} = 29,25 \text{ м}^2, \quad (23)$$

де $G_{уст}$ – потужність обігрівної установки, $G_{уст}=81,152$ кВт.

Визначаємо необхідну кількість сонячних колекторів

$$n = \frac{A}{S_p} = \frac{29,25}{3,84} = 7,62. \quad (24)$$

За середнього значення рівня сонячної радіації необхідно 8 сонячних колекторів загальною потужністю 85,2 кВт.

Таблиця 4

Технічна характеристика сонячного колектора Altek SC-LH2-30

Показник	Altek SC-LH2-30
Тип вакуумної трубки	Heat Pipe
Кількість трубок	30
Діаметр трубки, мм	58
Довжина трубки, мм	1800
Діаметр конденсатора, мм	14
Площа колекторного поля, кв.м.	3,84 кв.м.
Площа абсорбера, кв.м.	2,42
Площа апертури, кв.м	2,82
Номінальний тиск, Бар	6 Бар
Максимальний тиск, Бар;	10 Бар
Стійкість до граду, мм	до 25
Стійкість до морозу, °С	30
Максимальна температура середовища, °С	60
Стійкість до вітру, м/с;	до 30
Рекомендована ємкість бака, л;	250–350 л;
Габарити конструкції, см	2466×1984×160
Коефіцієнт корисної дії, %	95%
Рекомендований розхід, л/хв	4,4
Ємкість теплообмінника, л	2,5
З'єднання до колектора	22 мм × 3/4"НР
Температура стагнації (кипіння), °С	250
Номінальна температура нагріву, °С	від -20 до +90
Рама і колектор	алюмінієвий сплав
Матеріал внутрішнього теплообмінника	мідь
Матеріал ізоляції – мінеральна вата, мм	55–65
Захист від замерзання	гільзування
Кут нахилу, град.	45
Продуктивність, кВт*год/день;	16,6
Срок служби, років	25
Вага, кг	135

Враховуючи середньомісячний рівень сонячної радіації, визначимо кількість теплової енергії за кожний місяць року, яку виробляє сонячна система з восьми сонячних колекторів (табл. 5)

Кількість кіловат-годин теплової енергії (табл. 5), що виробляє сонячна система, можна визначити за формулою:

$$W_m = Q_k \cdot n_k \cdot D_m, \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (25)$$

де n_k – кількість сонячних колекторів, $n_k = 8$ шт.; D_m – кількість днів у кожному місяці

Таблиця 5

**Середні місячні значення рівня сонячної радіації
(за день на горизонтальній поверхні)**

Місяці	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Середній
Середній місячний рівень сонячної радіації, кВт·год/м ² /день	1,09	1,86	2,84	3,85	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	1,91	1,09	0,85	2,92
К-сть тепла вир. сон. колек., кВт·год/д	3,976	6,785	10,360	14,045	16,562	16,60	16,60	16,051	11,163	6,968	3,976	3,1	10,65
К-сть тепла, що вир. 8 шт. сонячн. колек., кВт·год/д	31,811	54,282	82,883	112,358	132,495	132,8	132,8	128,41	89,303	55,741	31,811	24,806	85,12
К-сть тепла, що вир. сонячн. колек. за місяць, кВт·год	986,127	1519,903	2569,359	3370,752	4107,356	3984	4116,8	3980,698	2679,091	1727,985	954,317	768,998	30765,39

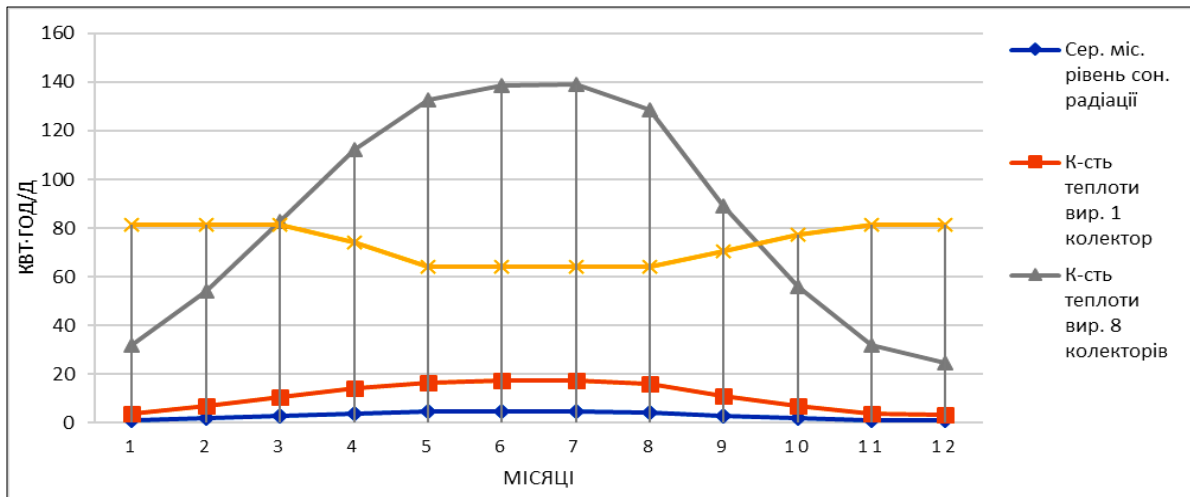


Рис. 3. Теплова енергія, що виробляється колекторами для нагріву води опалювальної мережі

За графіком (рис. 3) можна зробити висновок, що теплота, яка виробляється вісьмома колекторами у літній період, більша, ніж необхідно для нагріву води за водяного опалення, а в зимовий період її, навпаки, не вистачає, і тому її необхідно компенсувати за рахунок інших нагриваючих пристроїв.

Враховуючи нерівномірність роботи сонячних колекторів і їхню залежність від погодних умов⁸, а також обґрунтовуючи всі фактори створення оптимальної температури у свинарнику-маточнику, ми розробили інноваційний проект з енергозбереження та підвищення енергоефективності⁹, зокрема створили автоматизовану систему комбінованого опалення з використанням сонячної системи й електричного проточного водонагрівача. За рік витрачається набагато менше електроенергії, що позитивно впливає на її економію. У літній період для зменшення виробляючої теплоти можна тимчасово частину колекторів виключити з роботи, використовуючи жалюзі або чохла.

Принцип роботи розробленої енергоощадної системи (рис. 4) полягає в такому: сонячні промені, що падають на сонячний колектор,

⁸ Титко Р., Калініченко В.М. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України). *Об-ня шкіль електричних*. № 1 / Краків, Полтав. держ. аграрна акад. Варшава; Краків; Полтава : Вид-во OWG, 2012. С. 148.

⁹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу: досвід та перспективи впровадження енергоефективних технологій / Крижанівський Є.І., Козак Ф.В., Галушак М.О., Чеховський С.А. *Вісник КНУТД*. 2013. № 6. С. 293.

перетворюються на теплову енергію, яка передається в бак-акумулятор, за рахунок чого нагрівається вода. Основним елементом сонячної системи є геліоприймач, призначений для поглинання сонячної радіації та перетворення її на теплову енергію. Нагріта вода використовується для обігріву підлоги, опалення та технічних цілей, але в зимовий період для опалення сільськогосподарського приміщення, як видно з рис. 3, теплової енергії, що створюється сонячним колектором, не вистачає не тільки за кількістю, а й за часовими характеристиками. З цієї причини використовується бак-акумулятор, який забезпечує надійне зберігання теплової енергії, але, якщо не задовольняються потреби використання теплої води, то для досягнення заданої температури запропоновано використовувати комбіновану систему (рис. 4) із застосуванням електричного водонагрівача проточного типу. Якщо температура води в системі недостатня, то вмикається водонагрівач, що догріває воду до заданої температури. Основною характеристикою бака-акумулятора є не його об'єм, а енергоємність, яка залежить від температурного діапазону, причому чим він більший, тим вища енергоємність.

Об'єм бака-акумулятора можна визначити за формулою:

$$V = \frac{G_{уст}}{C_g \Delta T_{ам}} = \frac{81,152 \cdot 10^3}{1,16 \cdot (70 - 10)} \approx 1166 \text{ л} \quad (26)$$

де $\Delta T_{ам}$ – різниця температур (мінімальна температура води в баку 10 °С, а максимальна – 70 °С; $G_{уст}$ – кількість енергії, яку необхідно акумулювати; $C_g = 1,16$ Вт·год/кг.

Оскільки енергія, що акумулюється, постійно використовується в системі опалення, а температура в баку-акумуляторі вища за температуру зворотної води із системи опалення, то об'єм бака на 1 000 літрів буде достатнім.

У літній період система перемикається в літній режим. Тобто вода, яка нагрівається сонячним колектором, використовується тільки для технічних цілей і підтримання заданої температури підлоги в зоні відпочинку свиноматок і поросят, оскільки цементна підлога холодна і її в літній період також необхідно підігрівати. Якщо в баку-акумуляторі температура води сягає температури, вищої за задане значення, то вмикається клапан, котрий скидає зайве тепло.

За 12 місяців завдяки сонячним колекторам отримуємо 30765,39 кВт·год теплової енергії, що рівноцінно 4451,011 кубо-метрам природного газу. Якщо врахувати, що 1 м³ коштує 6,99 грн, то за рік зекономимо 31112,568 грн.

Отже, сонячна теплова система, яка використовується для опалення свинарника-маточника, вартістю 201 330 грн окупиться за 6,4 роки.

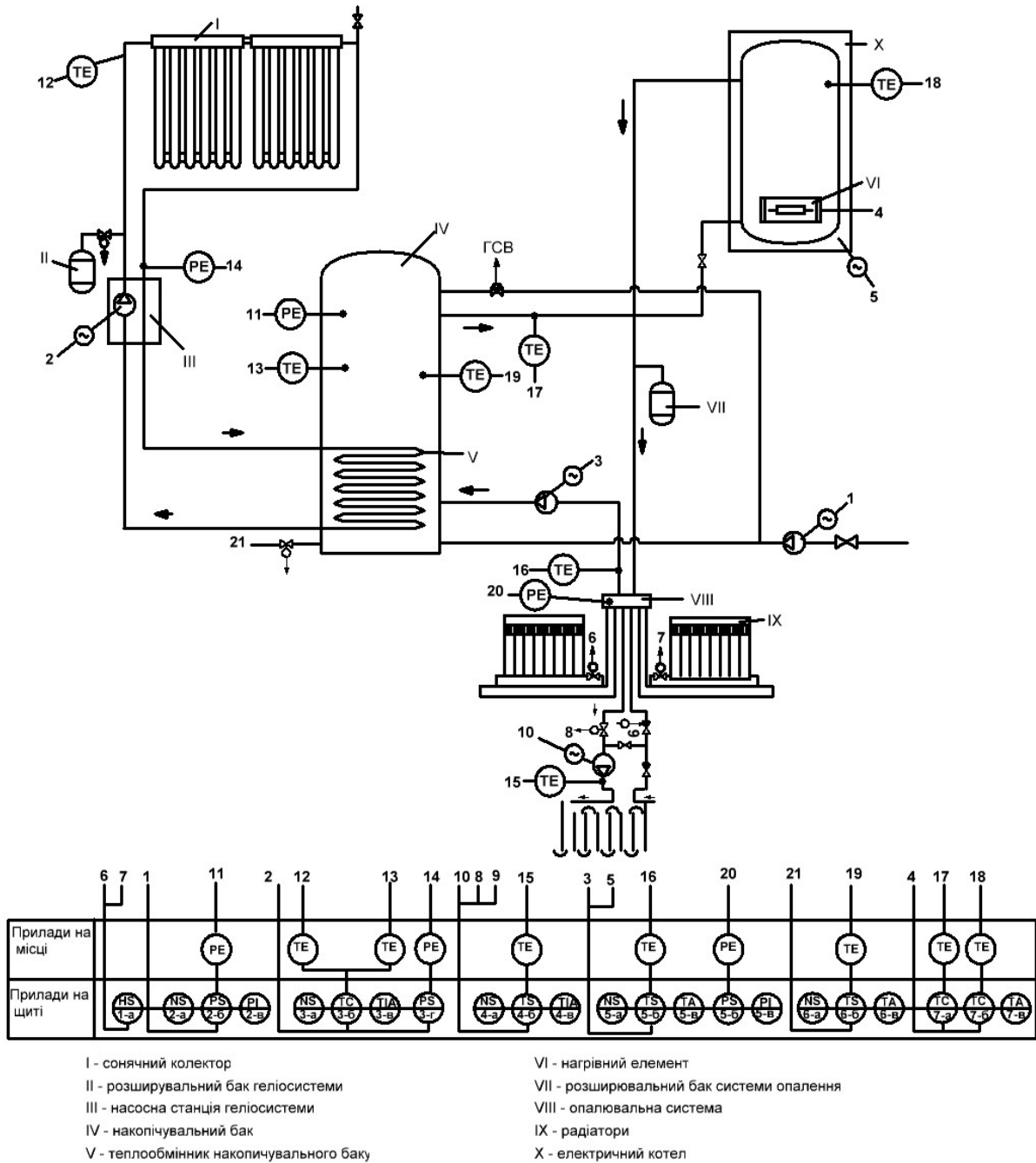


Рис. 4. Функціонально-технологічна схема комбінованої системи для водяного опалення приміщення свинарника-маточника

Проведемо порівняльний розрахунок вартості традиційного палива, необхідного для нагріву води опалювальної системи до температури 70 °C з використанням різного виду опалювальних установок (табл. 6).

Кількість теплової енергії для підігріву $m = 1\ 000$ літрів води від початкової температури $t_1 = 10\ ^\circ\text{C}$ до необхідної $t_2 = 70\ ^\circ\text{C}$ можна визначити за формулою:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (27)$$

де m – маса рідини, л; c – середня питома теплоємність за період нагрівання (для води $c = 4,19 \text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{кВт} \cdot \text{год/л}$); t_1 – початкова температура нагрівання води; t_2 – кінцева температура нагрівання води.

Об'єм газу, який необхідно витратити для отримання визначеної кількості теплової енергії, можна визначити за формулою:

$$V = \frac{Q}{q_{\text{газ}} \cdot \eta_{\text{кд}} \cdot \eta_{\text{гвп}}}, \text{м}^3 \quad (28)$$

де $q_{\text{газ}}$ теплотворна здатність газу ($9,6 \text{кВт/м}^3$); $\eta_{\text{кд}}$ – ККД газового котла (0,9); $\eta_{\text{гвп}}$ – ККД системи ГВП, що враховує втрати теплоти (0,8).

Таблиця 6

Порівняльна вартість палива для підігрівання 1 000 л води

Вид палива	Вартість одиниці енергоносія, грн	ККД установки, %	Середня витрата палива на 1 000 л води	Вартість палива на 1 000 л води
Газ, м ³	6,99	0,85	9,55	66,74
Дрова, м ³	400	0,85	0,045	18
Пеллети, кг	3,1	0,85	17,28	53,57
Вугілля, кг	2,43	0,85	12,5	30,38
Торфобрикети, кг	1,85	0,85	24,96	45,51
Електроенергія, кВт	1,68	0,85	60,5	101,64
Електроенергія сонячного колектора, кВт	1,68	0,95	–	–

Розрахунки витрат грошових коштів за впровадження комбінованої системи опалення і гарячого водопостачання на базі сонячних колекторів показали, що приблизно 7 місяців у рік повністю відсутні витрати на нагрів води порівняно з використанням традиційних систем опалення.

ВИСНОВКИ

Перевага альтернативної технології за використання сонячної енергії порівняно із традиційними аналогами пов'язана не тільки зі значним зменшенням витрат енергії у системах теплопостачання, а й із екологічною чистотою та новими можливостями у сфері підвищення ступеня автономності систем теплопостачання. Геліосистема є замкнутою і практично не обслуговується, тож надалі не потребує додаткових витрат.

Реалізація (використання) відновлювальних джерел енергії надає можливість обмежити використання традиційних палив, зменшити антропогенне навантаження на довкілля, покращити якість теплопостачання тваринницьких приміщень.

АНОТАЦІЯ

Одне з найважливіших питань свинарників-маточників, яке має сьогодні першочергове значення і потребує комплексного підходу до його вирішення – розробка енергозберігаючих систем для підтримання нормативних показників мікроклімату, що безпосередньо має вплив на життєдіяльність тварин і продуктивність сільськогосподарської продукції.

Для підвищення енергоефективності систем опалення тваринницьких приміщень на прикладі свинарника-маточника на 100 голів проаналізовано можливість використання сонячних колекторів. Проведено моніторинг надходження та витрат теплоти залежно від зміни погодних умов і теплового режиму тваринницького приміщення. Проведено розрахунок теплового навантаження залежно від теплопровідності конструкцій огороження та кліматичної зони розташування з урахуванням віку і виду тварин. Найбільші тепловтрати залежно від зміни температури зовнішнього середовища у свинарнику-маточнику виникають через конструкції огороження та вентиляцію, що приводить до збільшення енерговитрат або природного палива на створення оптимального мікроклімату та здоров'я сільськогосподарську продукцію.

Запропонована розробка ресурсощадних теплоаккумуляційних електротехнологій, яка базується на використанні комбінованої системи опалення із застосуванням сонячної енергії, що є екологічно чистою та маловитратною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романченко М.А., Бріндза Я., Дабровська П. Застосування ресурсощадних електротехнологій в виробництві продукції тварин-

ництва. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 165. С. 101–104.

2. Бабаханов Ю.М., Степанова Н.А., Шаталов А.П. Снижение энергопотребления систем микроклимата в животноводческих помещениях. *Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. ВНИЭСХ. Научные труды*. Т. 64. 1985. С. 98–107.

3. Енергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами / М.А. Романченко, Д.І. Мазоренко, А.П. Слесаренко, О.С. Сорока. *Електрифікація та автоматизація сільського господарства*. 2006. № 2. С. 82–92.

4. Рекомендации по реконструкции свиноводческих комплексов и ферм. Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 216 с.

5. Гончар В.Ф. Електрообладнання і автоматизація сільсько-господарських агрегатів і установок. Київ : Вища школа, 1985. 208 с.

6. Розрахунок теплової водяної підлоги за допомогою онлайн калькулятора. URL: <https://sdelalremont.ru/uk/kalkulyator-teplo-go-pola-vodyanogo.html>.

7. Титко Р., Калініченко В.М. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України). *Об-ня шкіл електричних*. № 1. Краків, Полтав. держ. аграрна акад. Варшава; Краків; Полтава : Вид-во OWG, 2012. 653 с.

8. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу: досвід та перспективи впровадження енергоефективних технологій / Крижанівський Є.І., Козак Ф.В., Галушак М.О., Чеховський С.А. *Вісник КНУТД*. 2013. № 6. С. 293–315.

Information about the authors:

Haidukevych Svitlana Vasylivna,

Senior Lecturer

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine “Berezhany Agrotechnical Institute”
Akademichna str., 20, Berezhany, Ternopil region, 47501, Ukraine

Semenova Nadiia Pavlivna,

Senior Lecturer

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine “Berezhany Agrotechnical Institute”
Akademichna str., 20, Berezhany, Ternopil region, 47501, Ukraine