



original article | UDC 636.4:631.22.223.6:628.8 | doi: 10.31210/visnyk2020.03.19

SUBSTANTIATING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHOD TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF PREMISES FOR KEEPING NURSING SOWS

M. S. Nebylytsia

ORCID  [0000-0001-5509-8787](https://orcid.org/0000-0001-5509-8787)

Cherkasy Experimental Station of Bio-Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 76, Pasteur str., Cherkasy, 18036, Ukraine

E-mail: nebilitsia@ukr.net

How to Cite

Nebylytsia, M. S. (2020). Substantiating environmentally friendly method to improve energy efficiency of premises for keeping nursing sows. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 174–182. doi: 10.31210/visnyk2020.03.19

Improving energy efficiency of sow-houses, in the process of designing the reconstruction, is of practical importance for production. This is due to the fact that in Ukraine there are pig farms and complexes, which were designed mainly according to construction standards of 1995. The aim of this study was to justify environmentally friendly method to increase energy efficiency of premises for milking sows and to develop an algorithm for its determining. General scientific (experiment, analysis, synthesis) methods were applied in solving the tasks. In addition, the main microclimate parameters and temperature of the building depending on the seasons of the year were investigated. Geometric, heat engineering and energy characteristics of the sow-house were determined. It was found that the pigsty was characterized by a high value (0.54 m^{-1}) of compactness index. At the same time, the mass heat capacity of enclosing constructions, per 1 m^3 of ventilated volume, made only $0.08 \text{ MJ per } 1^\circ \text{ K}$, which indicated insufficient heat resistance of the house. As a result, in winter, at an average daily outdoor temperature of minus 2.9° C , the indoor temperature dropped to 16.7° C . Thus, it was 1.3° C below the minimum admissible value, according to the VNTP-AIC-02.05 standard. Performance indicators of milking sows showed a significantly higher value of the average live weight of piglets at weaning by 0.19 kg in spring and 0.29 kg in summer, as compared with winter ($p < 0.05$ and 0.01). At the same time, preservation of piglets litter before weaning was by $3.8\text{--}4.6\%$ higher. The economic efficiency of external wall insulation with ecologically safe Technofas effect heat-insulating material having a thickness of 50 mm was substantiated. An algorithm for determining energy efficiency the sow-house was developed. It is determined by the total annual consumption of energy, expressed in $\text{kW}\cdot\text{h}$, divided by the value of the ventilated volume and annual turnover rate ratio of one individual stall place. It has been determined that walls' thermal insulation of the heated pigsty contributes to improving its energy characteristics by 23.2% . The estimated payback period in case of wall isolation with thermal insulation material will be 39.3 months. In addition, thermal insulation is environmentally important in saving 21.15 thousand kW/h of specific heat consumption. This is equivalent to approximately 7.42 tons of conventional fuel.

Key words: substantiation, ecologically safe method, thermal insulation, premises of the sow-house, energy efficiency.

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ПІДСИСНИХ СВИНОМАТОК

М. С. Небилиця

Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН, м. Черкаси, Україна

Підвищення енергоефективності свинарників-маточників при плануванні реконструкції має практичне значення для виробництва. Це пов'язано з тим, що в Україні функціонують свинарські

ферми і комплекси, які проєктувалися переважно за будівельними нормами 1995 року. Метою роботи було обґрунтувати екологічно безпечний спосіб підвищення енергоефективності приміщення для утримання підсисних свиноматок та розробити алгоритм його визначення. У розв'язанні поставлених завдань застосовано загальнонаукові (експеримент, аналіз, синтез) методи досліджень. Визначено геометричні, теплотехнічні та енергетичні характеристики свинарника-маточника. Установлено, що приміщення характеризується високим значенням ($0,54 \text{ м}^{-1}$) показника компактності. Водночас теплоємність масова огорожувальних конструкцій у розрахунку на 1 м^3 вентильованого об'єму становила $0,08 \text{ МДж на } 1^\circ \text{ К}$, що свідчить про недостатню теплостійкість приміщення. У результаті за середньодобової температури зовнішнього повітря взимку мінус $2,9^\circ \text{ С}$ температура у приміщенні знижувалася до $16,7^\circ \text{ С}$ або була на $1,3^\circ \text{ С}$ нижче мінімально допустимого значення згідно з нормативом ВНТП-АПК-02.05. За таких температурних характеристик приміщення установлено вірогідно більше значення середньої живої маси поросяти при відлученні у весняний та літній періоди відповідно на $0,19$ та $0,29 \text{ кг}$ порівняно із зимовим періодом ($p < 0,05$ і $0,01$). За такої умови збереженість приплоду порослят була більшою на $3,8\text{--}4,6\%$. Обґрунтовано економічну ефективність зовнішнього утеплення стін екологічно безпечним теплоізоляційним матеріалом Технофас ефект товщиною 50 мм . Розроблено алгоритм для визначення енергоефективності свинарника-маточника. Її визначають за сумарним показником річного споживання енергії, вираженої у $\text{кВт}\cdot\text{год}$, розділеної на добуток з вентильованого об'єму і коефіцієнту річної оборотності одного станкомісця. Визначено, що теплова ізоляція стін опалюваного приміщення сприяє покращенню його енергетичних характеристик на $23,2\%$ з терміном окупності $39,3$ місяця. Крім цього, теплова ізоляція відіграє важливе природоохоронне значення – економить $21,15 \text{ тис. кВт}\cdot\text{год}$ питомих витрат теплової енергії, що еквівалентно $7,42 \text{ т}$ умовного палива.

Ключові слова: обґрунтування, екологічно безпечний спосіб, теплова ізоляція, приміщення свинарника-маточника, енергоефективність.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОДСОСНЫХ СВИНОМАТОК

Н. С. Небылица

Черкасская опытная станция биоресурсов НААН, г. Черкассы, Украина

Целью статьи было обосновать экологически безопасный способ повышения энергоэффективности помещения для содержания подсосных свиноматок и разработать алгоритм его определения. В решении поставленных задач применены общенаучные (эксперимент, анализ, синтез) методы исследований. Установлено, что свиноводческое помещение характеризуется показателем компактности, равным $0,54 \text{ м}^{-1}$. В то же время, массовая теплоемкость ограждающих конструкций на 1 м^3 вентилируемого объема составила $0,08 \text{ МДж на } 1^\circ \text{ К}$, что свидетельствует о недостаточной теплостойкости помещения. Показатели продуктивности лактирующих свиноматок свидетельствуют о достоверно большем значении средней живой массы порослят при отъеме в весенний и летний период, соответственно на $0,19$ и $0,29 \text{ кг}$ в сравнении с зимним ($p < 0,05$ и $0,01$). При этом сохранность приплода порослят была больше на $3,8\text{--}4,6\%$. Разработан алгоритм определения энергоэффективности свинарника-маточника. Показано, что тепловая изоляция стен свинарника-маточника способствует улучшению его энергетических характеристик на $23,2\%$ при полной окупаемости затрат за $39,3$ месяца.

Ключевые слова: обоснование, экологически безопасный способ, тепловая изоляция, помещение свинарника-маточника, энергоэффективность.

Вступ

Забезпечення свиней мікрокліматичними умовами згідно з нормами [1] дає змогу більшою мірою використовувати їхні продуктивні якості, що зумовлені спадковістю. При плануванні реконструкції підвищення енергоефективності функціонуючих свинарників-маточників має практичне значення для виробництва. Це пов'язано з тим, що в Україні функціонує багато ферм і комплексів, які проєктувалися, переважно, за будівельними нормами 1995 року [2], які не регламентували визначення енергоефективності.

Історичні довідки свідчать, що перші «енергоефективні споруди» з'явилися після світової кризи 1974 року як новий напрям у будівництві [3]. За літературними даними [4–8], проблеми енергозбереження та якості мікроклімату перебувають у центрі уваги фахівців галузі тваринництва і будівництва

всього світу, особливо впродовж останніх двох десятиріч. Міжнародні проекти, які підтримуються Європейською комісією, Програмами Tacis, Thermie, USAID та іншими організаціями, починаючи з 90-х років зробили енергоефективність достатньо відомим терміном.

За вимогою Директив 2006/32/ЄС та 2010/30/ЄС в Україні впроваджується Національний план дій з енергоефективності до 2020 року та затверджені технічні регламенти енергетичної продукції [9–13]. 2017 року набрали чинності ДБН В.2.6-31 «Теплова ізоляція будівель» [14] та ухвалений Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» [15], які спрямовані на зменшення споживання енергії в будівлях. Потрібно наголосити, що дія вищезазначених будівельних норм і Закону стосовно енергоефективності не поширюється на будівлі сільськогосподарського призначення. Отже, це питання в Україні наразі вирішується лише в галузі цивільного будівництва та житлово-комунального господарства. Проте на необхідність впровадження енергозберігаючих технологій при проектуванні та реконструкції тваринницьких підприємств наголошує низка зарубіжних [16–19] і вітчизняних [20–24] учених.

У розвинутих Європейських країнах середній рівень споживання енергії в розрахунку на свиноматку на рік становить 983 кВт·год (за одержання 2,44 опоросів) [25] та 1163 кВт·год. (за одержання 24 поросят) [26] зі значним ступенем коливання. Крім того, для забезпечення оптимального мікроклімату є метод розрахункового визначення показника енергетичної ефективності для житлової та громадської будівлі [14]. Він характеризує річну енергопотребу приміщення в опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні в розрахунку на одиницю опалюваної площі та кондиціонованого об'єму.

Мета роботи – обґрунтувати екологічно безпечний спосіб підвищення енергоефективності приміщення для утримання підсисних свиноматок та розробити алгоритм його визначення.

Завдання дослідження:

- з'ясувати об'ємно-планувальні рішення, геометричні та теплотехнічні характеристики свинарника-маточника;
- визначити температуру огорожувальних конструкцій свинарника-маточника та вплив параметрів мікроклімату на продуктивність підсисних маток за періодами року;
- обґрунтувати екологічно безпечний спосіб підвищення енергоефективності свинарника-маточника та розробити алгоритм його визначення.

Розв'язання цієї проблеми відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року» [27].

Матеріали і методи досліджень

Аналітичні дослідження виконані у відділі тваринництва та виробництва екологічно чистої продукції Черкаської ДСБ НААН. Експериментальні дослідження проведені на фермі Черкаської ДСГДС ННЦ «ІЗ НААН» у чотирирядному свинарнику-маточнику (75 індивідуальних станків) на тваринах червоної білопоясої породи. Використовували методики з дослідження мікроклімату свинарської будівлі [28] і температурних показників її огорожувальних конструкцій за сезонами року згідно з наведеною схемою.

Схема досліду

Показник	Період року			
	<i>зимовий</i>	<i>весняний</i>	<i>літній</i>	<i>осінній</i>
Найменування та номер періоду	дослідний 1	дослідний 2	дослідний 3	дослідний 4
Параметри мікроклімату приміщення, °С, %, Лк, рmm	температура, вологість, освітленість, вміст CO ₂	температура, вологість, освітленість, вміст CO ₂	температура, вологість, освітленість, вміст CO ₂	температура, вологість, освітленість, вміст CO ₂
Температура огорожень, °С	стіни, стеля, підлога, вікна, двері	стіни, стеля, підлога, вікна, двері	стіни, стеля, підлога, вікна, двері	стіни, стеля, підлога, вікна, двері
Продуктивність підсисних маток, кг, г, %	жива маса 1 голови, середньодобовий приріст, збереження	жива маса 1 голови, середньодобовий приріст, збереження	жива маса 1 голови, середньодобовий приріст, збереження	жива маса 1 голови, середньодобовий приріст, збереження

У розв'язанні поставлених завдань застосовано загальнонаукові методи дослідження: експеримент, аналіз, синтез тощо. Для визначення геометричних показників свинарника-маточника використовували сертифікований прилад – лазерний вимірювач довжини Leica DISTO TM D210, серійний

№ 783648. Добовий моніторинг температури, відносної вологості, атмосферного тиску повітря та освітлення приміщення здійснювали приладом ЕАМ-5 (патент України на корисну модель № 108466). Температуру огорожувальних елементів будівлі визначали сертифікованим інфрачервоним термометром Flus IR-820, серійний № 2015085347.

За періодами року проводили дослідження середніх показників живої маси порослят (при народженні та відлученні у 30-денному віці), середньодобових приростів і відсотку збереження порослят до відлучення.

Тепловий баланс свинарника визначали за формулою:

$$Q_T = \Delta t(G \cdot 0,278 + \sum KS) + W_{пр},$$

де Q_T – вільне тепло, яке виділяють тварини за одну годину, Вт;

Δt – різниця між оптимальною температурою повітря всередині приміщення і середньою температурою зовнішнього повітря найхолоднішого місяця, °С;

G – кількість повітря, що видаляється з приміщення вентиляцією або надходить до нього впродовж однієї години, кг;

0,278 – теплоємність повітря, Вт/кг/град;

K – коефіцієнт загальної теплопередачі через огорожувальні конструкції, Вт/год/м²/град;

S – площа огорожувальних конструкцій, м²;

\sum – показник суми добутку K на S кожної окремої частини огорожень;

$W_{пр}$ – витрата тепла на випаровування вологи з поверхні підлоги та інших огорожень приміщення, Вт/год.

Необхідні для розрахунку вентиляції та теплового балансу показники свинюматок і підсисних порослят брали з таблиць ВНТП-АПК-02.05. Товщину теплоізоляційного шару визначали за результатами розрахунку опору теплопередачі, згідно з розділом 5 ДСТУ Б В.2.6-189. Мінімально допустиме значення $R_{q, \min}$ опору теплопередачі непрозорих огорожувальних стін встановлювали згідно з ДБН В.2.6-31 залежно від температурної зони експлуатації будівлі. Значення R_q опору теплопередачі решти непрозорих огорожувальних конструкцій визначали згідно з ДБН В.2.6-31. Матеріали досліджень обробляли біометричними методами на комп'ютері з використанням програмного забезпечення Statistica 8. За результатами обробки даних визначали середню арифметичну величину (M), її похибку (m), віргідність різниці між порівнюваними даними – за критерієм Стюдента (td) і рівень ймовірності (p).

Результати досліджень та їх обговорення

Аналітичні дослідження об'ємно-планувальних рішень свідчать, що приміщення свинарника однопверхове, прямокутне, з показником компактності 0,54 м⁻¹. Несучі та огорожувальні елементи приміщення, на які припадає основне навантаження, виконані з таких будівельних матеріалів:

- фундамент – залізобетонні блоки;
- стіни – залізобетонні тришарові панелі суцільного перерізу (тип ЗНЦ), товщиною 120 мм (із зовнішнім і внутрішнім 35 мм армованим бетонним шаром і 50 мм теплоізоляційним з пінополістиролу між ними);
- стеля (сумісна з дахом) – стельові залізобетонні тришарові плити (тип ЗНГ), з опалубкою дерев'яним брусом і теплоізоляційним шаром скловати (150 мм), покриті хвильовим шифером;
- підлога – керамзитобетон (індивідуальні станки) і бетон (кормові та гнойові проходи), товщиною 90–100 мм.

Спеціальне інженерне обладнання для обігрівання приміщення представлене піролізним котлом УТА-100U потужністю 100 кВт. Для локального обігрівання порослят індивідуальні станки були обладнані дерев'яними будиночками з електричними лампами інфрачервоного випромінювання потужністю 175 Вт. Вентиляція свинарника – природна припливно-витяжна. Для видалення гною приміщення обладнане двома скребковими транспортерами ТСН-160. Загальна площа закслених металопластикових вікон та внутрішніх брам і дверей становила відповідно: 42,7 та 20,7 м².

Під час проведення досліджень визначено основні геометричні і теплотехнічні характеристики свинарника-маточника. Згідно з об'ємно-планувальними рішеннями маса огорожувальних конструкцій і обладнання становила 82 кг у розрахунку на 1 м³ приміщення. Водночас теплоємність масова огорожувальних конструкцій у розрахунку на 1 м³ вентилязованого об'єму становила лише 0,08 МДж на 1⁰ К, що свідчить про недостатню теплостійкість свинарника-маточника (табл. 1).

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ТВАРИННИЦТВО

1. Геометричні і теплотехнічні характеристики приміщення

Найменування характеристик	Показник
Довжина x ширина x висота, м	71 x 18 x 3,10 / 4,50
Об'єм приміщення без тамбурів, м ³	4859
- в т.ч. на 100 кг живої маси свиней, м ³	27,6-36,0
Коефіцієнт компактності приміщення, м ⁻¹	0,54
Загальна маса огорожувальних конструкцій і обладнання, кг	398800
- в т.ч. на одиницю об'єму, кг/м ³	82
Разом теплоємність масова огорожувальних конструкцій і обладнання на 1 ⁰ К, МДж	363,0
Всього теплоємність масова огорожувальних конструкцій і обладнання в розрахунку на одиницю об'єму на 1 ⁰ К, МДж/м ³	0,08
Виділення тваринами теплоти всього, Вт/год. *:	
- взимку, (на 100 кг живої маси 476,7) Вт/год.	70550
- навесні-восени, (455,7) Вт/год.	67450
- влітку, (436,6) Вт/год.	64625
Повітрообмін за годину: - взимку (30 м ³ /100 кг), кг	5772
- навесні-восени (45 м ³ /100 кг), кг	8660
- влітку (60 м ³ /100 кг), кг	11544

Примітки: * – 1 кДж = 0,278 Вт/год.

За таких характеристик приміщення в зимовий період року у разі зовнішньої середньодобової температури повітря мінус 2,9⁰С температура у приміщенні знижувалася до 16,7⁰С, тобто була нижче мінімально допустимого значення на 1,3⁰С. Коефіцієнт кореляції внутрішньої температури огорожень та зовнішньої температури докільля дорівнював у межах 0,341-0,657* (p<0,05). Відносна вологість у приміщенні становила 87,4 % або перевищувала норму на 17,4 %. Температурний напір дорівнював 15,4⁰С, що підвищувало паро-проникність огорожувальних стін і негативно впливало на формування показника відносної вологості повітря у приміщенні. За таких обставин поросята піддавалися деякому переохолодженню в період годування через підвищення конвекційних втрат тепла тілом.

Визначено, що більш комфортні та оптимальні величини температури і відносної вологості у приміщенні формуються у весняний та осінній період року. В літній період середньодобова температура повітря перевищувала максимально допустиме значення на 14,0 %, а у спекотні дні – на 25,0 %. Відносна вологість повітря переважала нормативний показник на 4,1 %. Отже, параметр температури повітря можна оцінювати в цей період, як допустимий. Установлено значущий позитивний зв'язок між температурою повітря докільля і свинарника-маточника взимку та влітку, з коефіцієнтами кореляції, відповідно $r=0,672^*$ та $0,946^*$ (за $p<0,05$).

За таких температурних характеристик приміщення установлено вірогідно більше значення середньої живої маси поросяти при відлученні у весняний та літній періоди відповідно на 0,19 та 0,29 кг порівняно із зимовим періодом ($p<0,05$ і $0,01$). При цьому збереженість приплоду поросят була більшою на 3,8–4,6% (табл. 2).

2. Вплив основних параметрів мікроклімату свинарника-маточника на продуктивність підсисних маток залежно від періоду року, n=20

Період року	Параметр:			Багатоплідність, гол.	Кількість поросят у 30 днів	Маса 1 голови (кг) при:		Середньодобовий приріст, г	Збереження поросят до відлучення, %
	T, °C	W, %	A, Лк			народженні	відлучені у 30 днів		
Зимовий	16,7	88,1	51	10,2±0,36	8,6±0,18	1,21±0,02	7,10±0,05	198±2,3	83,2
Весняний	18,3	88,3	60	10,0±0,37	8,8±0,20	1,22±0,02	7,29±0,05*	202±1,4	87,8
Літній	25,1	74,1	70	9,9±0,34	8,5±0,21	1,24±0,02	7,39±0,10**	205±2,6*	87,0
Осінній	18,8	84,1	65	10,4±0,33	9,0±0,21	1,20±0,02	7,21±0,09	201±2,3	87,6

Примітки: * p<0,05; ** p<0,01.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ТВАРИННИЦТВО

Дані добового моніторингу температури стін приміщення в зимовий період свідчить про вірогідну позитивну кореляцію внутрішньої температури огорожень та зовнішньої температури довкілля ($r=0,34-0,66^*$; $p<0,05$). Температурний перепад на внутрішній і зовнішній поверхнях огорожувальних стін дорівнював $13,4-14,0$ °C або в $4,1-4,4$ рази був більшим, ніж у теплий період року.

Зважаючи на вищенаведене, за існуючої потужності піролізного котла тепловий баланс свинарника-маточника був від'ємним (-189678 Вт/год.), у холодний період року. Розрахували можливість компенсації дефіциту теплової енергії через додаткову термоізоляцію огорожувальних стін. Для цього визначили необхідну товщину теплової ізоляції стін екологічно безпечним утеплювачем Технофас ефект. Дані розрахунків свідчать, що товщина цього утеплювача має становити не менше 50 мм. При цьому одержали значення опору теплопередачі огорожувальних стін на рівні $2,57$ м²град/Вт, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-31 (табл. 3).

3. Розрахунок очікуваної ефективності теплоізоляції стін приміщення

Показник	Значення
Разом коефіцієнт теплоопірності $Rk1 = (R1)$, м ² град/Вт (Коефіцієнт теплопередачі неутепленої стіни маточника $K_{ст} = 1 : 1,38 = 0,72$ Вт/м ² ·К)	1,38
Коефіцієнт теплоопірності (R2) 50 мм утеплювача Технофас ефект, м ² град/Вт	1,19
Разом коефіцієнт теплоопірності $Rk2 = (R1 + R2)$, м ² град/Вт (Коефіцієнт теплопередачі утепленої стіни $K_{ст} = 1 : 2,57 = 0,39$ Вт/м ² ·К)	2,57
Співвідношення теплових витрат, $Q1/Q2 = Rk2 / Rk1$	1,86
Зниження витрат теплової енергії через стіни, %	86
Ефективність термоізоляції стін, % ($0,27 \cdot 86$)	23,20
Разом економія питомої теплоти становитиме, тис. кВт/год.	21,15
На суму (Е) за ціни на електроенергію 2,014 грн. за 1 кВт·год, тис. грн.	42,60
Загальна вартість витрат на 1 м ² теплоізоляції стін, грн.	395,84
Всього витрат (С) на теплоізоляцію стін площею 351 м ² , тис. грн.	138,94
Термін окупності теплоізоляції $T = C/E = 138,94/21,15$, міс.	39,30

Визначили очікувану ефективність заходу з утеплення стін за допомогою конструкції з вентиляваною фасадною теплоізоляцією. Вона дорівнює 23,2 % з терміном окупності 39,3 місяця. Крім того, захід із теплоізоляції має важливе природоохоронне значення – економить 21,15 тис. кВт/год питомих витрат теплової енергії, що еквівалентно 7,42 т умовного палива. Важливість цього питання підтверджується дослідженнями [29], які свідчать, що ціни на паливо, зокрема на нафтопродукти, будуть значно зростати впродовж найближчих десятиріч.

Методом оцінки приміщень щодо ефективності використання енергоресурсів є енергетична сертифікація, яка створює основу для оцінки та порівняння енергоспоживання різних типів приміщень для утримання тварин.

Узагальнюючи міжнародний та вітчизняний досвід з цього напрямку діяльності, з'ясували, що за методологічну основу розрахунку енергетичної характеристики опалюваного свинарника-маточника потрібно брати витрати, що включають енергію не лише на потреби обігрівання та охолодження. Крім цього, потрібно враховувати енерговитрати, пов'язані з роботою систем вентиляції, освітлення, водопостачання та механізації процесів з приготування і роздавання кормів, видалення гною тощо.

Зважаючи на вищенаведене, ми розробили алгоритм для визначення енергоефективності свинарника-маточника. Він характеризує загальні річні енерговитрати, виражені у кВт·год та розділені на показник добутку об'єму приміщення і коефіцієнта річної оборотності одного станкового місця. Розраховується показник за такою формулою:

$$EP_t = \frac{(\sum RQ_o + \sum RE_n)}{(V_b \cdot K_o)} \quad (1)$$

де EP_t – енергоефективність приміщення, кВт·год / м³;

\sum – знак суми;

RQ_o – загальне річне споживання паливної енергії, кКал ($1 \text{ кКал} = 1,163 \cdot 10^{-3}$ кВт·год);

RE_n – загальне річне споживання електричної енергії, кВт·год;

V_b – вентиляований об'єм приміщення (без урахування тамбурів), м³;

K_o – річний коефіцієнт оборотності одного станкомісця.

Загальне річне споживання електричної енергії розраховується за такою формулою:

$$\sum RE_n = (E_o + E_{ob} + E_{prk} + E_{vg} + E_{vp} + E_{sv}), \quad (2)$$

де $\sum RE_n$ це загальне річне споживання електроенергії (кВт•год) на: E_o – освітлення приміщення, E_{ob} – обігрівання поросят, E_{prk} – приготування і роздавання корму, E_{vg} – видалення гною, E_{vp} – водопостачання, E_{sv} – систему вентилявання.

Узагальнюючи результати проведених досліджень, необхідно зазначити, що термоізоляція огорожувальних стін є лише одним із багатьох елементів термомодернізації свинарника-маточника, оскільки при плануванні реконструкції вона передбачає розроблення комплексу заходів щодо оптимізації енергетичної ефективності всіх інженерних систем приміщення.

Вищенаведена теза узгоджується з думкою інших учених, які зазначають, що подальший розвиток свинарства передбачає застосування ефективних типів забудови свинарських ферм із впровадженням енерго- і ресурсозберігаючих технологій утримання свиней [20, 22]. Застосування нових підходів і сучасних матеріалів при будівництві та реконструкції приміщень дає змогу підвищити коефіцієнт опору теплопередачі зовнішніх стін на 14 %, покрівлі на 10 %, вікон на 75 %, зі зменшенням загального енергоспоживання об'єкту на 33 % [30]. Менше енергії витрачається на обігрів приміщення тепловим насосом порівняно з паливним котлом. Більше енергії потрібно для обігрівання поросят, якщо використовувати інфрачервоні лампи [26], ніж електрокилимки. Витік тепла в зимовий період року через одні нещільно встановлені двері еквівалентний отвору у стіні діаметром 200 мм [19]. Природна вентиляція приміщення не передбачає витрачання електроенергії, проте є ненадійною. Механічна вентиляційна система потребує додаткових витрат електроенергії, які можна оптимізувати шляхом моделювання пікових навантажень чи автоматизованого керування сервомеханізмами за допомогою відповідних електронних датчиків [18]. Система вентиляції з механічним приводом при облаштуванні рекуперації тепла повітрям, що видаляється, може зменшити споживання теплової енергії на нагрівання свіжого повітря взимку до 55 % [21]. Перевагою геотермічної системи вентиляції є незначне коливання температури (на 1–2 °С) приточного повітря у приміщення впродовж доби, навіть за значних перепадів (на 15–20 °С) денних та нічних температур зовнішнього повітря. При цьому ефект охолодження сягає 10–12 °С і не залежить від показника відносної вологості зовнішнього повітря [16]. Енергосберігаючі пристрої для охолодження повітря в літню спеку можуть зменшити до 100 % теплове навантаження на тварин. Інші заходи щодо адаптації, такі як зменшення щільності поголів'я та зміщення структури активності свиней на нічний час є менш ефективними [31].

Висновки

Установлено, що теплова ізоляція стін свинарника-маточника екологічно безпечним утеплювачем Технофас ефект 50 мм товщини покращує енергетичну характеристику будівлі на 23,2 % з терміном окупності 39,3 місяця. Водночас вона має важливе природоохоронне значення – економить 21,15 тис. кВт/год питомих витрат теплової енергії, що еквівалентно 7,42 т умовного палива. Отже, при плануванні реконструкції підвищення енергоефективності свинарських приміщень має практичне значення для виробництва в Україні. Це сприятиме підвищенню конкурентоздатності виробленої продукції свинарства будь-якого підприємства на внутрішньому чи міжнародному ринку.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні більш ефективних екологічно безпечних способів термоізоляції свинарських приміщень при плануванні їхньої реконструкції.

References

1. *Svynarski pidpriemstva (kompleksy, fermy, nevelyki silski hospodarstva). VNTP-APK 02.05. Chynnyi vid 2006-01-01.* (2006). Ministerstvo ahraanoi polityky Ukrainy. Kyiv [In Ukrainian].
2. *DBN V.2.2.1-95. Budynky ta sporudy. Budynky ta sporudy dlia tvarynnytstva. Chynnyi vid 1995-01-02.* (1995). Kyiv: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy [In Ukrainian].
3. Tabunshchikov, Yu., Brodach, M., & Shilkin, N. (2003). *Ehnergoehffektivnye kotly.* Moskva: Avok-Press [In Russian].
4. Tabunshchikov, Yu. (2008). *Mikroklimat i ehnergosberezhenie: pora razobrat'sya v prioritetakh.* Avok, 5, 4–11 [In Russian].
5. Mishurov, N., & Kuzmina, T. (2004). *Ehnergosberegayushchee oborudovanie dlya obespecheniya mikroklimata v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh.* Moskva: Nauchnyj obzor [In Russian].
6. Bashchenko, M. I., Nebylytsia, M. S., & Chernetsky, A. H. (2010). *Osnovni pryntsyipy rekonstruktsii tvarynnytskikh prymishchen dlia zastosuvannia resursozberihaiuchoi tekhnolohii vyrobnytstva svynyny: metodychni rekomendatsii.* Cherkasy [In Ukrainian].

7. Aloyan, R. M., Fedosov, S. V., & Oparina, L. A. (2016). *Ehnergoehffektivnye zdaniya - sostoyaniye, problemy i resheniya*. Ivanovo: PreSSto [In Russian].
8. Maliarenko, V. A. (2006). *Osnovy teplovoi fizyky budivel ta enerhozberezhennia*. Kharkiv: SAHA [In Ukrainian].
9. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy enduse efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 27.4.2006. L 114/64.
10. Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 18.6.2010. L 153/1.
11. DSTU V.2.6-189:2013. *Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia utepлення budynkiv. Chynnyi vid 2014-01-01*. (2014). Kyiv: Minrehion Ukrainy [In Ukrainian].
12. DBN V.2.6-31:2006. *Teplova izoliatsiia budivel. Chynnyi vid 2007-04-01*. (2007). Kyiv: Ukrarkhbudininform [In Ukrainian].
13. DSTU ISO 50001: 2014. *Enerhozberezhennia. Systemy upravlinnia enerhiieiu. Vymohy ta vkazivky shchodo vykorystannia (ISO 50001: 2011, IDT)*. Chynnyi vid 2015-01-01. (2015). Kyiv: Minekonomrovytku Ukrainy [In Ukrainian].
14. DBN V.2.6-31:2016 *Teplova izoliatsiia budivel. Chynni vid 2017-05-01*. (2017). Kyiv: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrarkhbudininform» [In Ukrainian].
15. Pro enerhoefektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. (2017). *Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR)*, 33, 5 [In Ukrainian].
16. Heisler, V. (2011). Enerhozberihaiuchi ventyliatsiini systemy na svynofermakh. *Prybutkove Svyntstvo*, 3 (5), 54–57 [In Ukrainian].
17. Firfiris, V. K., Martzopoulou, A. G., & Kotsopoulos, T. A. (2019). Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review. *Energy and Buildings*, 202, 1. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109368.
18. Ecim-Djuric, O., & Topisirovic, G. (2009). Energy efficiency optimization of combined ventilation systems in livestock buildings. *Energy and Construction*, 42, 8, 1165–1171. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.10.035.
19. Clarke, S., & Johnson, J. (2019). Improving Energy Efficiency in Livestock. *Facilities Factsheet*. 717. ag.info.omafra@ontario.ca.
20. Lyamar, V. O., Voloshchuk, V. M., Khatko, I. V., & Pidtereba, O. I. (2012). Peredovi tekhnolohii svynarstva ta yikh perevahy. *Svynarstvo. Mizhvidomchyi Zbirnyk Naukovykh Prats Instytutu Svynarstva i APV NAAN.*, 60, 8–11 [In Ukrainian].
21. Tikhomirov, D., Vasilyev, A. N., Budnikov, D., & Vasilyev, A. A. (2019). *Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air*. *Wireless Netw.* doi: 10.1007/s11276-019-01946-3.
22. Tkachuk, V., Kravchuk, N., Kilnitska, O., & Shevchuk, K. (2016) Energy efficiency and conservation as a strategic vision of the agricultural entities' competitiveness increasing. *Economic Annals-XXI*. 160 (7-8). 71–76. doi: 10.21003/ea.V160-14.
23. Nebylytsia, M. S. (2019). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia teploizoliatsii ohorodzhualnykh konstruksii svynarskykh prymishchen. *Svynarstvo. Mizhvidomchyi Zbirnyk Naukovykh Prats Instytutu Svynarstva i APV NAAN.*, 73, 48–57 [In Ukrainian].
24. Khazin, V. Y., Koshlatyi, O. B., & Nesterenko, S. V. (2013). Zakhody z enerhozberezhennia pry proektuvanni ta ekspluatatsii tvarynnytskykh budivel. *Enerhoefektyvnist v Budivnytstvi ta Arkhitekturi*, 4, 270–275 [In Ukrainian].
25. Marcon, M., (2009). Energy consumption in livestock housing (pigs). *European Forum Livestock housing for the future. 2009, October 22/23- LILLE*. France.
26. Hörndahl, T. (2008). Energy use in outbuildings. Alnarp Technical Report: (LTJ, LTV) Rural buildings and livestock, Sveriges lantbruksu Universalitet. *Landskap trädgård jordbruk: rapportserie*, 8, 43
27. Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 r. «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist»: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy №. 605-r vid 18.08.2017. m. Kyiv [In Ukrainian].
28. Voloshuk, V. M., Nebylytsia, M. S., Vashchenko, O. O., & Mazanko, M. O. (2016). *Innovatsiinyi metod monitorynhu pokaznykiv mikroklimatu tvarynnytskykh prymishchen: metodychni rekomendatsii*. Cherkasy [In Ukrainian].

29. Woods, J., Williams, A., Hughes, J. K., Black, M., & Murphy, R. (2010) Energy and the food system. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 365 (1554), 2991–3006. doi: 10.1098/rstb.2010.0172.
30. Voloshchuk, V. M., Smyslov, S. Yu., & Sokyрко, M. P. (2017). Netradytsiini rishennia prostorovoho planuvannia budivnytstva svynarskykh plemynnykh pidpriemstv do 100 osnovnykh svynomatok. *Naukovi Dopovidi NUBiP Ukrainy*, 2 (66). doi: 10.31548/dopovidi2017.02.014 [In Ukrainian].
31. Schaubberger, G., Mikovits, C., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringner, M., Knauder, W., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., & Schönhart, M. (2019). Global warming impact on confined livestock in buildings: efficacy of adaptation measures to reduce heat stress for growing-fattening pigs. *Climatic Change*, 156, 567–587. doi: 10.1007/s10584-019-02525-3.
32. Clarke, S., & Johnson, J. (2019). Improving Energy Efficiency in Livestock. *Facilities Factsheet*. 717. ag.info.omafra@ontario.ca.

Стаття надійшла до редакції 15.07.2020 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Небилиця М. С. Екологічно безпечний спосіб підвищення енергоефективності приміщення для утримання підсисних свиноматок. *Вісник ПДАА*. 2020. № 3. С. 174–182.

© Небилиця Микола Степанович, 2020