

Обґрунтовано і побудовано наближену фізичну модель формування температурного режиму у цеху поросят і свиноматки із врахуванням впливу окремих елементів системи комбінованого опалення. Визначено закономірності впливу теплових і технічних характеристик окремих елементів даної системи на температурний режим зон перебування поросят і свиноматки та отримано залежності для визначення температури повітря у цих зонах

Ключові слова: комбінована система опалення, інфрачервоний нагрівач, опалювальна панель, нагрівальний килимок

Обоснована и построена приближенная физическая модель формирования температурного режима в цехе поросят и свиноматки с учетом влияния отдельных элементов системы комбинированного отопления. Определены закономерности влияния тепловых и технических характеристик отдельных элементов данной системы на температурный режим зон пребывания поросят и свиноматки и получены зависимости для определения температуры воздуха в этих зонах

Ключевые слова: комбинированная система отопления, инфракрасный нагреватель, отопительная панель, нагревательный коврик

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ЦЕХУ ПОРОСЯТ І СВИНОМАТКИ СТВОРЕНОГО КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ

В. М. Желих

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: v_zhelykh@msn.com

О. І. Дзерин

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: oleksandra.dzeryn@gmail.com

С. П. Шаповал

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: shapovalstepan@gmail.com

Ю. В. Фурдас

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: yurafurdas@meta.ua

Б. І. Пізнак

Кандидат технічних наук, асистент*

E-mail: piznak.b@gmail.com

*Кафедра теплогазопостачання і вентиляції
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Рівень життя населення тісно пов'язаний із розвитком галузей сільського господарства, зокрема тваринництва, одним із важливих напрямків є свинарство. Вагомою складовою частиною технології виробництва продукції свинарства, від якої залежить подальший прогрес галузі є впровадження інтенсивних технологій, які використовують повнорационну годівлю, високотехнологічне обладнання для утримання і годівлі свиней, опалення, вентиляції тощо [1].

Технологія розведення свиней ґрунтується на принципах цехового утримання; такими є цехи поросят і свиноматки [2]. Найважна низка проблем, які пов'язані з якісним вирощуванням свиней, а саме зниження збереженості молодняку, збільшення смертності поросят в перші дні і години життя, підвищений ризик захворюваності.

Якщо порівнювати поросят з іншими сільськогосподарськими тваринами, то вони народжуються найбільш незрілими, їх жива маса не перевищує 1 % від маси дорослої свині. Після народження протягом 2–3, а інколи і 4–7 днів більшість поросят втрачає близько

5–6 % від початкової маси, оскільки за перші 10 днів кількість води у їхньому організмі зменшується на 6–7 %. Під час вирощування поросят найважливішими є такі періоди: перші 2–3 дні після народження, коли організм поросяти пристосовується до нових умов існування; 5–7 день, коли внаслідок нестачі заліза в молоці свиноматки у поросят починає розвиватися анемія; 14–21 день, коли втрачається імунітет проти різних захворювань, одержаний з молозивом від свиноматки; 35–60 день збігається з часом відлучення поросят, а отже, позбавлення їх материнського молока і повним переходом на інші корми [3].

Поросята народжуються без волосяного покриву, тому дуже чутливі до холоду. Якщо в зоні перебування тварин температура повітря становить менше ніж 15 °С, то поросята у таких умовах переохолоджуються, часто хворіють і можуть загинути. Доросла свиня значно важче переносить високу температуру повітря, ніж низьку. Підвищення температури негативно впливає на життєдіяльність організму свині, спостерігається теплове перевантаження. Ці дані свідчать про те, що в цехах поросят і свиноматки необхідно створювати роздільний мікроклімат, який відповідає фізіологічним

потребам різних категорій тварин. Однак важливим моментом є створення локального нагріву зон перебування тварин. Це дає можливість зосередити тепло в зонах знаходження поросят і свиноматки, і при цьому не обігрівати весь об'єм приміщення.

Одним із шляхів вирішення проблеми теплозабезпечення цехів поросят і свиноматок є впровадження енергоефективних систем опалення, які дають можливість підтримувати необхідний температурний режим у місцях перебування тварин. Окрім того, важливим є здійснення аналізу ефективності запропонованих технічних рішень та визначення техніко-економічних показників.

Актуальною залишається проблема створення нових енергоефективних систем теплопостачання, які враховують особливості сучасного технологічного процесу в цехах поросят і свиноматки, температурні режими, а також фізіологію тварин.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Найпоширенішими системами підтримання температурного режиму цехів поросят і свиноматки є системи повітряного та підлогового опалення, а також інфрачервоного нагрівання. Одним з варіантів забезпечення необхідних температурних умов в зоні перебування поросят є опалювальний пристрій, що складається з корпусу, що може пересуватися у місце опоросу (рис. 1). У корпусі знаходиться вентилятор для подачі повітря безпосередньо у зону перебування поросят, решітка, яка перешкоджає потраплянню сторонніх речей у вентилятор, випускний отвір, виконаний у вигляді дифузора. Важливим елементом такого пристрою є детектор руху, який дає сигнал вентилятору вмикатися, коли свиноматка займає вертикальне положення, відповідно в положенні лежачи вентилятор буде вимкнений [4].

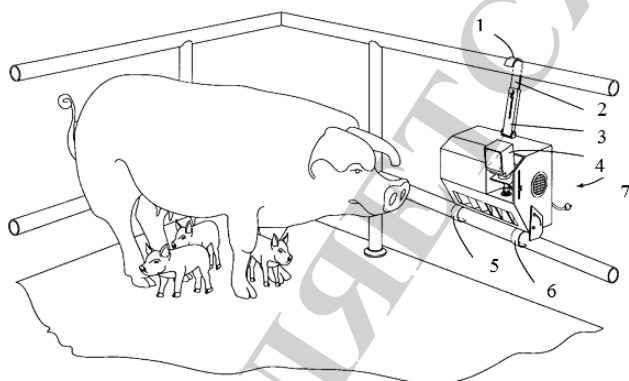


Рис. 1. Пристрій для обігрівання поросят: 1 — с-подібний монтажний елемент; 2 — телескопічний елемент; 3 — кріпильний вузол; 4 — датчик руху; 5 — другий кріпильний елемент; 6 — с-подібний нижній монтажний елемент; 7 — опалювальний пристрій

Цей пристрій дає можливість підтримувати певний тепловий режим у зоні перебування тварин, однак конструкція станка унеможливує роздільне утримання молодняка і свиноматки. Існує небезпека пошкодження поросят свиноматкою, оскільки вони знаходяться поруч із нею.

Для локального нагріву зони знаходження поросят встановлюють інфрачервоні лампи та інфрачервоні нагрівачі. Встановлюють нагрівачі безпосередньо в місці відпочинку поросят [5]. При опроміненні відбувається значний приплив крові до периферичних судин, завдяки чому створюється теплової бар'єр, що перешкоджає переохолодження організму. В оптимальних дозах інфрачервоні промені володіють протизастудними властивостями [6, 7]. Висота підвісу інфрачервоних ламп залежить від температури повітря у приміщенні, а також від температури тіла тварини. Задані температури вимірювались за допомогою інфрачервоного сенсору [8]. Запропоновано утримувати поросят в спеціальному боксі, який оснащений інфрачервоним нагрівачем. Температуру поверхонь у боксі запропоновано контролювати за допомогою датчиків. По мірі росту поросят, температуру повітря необхідно поступово зменшувати [9]. Однак лампи не забезпечують необхідний температурний режим у зоні перебування свиноматки.

З метою забезпечення комфортного стану у приміщеннях з поросятами, а також економії енергоресурсів, запропоновано гібридну систему теплозабезпечення, яка містить в собі сонячні колектори, що розміщені на даху та у зовнішній стіні будівлі, тепловий акумулятор, ємність для відбору теплоти, а також підлогу, яка виконана у формі решітки для кращого розподілу теплоти. Експериментальні дослідження теплотехнічних характеристик даної системою тривали протягом 8-ми місяців. Було встановлено, що використання даної системи дозволяє зменшити витрати енергії на 25–30 % у порівнянні з традиційними системами опалення. Однак є ряд вагомих недоліків, зокрема, відсутність гнучкого регулювання температурного режиму у приміщенні загалом, а також створення роздільного температурного режиму у цеху поросят і свиноматки [10].

Вивченням питання використання енергії Сонця для обігрівання приміщень для утримання поросят займалися також Н. Mun, S. Ahmed та інші. Вчені досліджували зменшення рівня CO₂ та економію енергоресурсів при використанні геліосистеми. Отримано, що рівень викидів CO₂ зменшився на 15 %, а використання електроенергії на 260 кВт-год у порівнянні з традиційною системою [11]. Недоліком даної системи також є складність у регулюванні температури у приміщенні та відсутності можливості зонування.

На основі проведеного аналізу відомих даних теоретичних та експериментальних досліджень вказується на необхідність розроблення інноваційних опалювальних систем, які дають змогу забезпечити роздільний мікроклімат у зонах розташування тварин. При цьому існує необхідність у проведенні спеціальних систематичних досліджень щодо встановлення закономірностей теплообміну у цеху поросят і свиноматки. Суттєвий інтерес становить розгляд можливості впровадження систем комбінованого опалення.

Спираючись на існуючі уявлення про специфіку технологічного процесу із врахуванням фізіологічних особливостей поросят і свиноматок, фізичну сутність теплозабезпечення зон перебування тварин, запропонована енергоефективна система комбінованого опалення [12].

3. Ціль та задачі дослідження

Мета роботи полягає у науковому обґрунтуванні та розробці енергоефективної системи комбінованого опалення із локальними обігрівальними елементами, яка базується на поглибленому аналізі температурного режиму у цехах поросят і свиноматки та розробці на цій основі рекомендацій щодо її раціонального застосування.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- обґрунтувати фізичну модель цеху поросят і свиноматки та доцільність застосування локального нагрівання зон перебування тварин;
- виконати теоретичні та експериментальні дослідження щодо особливостей формування роздільного температурного режиму цеху поросят і свиноматки;
- розробити опалювальний пристрій цеху поросят і свиноматки для теплозабезпечення зон перебування тварин;
- запропонувати енергоефективну систему комбінованого теплопостачання для цеху поросят і свиноматки із використанням локальних опалювальних елементів.

4. Матеріали та методи дослідження теплового режиму цеху поросят і свиноматки

4.1. Аналітичні дослідження теплового режиму цеху поросят і свиноматки

Своєрідність технологічного процесу у цехах поросят і свиноматки полягає у тому, що свиноматка знаходиться у цеху протягом трьох місяців. З них один місяць до поросності, впродовж цього терміну температура повітря у місці знаходження повинна підтримуватись на рівні 15–17 °С, та два місяці з порослятами, при цьому температура повітря повинна бути у межах 18–20 °С [1]. Для забезпечення необхідного температурного режиму встановлюється електрична опалювальна панель, ступінь нагрятості поверхні якої змінюється терморегулятором.

У місці перебування поросят температура повітря є значно більшою і у міру росту змінюється від 30 до 22 °С. Тепловий стан формується електричним нагрівальним килимком у місці відпочинку поросят та інфрачервоним нагрівачем над годівницею, встановлення якого викликає позитивні біологічні прояви у тварин. Зміна теплової потужності опалювальних приладів дає можливість забезпечити необхідний температурний режим цієї зони.

Вологість повітря, а також концентрацію шкідливих газів у цеху поросят і свиноматки асимілюють шляхом достатнього повітрообміну. Повітря за допомогою перфорованого повітропроводу подається в зону перебування поросят і свиноматки, а видалення його здійснюється через канал.

Взявши за основу технологію утримання поросят і свиноматки та врахувавши особливості функціонування комбінованої системи опалення, були сформульовані основні концепції та передумови для обґрунтування фізичної моделі. При цьому брались до уваги явища, які пов'язані із формуванням температурного режиму цеху.

Розроблена фізична модель дала змогу скласти схему теплових потоків, яка повною мірою відображає процеси теплообміну у місцях перебування тварин.

Моделювання теплових потоків ґрунтувалось на теорії графів [13]. Цей підхід дає змогу ефективно розв'язувати складні задачі теплотехнічних фізичних процесів цеху поросят і свиноматки.

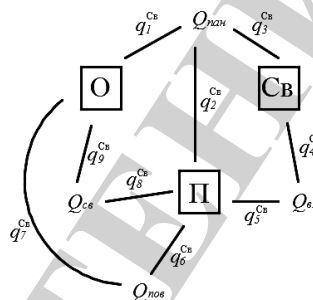


Рис. 2. Граф теплових потоків зони перебування свиноматки

У досліджуваній зоні виділені такі теплові ємності: повітря – (П); огороджувальні захищення – (О); свиноматка – (Св). Крім того, були виокремлені джерела теплоти: опалювальна панель ($Q_{пан}$); свиноматка ($Q_{св}$); повітря ($Q_{пов}$); огороджувальні захищення ($Q_{в.з}$), які є вершинами графа. Теплові потоки зони перебування свиноматки, що відповідають теплообміну між і-ми джерелами теплоти і тепловими ємностями на графі зображено у вигляді ребер, які пов'язують вершини (рис. 1).

Визначена температура повітря у зоні перебування свиноматки. Було здійснено узагальнення емпіричних та теоретичних даних, які стосуються формування теплового стану для умов, які розглядаються, та отримано функціональну залежність (1):

$$t_{з.п}^{св} = f(A_{п}, F_{св}, \alpha_{к}, \alpha_{пр}, t_{св}, t_{з}, t_{пр}, t_{віт}). \quad (1)$$

Для ситуації зони перебування поросят на основі розробленої фізичної моделі, була складена схема теплових потоків, що своєю чергою, дало змогу сформулювати узагальнений граф теплових потоків. Щодо теплових ємностей, то до них належали, по-перше, повітря (П), по-друге, огороджувальні захищення (О), по-третє, порослята (Пор). Ребрами графа представлена теплова взаємодія ємностей з джерелами теплоти, до яких було зараховано нагрівальний килимок ($Q_{клм}$); порослята ($Q_{пор}$); інфрачервоний нагрівач ($Q_{і.н}$); повітря ($Q_{пов}$); огороджувальні захищення ($Q_{в.з}$). Відповідно до цього, була сформульована розширена матриця виокремлених теплових ємностей та системи балансових рівнянь для кожної з них. Це уможливило встановити функціональну залежність температури повітря зони перебування поросят (2):

$$t_{з.п}^{пор} = f(A_{клм}, F_{пор}, A_{з.оп}, T_1, \alpha_{к}, \alpha_{пр}, t_{пор}, t_{з}, t_{пр}, t_{віт}), \quad (2)$$

де $A_{клм}$ – площа нагрівального килимка, м²; $F_{пор}$ – площа поросляти, м²; $A_{з.оп}$ – площа зони опромінення, м²; T_1 – температура поверхні інфрачервоного нагрівача, К; $t_{пор}$ – температура тіла поросляти, °С.

Для отримання залежності між основними параметрами, що формують тепловий стан зони перебування поросят – температурою нагрівального килим-

ка $\tau_{\text{клм}}$, °C, температурою зовнішнього повітря, t_3 , °C, температурою повітря у зоні перебування поросят $t_{3.п.н}^{\text{пор}}$, °C – були використані пакети прикладних програм MATLAB (рис. 3).

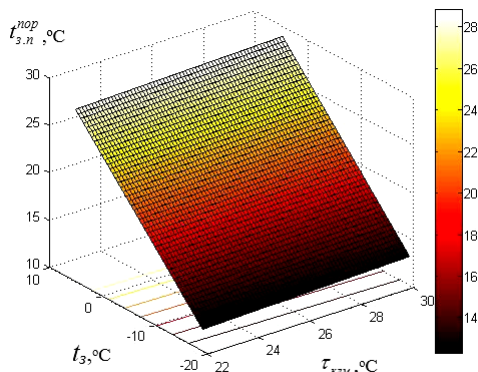


Рис. 3. Розподіл температури повітря у зоні перебування поросят залежно від температури нагрівального килимка і температури зовнішнього повітря

З метою спрощення аналізу теплофізичних процесів були прийняті деякі припущення. Так, діапазон температур поверхні нагрівального килимка становив від 22 до 30 °C, температура зовнішнього повітря змінювалася від 10 до -20 °C. Змінними приймалися два фактори – температура зовнішнього повітря та температура поверхні нагрівального килимка. Решта параметрів, які безпосередньо впливають на тепловий стан зони перебування поросят, для побудови графічної залежності приймалися незмінними.

4. 2. Експериментальні дослідження температурного режиму цеху поросят і свиноматки

Експериментальні дослідження проводились з метою визначення впливу опалювальної панелі, нагрівального килимка, а також інфрачервоного нагрівача на параметри температурного режиму зон перебування поросят і свиноматки.

Представлена методика проведення експериментальних досліджень, виконано планування експерименту, математичну обробку та аналіз отриманих даних.

У комплексі проведених експериментальних досліджень необхідно виділити ряд послідовних експериментальних досліджень:

- по-перше, дослідження температурного режиму у зоні перебування свиноматки, який формувався опалювальною панеллю;
- по-друге, експерименти із визначення температурного режиму у місцях знаходження поросят, який забезпечувався нагрівальним килимком;
- по-третє, визначення впливу роботи інфрачервоного нагрівача на тепловий стан у місці розташування поросят.

Щодо досліджень за першим етапомом, то потрібно відзначити, що експерименти проводились на установці, показаній на рис. 4.

Температурний режим формувався опалювальною панеллю 1, ступінь нагрітості поверхні якої змінювався за допомогою терморегулятора 2 від 60 до 73 °C і визначався пірметром 4. Повітряний потік створювався повітророзподільником 3, швидкість руху та температура повітря вимірювались термоанемометром 5.

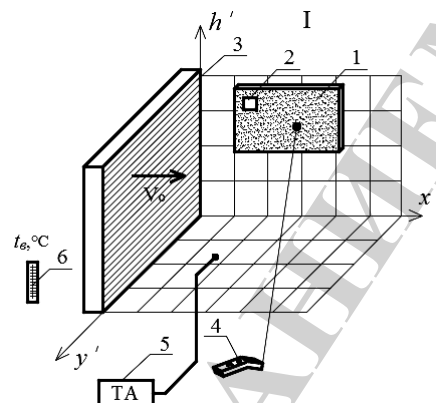


Рис. 4. Схема експериментальної установки для дослідження температурного режиму у зоні перебування свиноматки: 1 – опалювальна панель; 2 – регулятор температури; 3 – повітророзподільник; 4 – пірметр «Німбус-530»; 5 – термоанемометр АТТ-1004; 6 – термометр ТМ6

Дослідження проводились на основі планування експерименту, вхідними факторами якого були: відносна ширина робочої зони $x_1 = y' / y'_{\text{max}}$; y' – ширина зони перебування свиноматки, м; y'_{max} – максимальна ширина цієї зони, м; швидкість руху повітря $x_2 = V_o$, м/с; температура опалювальної панелі $x_3 = \tau_{\text{пан}}$, °C. При цьому функцією відгуку була відносна температура повітря у зоні перебування свиноматки, яка визначалася: $t^{\text{св}} = t_o / t_{3.п.н}^{\text{св}}$; t_o – фонові температура повітря, °C; $t_{3.п.н}^{\text{св}}$ – температура повітря зони перебування свиноматки, °C. Область визначення вхідних параметрів знаходилась у межах: $y' = [0..1]$; $V_o = [0,1..0,5]$ м/с; $\tau_{\text{пан}} = [60..72]$ °C.

За результатами регресійного аналізу апроксимуючий поліном (3) набув вигляду:

$$y = 0,909x_0 + 0,011x_1 + 0,056x_2 - 0,016x_3. \tag{3}$$

На підставі аналізу коефіцієнтів рівняння регресії зроблено висновок, що найбільший вплив на функцію відгуку має фактор x_2 – швидкість руху повітря V_o , м/с; а фактори x_1 – відносна ширина зони перебування свиноматки і x_3 – температура опалювальної панелі, $\tau_{\text{пан}}$, °C, впливають меншою мірою.

Результати експериментів показано на рис. 5.

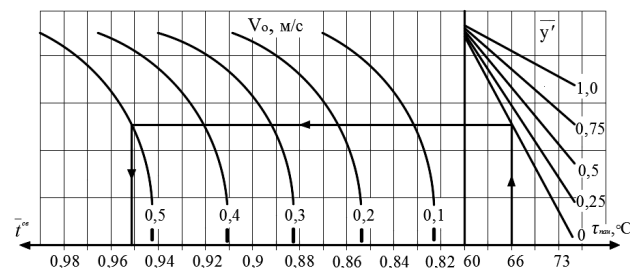


Рис. 5. Графічна залежність відносної температури повітря $t^{\text{св}}$ від відносної ширини цеху поросят і свиноматки y' , швидкості руху повітря V_o , м/с і температури опалювальної панелі $\tau_{\text{пан}}$, °C

Було встановлено, що зменшення температури повітря у зоні перебування свиноматки у міру віддалення від панелі для різних значень швидкостей є фактично однаковим і становить приблизно 2,5 °C.

Дослідження за другим етапом були спрямовані на визначення розподілу температури повітря у зоні відпочинку поросят. Формувався він нагрівальним килимком, ступінь нагрітості поверхні якого змінювався від 30 до 22 °С, дослідження якого проводилися на експериментальній установці, зображені на рис. 6.

Проведено планування експерименту. До уваги бралися такі фактори: $x_1 = \bar{h}' = \bar{h}' / h'_{\max}$ – відносна висота робочої зони; h' – висота зони перебування поросят, м; h'_{\max} – максимальна висота цієї зони, м; $x_2 = V_0$ – швидкість руху повітря, м/с; $x_3 = \tau_{\text{к.л.м}}$ – температура нагрівального килимка, °С. Функцією відгуку у була прийнята відносна температура повітря у зоні перебування поросят $t^{\text{ноп}} = t_B / t_{\text{з.п}}^{\text{ноп}}$; t_B – фонові температура повітря, °С; $t_{\text{з.п}}^{\text{ноп}}$ – температура повітря зони перебування поросят, °С.

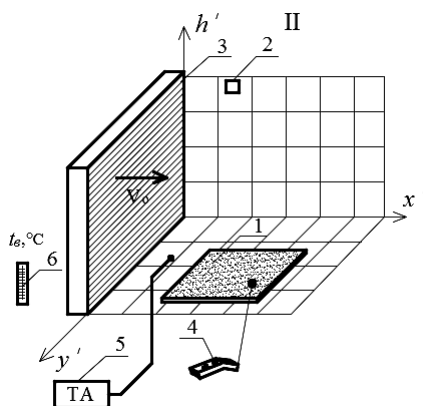


Рис. 6. Схема експериментальної установки для дослідження температурного режиму у зоні перебування поросят: 1 – нагрівальний килимок; 2 – регулятор температури; 3 – повітророзподільник; 4 – пірометр «Німбус-530»; 5 – термоанемометр АТТ-1004; 6 – термометр ТМ6

У результаті експериментальних досліджень за другим етапом отримана графічна залежність для визначення температури повітря у зоні відпочинку поросят за різних швидкостей руху повітря і постійної середньої температури нагрівального килимка (рис. 7).

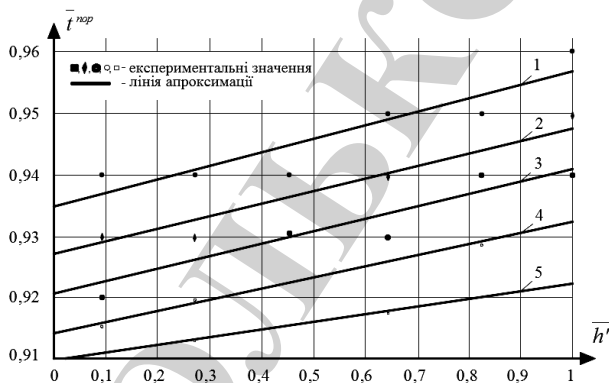


Рис. 7. Залежність відносної температури повітря $t^{\text{ноп}}$ від відносної висоти робочої зони \bar{h}' за $\tau_{\text{к.л.м}} = 26$ °С; $y' = 0,4$ м; $x' = 0,8$ м і за швидкостями руху повітря V_0 : 1 – $V_0 = 0,5$ м/с; 2 – $V_0 = 0,4$ м/с; 3 – $V_0 = 0,3$ м/с; 4 – $V_0 = 0,2$ м/с; 5 – $V_0 = 0,1$ м/с

Проаналізувавши отриману залежність, можна зробити висновок, що температура повітря у цій зоні

незначно змінюється по висоті. Максимальне відхилення на межі зони становить 1,3 °С.

Отримана емпірична залежність для визначення відносної температури внутрішнього повітря у зоні перебування поросят із застосуванням нагрівального килимка:

$$\begin{aligned} \bar{t}^{\text{ноп}} = & (0,9 + 0,073 \cdot V_0) + \\ & + (-0,00035 - 0,0051 \cdot V_0) \cdot ((14,8 - 6 \cdot \bar{h}') + \\ & + (0,3 \cdot \bar{h}' - 0,5) \cdot \tau_{\text{к.л.м}}) + \\ & (0,0009 + 0,0038 \cdot V_0) \cdot ((14,8 - 6 \cdot \bar{h}') + \\ & + (0,3 \cdot \bar{h}' - 0,5) \cdot \tau_{\text{к.л.м}})^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Щодо експериментів за третім із розглянутих етапів, які виконувались на експериментальній установці (рис. 8), то досліджувався температурний режим у зоні годівлі поросят, що забезпечувався інфрачервоним нагрівачем.

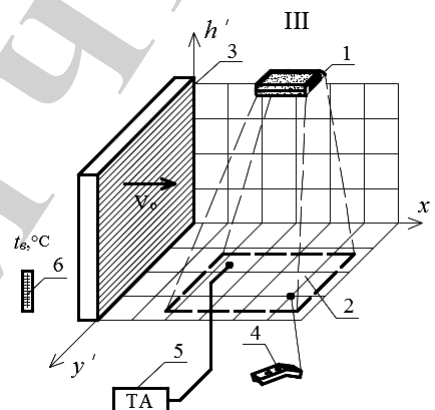


Рис. 8. Схема експериментальної установки для дослідження температурного режиму у зоні перебування поросят: 1 – інфрачервоний нагрівач; 2 – зона опромінення; 3 – повітророзподільник; 4 – пірометр «Німбус-530»; 5 – термоанемометр АТТ-1004; 6 – термометр ТМ6

Здійснено планування повного факторного експерименту, описано методику досліджень, проведено математичну обробку отриманих результатів та подання у вигляді графіків, номограм та емпіричних залежностей. Дослідження були спрямовані на визначення температури повітря у зоні годівлі поросят із врахуванням теплової потужності інфрачервоного нагрівача, висоти його встановлення та швидкості руху повітря.

Відносна температура повітря у досліджуваній зоні була представлена емпіричною залежністю (5):

$$\begin{aligned} \bar{t}^{\text{ноп}} = & (0,6 - 0,18 \cdot h') + 0,1 \cdot (((1,8 - 1,78 \cdot h'_n) + \\ & + (0,98 + 0,004 \cdot h'_n) \cdot ((1,7 + 5,7 \cdot V_0) + \\ & + (-0,0001 - 0,0005 \cdot V_0) Q_H))), \end{aligned} \quad (5)$$

де V_0 – швидкість руху повітря, м/с; Q_H – потужність інфрачервоного нагрівача, Вт; h'_n – висота встановлення нагрівача, м; h' – висота заміру, м.

Встановлено, що за збільшення швидкості руху повітря і висоти встановлення нагрівача температура повітря у цій зоні зменшується.

Для підтвердження адекватності результатів лабораторних досліджень були проведені дослідження у реальних умовах для визначення температурного режиму зон перебування тварин із врахуванням комплексної дії складових елементів комбінованої системи опалення. Було також проведено техніко-економічне порівняння запропонованої комбінованої системи опалення з повітряною системою опалення в поєднанні з інфрачервоними нагрівачами [14].

Розроблені інженерні рекомендації із розрахунку основних теплових характеристик свиногокмплексів з цехами поросят і свиноматок. Запропонована методика розрахунку дає змогу визначити температуру повітря у зоні перебування тварин. Для підтримання заданої температури обчислюється необхідна теплова потужність кожного із складових елементів комбінованої системи опалення, зокрема опалювальної панелі у місці знаходження свиноматки, а також нагрівального килимка та інфрачервоного нагрівача для теплозабезпечення поросят.

Проведені дослідження дали можливість отримати залежність для визначення температури припливного повітря з врахування таких факторів як кількість тварин у свинарнику та фонова температура повітря (рис. 9).

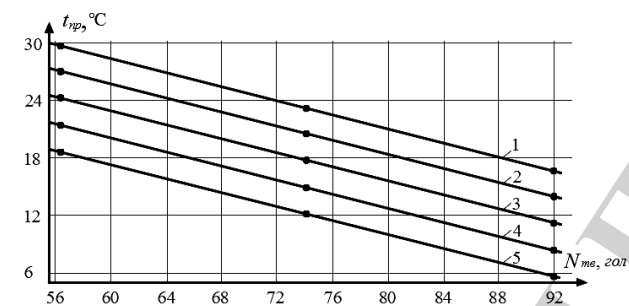


Рис. 9. Залежність температури припливного повітря $t_{пр}, ^\circ\text{C}$ від кількості тварин $N_{тв}, \text{гол}$ за відповідних фонових температур повітря $t_b, ^\circ\text{C}$: 1 - $t_b = 18^\circ\text{C}$; 2 - $t_b = 16^\circ\text{C}$; 3 - $t_b = 14^\circ\text{C}$; 4 - $t_b = 12^\circ\text{C}$; 5 - $t_b = 10^\circ\text{C}$

Ці дані свідчать, що за постійної фонові температури повітря із зменшенням кількості тварин у свинарнику температуру припливного повітря необхідно збільшити.

5. Обговорення результатів досліджень температурного режиму цеху поросят і свиноматки

На основі результатів, отриманих під час аналітичних та експериментальних досліджень температурного режиму у приміщеннях для утримання поросят і свиноматки, а також даних щодо фізіологічних потреб цих тварин, було запропоновано енергоефективну систему опалення. Дана система складається з інфрачервоного нагрівача, розміщеного над годівницею, нагрівального килимка, розташованого в зоні відпочинку поросят, а також стінової опалювальної панелі, розташованої в зоні перебування свиноматки. Однією з переваг запропонованої системи є можливість збільшити зону локального нагріву та забезпечити формування необхідного температурного режиму для різних категорій тварин. Це дає

можливість заощадити енергоресурси, які б затрачалися для обігріву цілого об'єму приміщення.

Також отримано залежності для визначення температури повітря у зоні перебування тварин, які можна використати під час проектування системи опалення у цеху поросят і свиноматки. Головними факторами, що впливають на тепловий стан у цеху являються температура поверхні та геометричні розміри опалювальних приладів, а також швидкість руху повітря.

У майбутньому планується проведення комплексу досліджень щодо забезпечення температурного режиму в приміщеннях утримання інших категорій свиней, оскільки розроблена система запроєктована для опалення саме цеху поросят і свиноматки.

6. Висновки

1. На основі фізичного моделювання була підтверджена доцільність застосування систем комбінованого опалення, що ґрунтуються на фоновому повітряному теплозабезпеченні свиногокмплексу та локальному нагріванні місць перебування тварин, а саме – опалювальної панелі для зони свиноматки, нагрівального килимка та інфрачервоного випромінювача для зони поросят.

2. Проведено комплекс досліджень, на основі яких визначено закономірності формування теплового стану цеху поросят і свиноматки локальними джерелами теплоти: опалювальною панеллю з температурою поверхні $60\text{...}72^\circ\text{C}$, нагрівальним килимком із ступенем нагрятості поверхні $30\text{...}22^\circ\text{C}$, інфрачервоним нагрівачем потужністю $500\text{--}1500$ Вт. Показано, що системи комбінованого опалення ефективно забезпечують нормативний температурний режим у цеху.

3. Розроблено та захищено патентом України [12] опалювальний пристрій для цеху поросят і свиноматки, який уможливив збільшити зону локального нагрівання місць перебування поросят та забезпечити перебіг процесу формування необхідного температурного режиму для різних категорій тварин. Даний пристрій містить інфрачервоний нагрівач і нагрівальний килимок, розташовані в зоні перебування поросят, який відрізняється тим, що інфрачервоний нагрівач виконаний у вигляді прямокутника, пристрій додатково оснащений принаймні однією стіновою опалювальною панеллю.

4. Запропоновано і впроваджено енергоефективну систему комбінованого опалення, яка ґрунтується на локальному нагріванні зон перебування тварин. Визначено закономірності впливу складових елементів системи комбінованого опалення на температуру повітря у зоні перебування тварин, встановлено, що:

– за збільшення температури опалювальної панелі на 1°C і зменшення швидкості руху повітря на $0,1$ м/с температура в зоні свиноматки зростає на 8 %;

– за збільшення температури нагрівального килимка на 1°C і зменшення швидкості руху повітря на $0,1$ м/с температура в зоні поросят зростає на 2 %;

– за зменшення потужності інфрачервоного нагрівача на 500 Вт і швидкості руху повітря на $0,1$ м/с температура зони опромінення зменшується на 3 %.

Література

1. Рибалко, В. П. Тенденції і напрями розвитку свинарства [Текст] / В. П. Рибалко // Ефективне тваринництво. – 2006. – № 7. – С. 7–11.
2. ВНТП-АПК-02.05. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми) [Текст]. – К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 98 с.
3. Царенко, О. М. Ресурсозберігаючі технології виробництва свинини [Текст] / О. М. Царенко, О. В. Крятов. – Суми: Університетська книга, 2004. – 268 с.
4. Pat. No. 2540832. Motion detector and piglet agitating blower for use in pig farrowing. A01k 1/02(2006.01), A01k 29/00(2006.01) [Text] / Lareau P. – No. CA2540832 A1; declared: 21.03.2006; published: 21.09.2007.
5. Gumen, O. Research of thermal processes in industrial premises with energy-saving technologies of heating [Text] / O. Gumen, N. Spodyniuk, M. Ulewicz, Y. Martyn // Diagnostyka. – 2017. – Vol. 18, Issue 2. – P. 43–49.
6. Larsen, M. L. V. Radiant heat increases piglets' use of the heated creep area on the critical days after birth [Text] / M. L. V. Larsen, K. Thodberg, L. J. Pedersen // Livestock Science. – 2017. – Vol. 201. – P. 74–77.
7. Caldara F. Piglets' Surface Temperature Change at Different Weights at Birth [Text] / F. Caldara, L. Santos, S. Machado, M. Moi, I. Alencar, L. Foppa, R. Garcia, R. Santos // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS). 27(3) – 2014. P. 431–438. doi: 10.1016/j.livsci.2017.05.008
8. Kergourlay, F. Reduction of heat consumption in weaner and farrowing rooms: Evaluation of «Intelligent heat lamp» [Text] / F. Kergourlay, M. Marcon // Journées Recherche Porcine, annual conference on pigs in France. – 2013. – P. 85–86.
9. Wheeler, E. F. Static Space Requirements for Piglet Creep Area as Influenced by Radiant Temperature [Text] / E. F. Wheeler, G. Vasdal, A. Flø, K. E. Bøe // Transactions of the ASABE. – 2008. – Vol. 51, Issue 1. – P. 271–278. doi: 10.13031/2013.24220
10. Tamvakidis, S. Performance evaluation of a hybrid solar heating system for farrowing houses [Text] / S. Tamvakidis, V. K. Firfiris, A. Martzopoulou, V. P. Fragos, T. A. Kotsopoulos // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 97. – P. 162–174. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.002
11. Mun, H.-S. Retrofitting of a pig nursery with solar heating system to evaluate its ability to save energy and reduce environmental pollution [Text] / H.-S. Mun, S. T. Ahmed, M. M. Islam, K.-J. Park, C.-J. Yang // Engineering in Agriculture, Environment and Food. – 2015. – Vol. 8, Issue 4. – P. 235–240. doi: 10.1016/j.eaef.2015.02.001
12. Пат. № 39425 UA. Опалювальний пристрій для цеху поросят і свиноматки. МПК (2009) F24D 10/00 [Текст] / Желих В. М., Макаруха О. І.; власник Нац. ун-т «Львів. політехніка». – № 200811717; заявл. 01.10.2008; опубл. 25.02.2009, Бюл. № 4. – 4 с.
13. Fialko, N. Modeling of thermal regime of manufacturing premises using graph theory [Text] / V. Zhelykh, O. Dzeryn // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2013. – № 756. – С. 47–50.
14. Желих, В. М. Енергоефективні системи теплозабезпечення виробничих приміщень [Текст] / В. М. Желих, О. І. Дзерин, Н. А. Сподинок // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 2 (13). – С. 152–156.