



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-37

УДК 631.22:628.8

І. М. Трунова¹, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7510-4291

О. О. Мірошник¹, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6144-7573

С. В. Галько², к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

¹Державний біотехнологічний університет, м. Харків²Таврійський державний агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного

e-mail: trunova_iryua@btu.kharkov.ua, тел.: 098-590-66-90

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Розглянуті питання вдосконалення методики комп'ютеризованого аналізу теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту. Зроблено висновок, що необхідність врахування зоотехнічних вимог до мікроклімату тваринницьких приміщень та фізіологічних особливостей тварин вимагають розробки певних алгоритмів розрахунків для комп'ютеризованого аналізу енергоефективності та керування системою мікроклімату, що показано на прикладах отримання аналітичних виразів для визначення втрат теплової енергії через огороження приміщення, з вентиляційним повітрям природної вентиляції, та розробленої блок-схеми алгоритму розрахунку надходження теплової енергії від тварин. Отримані аналітичні залежності та розроблена блок-схема алгоритму розрахунку надходження теплової енергії від тварин можуть бути корисними при застосуванні комп'ютерних технологій під час енергетичного аудиту систем мікроклімату тваринницьких приміщень та для ефективного керування приладами опалення.

Ключові слова: енергетичний аудит, тепловий баланс, тваринницьке приміщення.

Постановка проблеми. Енергетична проблема дуже актуальна для всіх держав світу, особливо гостра є в Україні, яка лише на 35-40 % може задовольнити свої потреби своїми енергетичними ресурсами. Тому питання енергозбереження і енергоефективності є досить актуальною проблемою [1-3]. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання альтернативних джерел енергії, які перетворюють енергію



вітра, сонця та інших нетрадиційних джерел енергії [4-6].

В тваринництві одна з найбільш енергоємних складових виробничого процесу це підтримання необхідних згідно з зоотехнічними вимогами державних норм, наприклад, ДБН В.2.2-1, щодо параметрів мікроклімату приміщень для утримання тварин. Алгоритм розрахунку теплоенергетичного балансу таких приміщень має враховувати багато складових, в тому числі і фізіологію тварин. Він досить трудомісткий, тому існує необхідність використання комп'ютерних технологій, зокрема, для дослідження впливу розроблених рекомендацій щодо підвищення енергоефективності систем мікроклімату.

Формулювання мети статті. Метою роботи є підвищення енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень шляхом вдосконалення методики комп'ютеризованого аналізу теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту.

Аналіз останніх досліджень. Згідно з Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів [7] на кожному підприємстві необхідно забезпечити ефективні режими використання електричної енергії. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту» [8] передбачає, що одним із завдань енергоаудитора є аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів в енергоємних системах, технологічних установках, технологічних процесах та підрозділах. Це стосується і електрифікованих систем мікроклімату приміщень, на що спрямовані вимоги багатьох чинних на момент дослідження нормативних документів з енергозбереження [9-13].

Основою аналізу енергоефективності системи мікроклімату будь якого приміщення є аналіз теплового балансу на основі нормативних значень мікроклімату приміщень [14-21], однак, як відмічається в [15,22], для тваринницьких приміщень він має особливості, що стосуються зоотехнічних вимог утримання тварин та виділенням тваринами вологи, теплоти, вуглекислого газу, що також є змінними величинами, наприклад в [23] наводяться результати дослідження залежності виділення загальної теплоти коровою молочного напрямку вагою 300 кг від температури навколишнього середовища. Також в [23,24] отримані формули, які дозволяють врахувати фізіологічні показники тварин в розрахунках теплового балансу тваринницького приміщення при вихідних даних, що відрізняються від табличних даних нормативів і в [23] запропонована блок-схема вибору необхідного значення виділення вологи однією твариною з табличних даних, але не розглядаються інші складові теплового балансу.

В [25] приведена узагальнений вираз втрат теплової енергії крізь огороження приміщення залежно від температур зовнішнього та



внутрішнього повітря, а в [26] приведений фрагмент комп'ютерної програми для дослідження теплового балансу тваринницького приміщення, але не опубліковані його конкретні результати.

В [27] йдеться про регулювання мікрокліматом за допомогою автоматичного керування кліматичною технікою, але не враховуються особливості технологічного процесу мікроклімату тваринницьких приміщень, як і в аналізі особливостей проектування та пошуку проблем із забезпеченням мікроклімату приміщень в [28]. Питання комп'ютерного математичного моделювання процесів в пташниках та їх експериментальних досліджень присвячені роботи [29-31], що є схожим напрямком з цим дослідженням, але базується на особливостях утримання свійської птиці.

Основна частина. Загальна математична модель теплоенергетичного балансу тваринницького приміщення має вигляд

$$Q_{ог} + Q_{в} = Q_{оп} + Q_{т}, \quad (1)$$

де $Q_{ог}$, $Q_{в}$, $Q_{оп}$, $Q_{т}$ – відповідно витрати теплової енергії через огороження та з вентиляційним повітрям (витратна частина теплового балансу) та надходження теплової енергії від системи опалення та тварин (прибуткова частина теплоенергетичного балансу).

Витрати теплової енергії через огороження приміщення (стіни, вікна, ворота тощо) визначаються за виразом

$$Q_{ог} = \sum_{i=1}^n F_i \cdot k_i \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де F_i , k_i , Δt – відповідно площа i -того огороження, коефіцієнт теплопередачі та різниця температур зовнішнього та внутрішнього повітря.

Дослідження показали, що при певних конструктивних особливостях приміщення залежність втрат теплової енергії через огороження від температури зовнішнього ($t_з$) та внутрішнього ($t_в$) повітря при деякій нормованій оптимальній температурі утримання тварин ($t_{опт}$) можна представити у вигляді

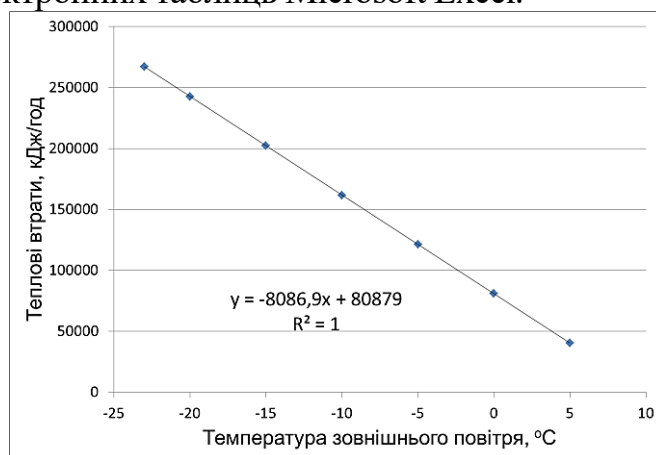
$$Q_{ог} = -A \cdot t_з + B \cdot t_в / t_{опт}, \quad (3)$$

де A , B – коефіцієнти, які залежать від конструктивних особливостей приміщення.

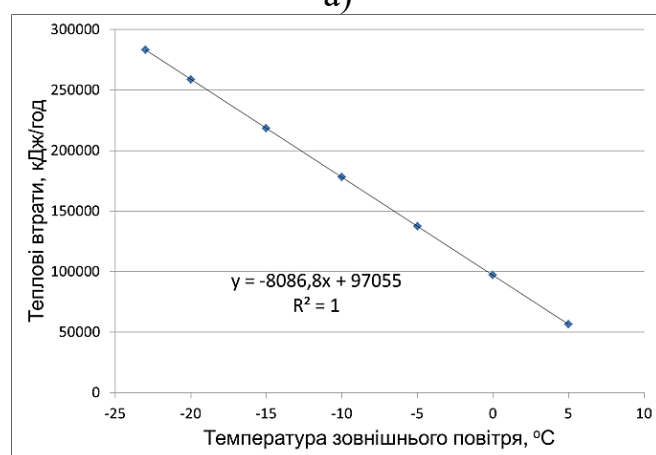
Для на рисунку 1 показані графічні залежності від температури



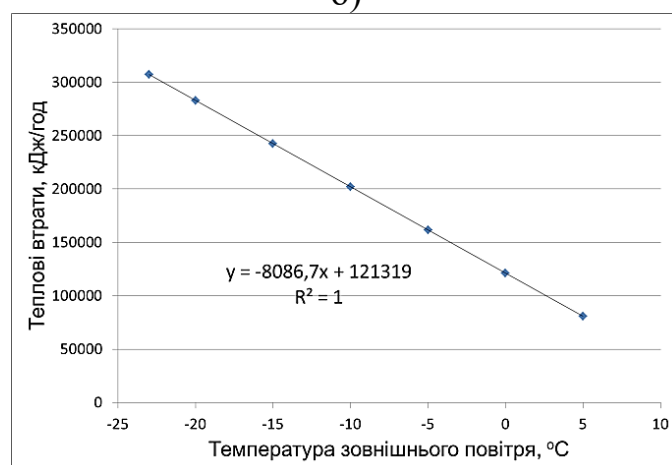
зовнішнього повітря втрат теплової енергії через огороження приміщення для утримання молодняку ВРХ віком від 6 до 18 місяців та відповідні аналітичні залежності, що отримані за результатами розрахунків за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel.



а)



б)



в)

а) при $t_B = 10^\circ\text{C}$; б) при $t_B = 12^\circ\text{C}$; в) при $t_B = 15^\circ\text{C}$

Рисунок 1. Залежність втрат теплової енергії через огороження тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря
Під час енергетичного аудиту аналіз цієї складової теплового балансу

дає можливість виявити потенціал енергозбереження при можливих конструктивних змінах (тобто впливаючи на коефіцієнти A і B).

Наприклад, в тваринницькому приміщенні для утримання молодняку ВРХ віком від 6 до 18 місяців, що розглядається, утеплення горищного перекриття матами зі шлаковати має потенціал зменшення втрат теплової енергії на 6,4 %. При цьому, залежність втрат теплової енергії через огороження даного приміщення від температури зовнішнього повітря матиме вигляд як на рисунку 2. Як бачимо, зміна конструктивних параметрів приміщення (товщини горищного перекриття та його теплопровідності) вплинули на зміну коефіцієнтів A і B у виразі (3).

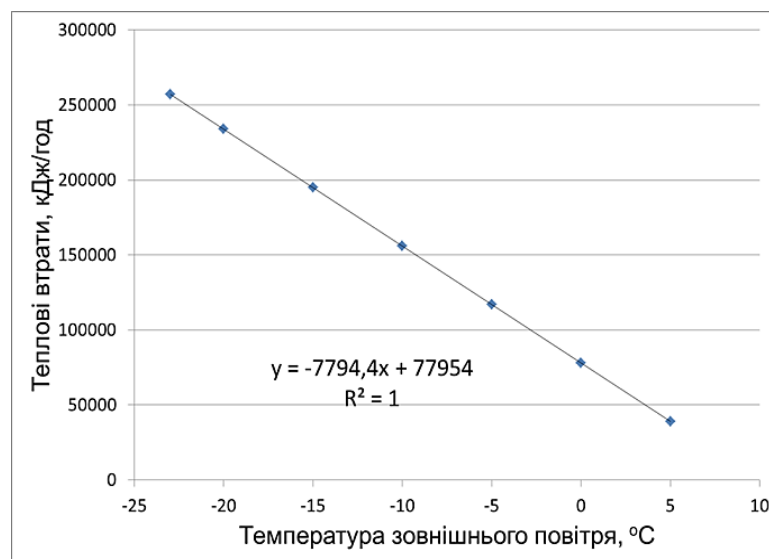


Рисунок 2. Залежність втрат теплової енергії через огороження тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря після конструктивних змін (утеплення горищного перекриття) при $t_{в} = 10^{\circ}\text{C}$.

Аналізуючи відомий вираз щодо визначення втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям ($Q_{в}$) можна зробити висновок, що втрати тепла з природною вентиляцією прикладу тваринницького приміщення, що розглядався, також залежать від конструктивних параметрів (загальної площі перерізу та висоти вентиляційних шахт) та від температур зовнішнього повітря та всередині приміщення.

Нехтуючи незначною зміною теплоємності повітря, для прикладу тваринницького приміщення, тепловий баланс якого розглядався, була отримана графічна та аналітична залежність втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям, що приведені на рисунку 3.

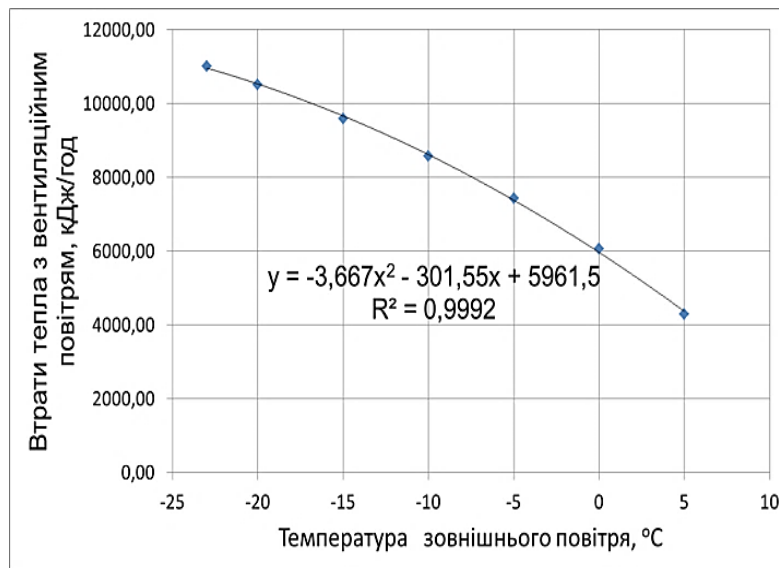


Рисунок 3. Залежність втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям природної вентиляції тваринницького приміщення від температури зовнішнього повітря при $t_B = 10^\circ\text{C}$

Узагальнений аналітичний вираз для опису втрат теплової енергії з вентиляційним повітрям матиме такий вигляд

$$Q_B = -k_1 \cdot t_3^2 - k_2 \cdot t_3 + k_3, \quad (4)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти, що характеризують конструктивні особливості природної вентиляції тваринницького приміщення (загальну площу перерізу та висоту вентиляційних шахт).

Отримавши вказані аналітичні залежності, що залежать від конструктивних параметрів приміщення, тепловий баланс якого аналізується, можна використовувати їх не лише під час комп'ютеризованого аналізу систем мікроклімату під час енергетичного аудиту, але і в комп'ютерних програмах керування системами мікроклімату.

Також необхідний для комп'ютерного керування системою мікроклімату тваринницького приміщення аналіз ще однієї складової теплового балансу – надходження тепла від тварин (Q_m). З цією метою була розроблена блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ з врахуванням виду, продуктивності, ваги (G) тварин. Фрагмент цієї блок-схеми приведений на рисунку 4, з врахуванням емпіричних виразів за [4], де q – кількість виділення теплової енергії однією твариною, Вт; G_1, G_2, \dots, G_i – середня вага тварин у розрахунковий період, кг; N – кількість тварин.

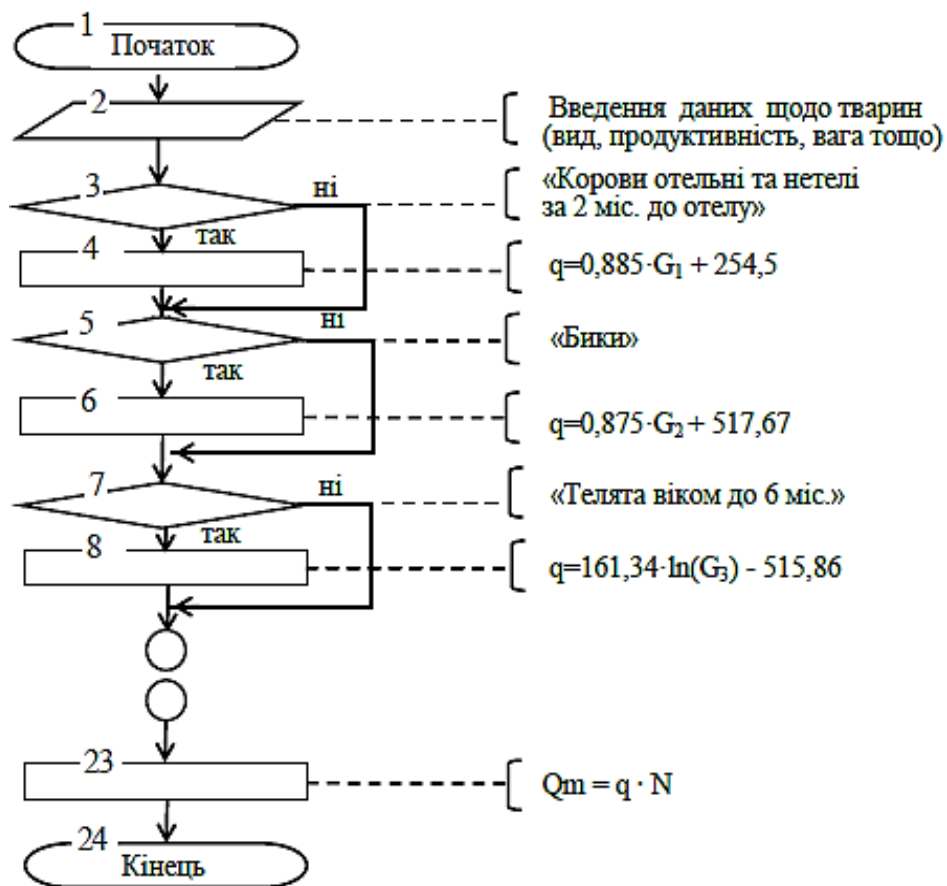


Рисунок 4. Блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ

Висновки. Результати дослідження енергоефективності систем мікроклімату тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій показали, що розроблена блок-схема алгоритму розрахунку кількості виділення теплової енергії ВРХ та отримані аналітичні вирази для визначення втрат теплової енергії через огороження приміщення та з вентиляційним повітрям природної вентиляції, можуть бути корисними під час енергетичного аудиту та для створення програмного забезпечення для керування системами мікроклімату тваринницьких приміщень.

Список використаних джерел.

1. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.

2. Bazaluk, O., Postnikova, M., Halko, S., Mikhailov, E., Kovalov, O., Suprun, O., Miroshnyk, O., Nitsenko, V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol.



12(10). Р. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.

3. Галько С. В., Жарков В. Я., Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств : монографія. Мелітополь : Люкс, 2019. 215 с.

4. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки електромобілів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 19, Т. 3. С. 130–141.

5. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень*: матеріали міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 10 квіт. 2020 р. м. Луцьк: МЦНД, 2020. Т. 1. С. 83–90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.

6. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2021 – Conference Proceedings*. 2021. Р. 132–136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: база даних «Законодавство України» ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 15.09.2022).

8. Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту: Типова методика: затв. наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів від 20.05.2010 р. № 56. Київ: Індустрія, 2010. 140 с.

9. ДСТУ 4715:2007. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад та зміст робіт на стадіях розроблення та впровадження: [Чинний від 2007-01-29]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 21 с.

10. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 34 с.

11. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 28 с.

12. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 24 с.



13. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 39 с.

14. ДСТУ 4714:2007. Енергозбереження. Паливно-енергетичні баланси промислових підприємств. Методика побудови та аналізу. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 25 с.

15. Трунова І. М., Савченко О. А., Мірошник О. В. Практикум з енергетичного аудиту в АПК.: навч. посіб. Харків: Фінарт, 2015. 180 с.

16. Прокопенко В. В. Закладний О. М., Кульбачний І. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навч. посіб. Київ: Освіта України, 2008. – 438 с.

17. Маляренко В. А., Немировский І. А. Енергозбереження та енергетичний аудит: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 344 с.

18. Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Енергетичний менеджмент і аудит = Energy management and audit: підручник. Ч. 1 / за заг. ред. М. Г. Хмельнюка. Херсон: Грінв Д.С., 2016. 224 с.

19. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 347 с.

20. Федоренко О. О., Мартиненко О. В. Проблематика енергозбереження при створенні нормативних параметрів мікроклімату робочої зони приміщень підприємств. *Технології та дизайн*. 2013. № 4(9). С. 1–6.

21. Колієнко В. А., Тормосов Р. Ю., Колієнко А. Г. Сучасні тенденції виконання енергетичного аудиту. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2016. Вип. 8. С. 152–157.

22. Мороз О. М., Трунова І. М. Аналіз напрямів енергозбереження в електрифікованих технологічних процесах АПК. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2016. Вип. 176. С. 3–5.

23. Трунова І. М. Андрусенко О. С., Ільченко Я. В. Вдосконалення методики розрахунку теплового балансу тваринницьких приміщень. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2013. – Вип. 142. С. 3–5.

24. Трунова І. М. Фізіологічні показники тварин у розрахунку теплового балансу приміщення. *Вісник ХНТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2014. Вип. 154. С. 8–9.

25. Трунова І. М., Чигринець К. Д., Пастушенко Р. Р. Аналіз особливостей енергетичного аудиту систем мікроклімату



тваринницьких приміщень з використанням комп'ютерних технологій. *Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку*: зб. наук. праць IV всеукр. Інтернет-конф. здобувачів вищої освіти, молодих вчених та викладачів. Київ: КІЗТ, 2022. С. 84–85.

26. Трунова І. М., Чигринець К. Д., Іванченко О. В. Дослідження математичної моделі теплового балансу тваринницького приміщення під час енергетичного аудиту. *Електроенергетика, електромеханіка та технології АПК*: зб. наук. праць V міжнар. наук.-техн. конф. Харків: ДБТУ, 2022. С. 23–24.

27. Заєць Я. Б., Злотенко Б. М. Енергоефективна система керування мікрокліматом у приміщенні. *Технології та дизайн*. 2017. № 1 (22). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_7 (дата звернення: 15.02.2023).

28. Качанов П. О., Євсеєнко О. М. Огляд потреби побудови енергоефективної системи керування вентиляцією. *Технічна інженерія*. 2022. № 1(89). С. 69–76.

29. Троханяк В. І. Комп'ютерне математичне моделювання процесів масопереносу і теплообміну вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях. *Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК*: зб. тез доп. II міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених. м. Київ, 16–17 жовт. 2014 р. Київ, 2014. С. 46–47.

30. Троханяк В. І., Горобець В. Г., Богдан Ю. А. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря для підтримання оптимального мікроклімату в пташнику. *Актуальні проблеми наук про життя та природокористування*: зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених. м. Київ, 28–31 жовт. 2015 р. Київ, 2015. С. 252–254.

31. Горобець В. Г., Троханяк В. І., Круковський П. Г. Чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу та оптимальне розміщення вентиляційного обладнання в пташнику. *Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК*: зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. конф. м. Київ, 17–18 груд. 2015 р. Київ, 2015. С. 93–94.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2023 р.

I. Trunova¹, O. Miroshnik¹, S. Halko²

¹State Biotechnological University

²Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

**RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF ANIMAL PREMISES
MICROCLIMATE SYSTEMS USING COMPUTER TECHNOLOGIES**



Summary

The issues of improving the method of computerized analysis of the heat balance of the livestock building during the energy audit are considered. It has been determined that it is necessary to take into account zootechnical requirements for the microclimate of livestock buildings (temperature, lighting, etc.). It is also necessary to take into account the physiological characteristics of animals, which depend on the parameters of the microclimate, first of all, the dependence of animal productivity on microclimate conditions. Therefore, it is required to develop certain calculation algorithms for computerized analysis of energy efficiency and control of the microclimate system of livestock buildings. Examples are used to obtain analytical expressions for determining the loss of thermal energy through the enclosure of a room and the loss of thermal energy with natural ventilation air. During an energy audit, the analysis of these components of the heat balance allows you to identify the potential for energy savings with possible structural changes to the premises. An example of a livestock building for keeping young cattle aged from 6 to 18 months is given, where the insulation of the attic floor with slag mats made it possible to obtain a certain reduction in heat energy losses. A block diagram of the algorithm for calculating the supply of thermal energy from animals has been developed. The obtained analytical dependences of thermal energy losses on the temperature outside and inside the premises, and the developed block diagram of the algorithm for calculating the thermal energy supply from animals can be useful when using computer technologies during an energy audit of the microclimate systems of livestock buildings and effective control of heating devices.

Key words: energy audit, heat balance, livestock building.