

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ІВАНЧЕНКО МИХАЙЛО ДМИТРОВИЧ

УДК 631.171

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення ефективності системи природної вентиляції в
тваринницькому приміщенні**

(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

К.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Іванченко М.Д. Підвищення ефективності системи природної вентиляції в тваринницькому приміщенні. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Робота присвячена обґрунтуванню технічних засобів і режимів роботи систем забезпечення мікроклімату. Розроблена наближена математична модель процесів теплообміну приточного пристрою, що дозволяє визначити ступінь нагрівання зовнішнього повітря, кількість конденсату, що виділився, і ступінь підсушування внутрішнього повітря. Удосконалено методику розрахунку режимів роботи системи забезпечення мікроклімату приміщень для утримання ВРХ із урахуванням особливостей системи природної вентиляції, що дозволяє визначати вимоги до площі приточних і витяжних пристроїв при зміні кліматичних параметрів внутрішнього й зовнішнього повітря.

Ключові слова: природня вентиляція, системи, приміщення, ефективність.

ABSTRACT

Ivanchenko M. D. Improving the Natural Ventilation System Efficiency in the Livestock Room. Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agroengineering. - Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

The work is devoted to the substantiation of the technical means and operating modes of the microclimate maintenance systems. The approximate mathematical model of the processes of the heat exchange of the inflow device, which permits to determine the degree of heating of external air, the amount of condensate that is isolated, and the degree of drying of the internal air, is developed. The methodology for calculating the operating modes of the system is improved, providing the microclimate of the premises for the maintenance of the cattle, taking into account the features of the natural ventilation system, which permits the determination of requirements to the area of the supply and exhaust devices in the change of the climate parameters of the internal and external air.

Key words: natural ventilation, systems, premises, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ З РОЗРОБКИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ	6
1.1. Аналіз систем вентиляції тваринницьких приміщень	6
1.2. Стан питання з розробки систем природної вентиляції	10
Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ	15
2.1. Процеси формування повітряного середовища в приміщеннях із природною вентиляцією для утримання ВРХ	15
2.2. Аналіз режимів роботи СЗМ у приміщенні для утримання ВРХ	21
2.3. Вплив режимів роботи СЗМ на об'єм шкідливих викидів в атмосферу вентиляційними системами тваринницьких приміщень	25
2.4. Розробка наближеної математичної моделі теплообміну приточного пристрою	27
2.4.1 Принципи побудови наближеної математичної моделі теплообміну приточного пристрою	27
2.4.2. Конвективний теплообмін у приточному пристрої	28
2.4.3. Променевий теплообмін	32
2.4.4. Визначення схованої теплоти конденсатоутворення	32
Висновки по розділу 2	33
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ	34
3.1 Конструкція й принцип роботи приточного пристрою системи природної вентиляції	34
3.2. Аналіз роботи приточного пристрою	36
3.3. Результати дослідження приточного пристрою системи природної вентиляції	40
Висновки по розділу 3	43
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

ВСТУП

У сучасних приміщеннях для утримання ВРХ в основному застосовуються системи природної вентиляції, основна перевага яких у порівнянні з механічними – відсутність енерговитрат на використання вентиляторів. Разом з тим, проведені дослідження показують, що стан середовища перебування тварин у більшості тваринницьких приміщень незадовільний. Однієї із причин низької ефективності багатьох рішень по системах забезпечення мікроклімату є необґрунтованість вихідних даних за умовами застосування всіх елементів і режимам їхньої роботи; приміщення із природною вентиляцією характеризуються завищеним повітрообміном, відсутністю регулювання площі перетину приточних і витяжних пристроїв при зміні зовнішніх кліматичних умов.

Однієї із проблем холодного періоду в приміщеннях із природною вентиляцією є надходження свіжого повітря. Відомі рішення, спрямовані на збільшення температури приточного повітря без застосування зовнішніх джерел тепла. Одним з перспективних способів є застосування приточних пристроїв, що забезпечують часткове видалення й підсушування внутрішнього повітря й дозволяє у такий спосіб розширити температурні межі ефективної роботи систем природної вентиляції в приміщеннях для утримання ВРХ.

Разом з тим, у даний час немає теоретичного й практичного обґрунтування таких рішень при зміні зовнішніх і внутрішніх кліматичних умов у різних приміщеннях для утримання ВРХ, відсутні методи розрахунку й не визначена зона їхньої ефективності.

Метою роботи є обґрунтування режимів роботи й умов застосування елементів систем природної вентиляції в приміщеннях для утримання ВРХ.

У результаті досліджень розроблена наближена математична модель процесів тепломасообміну приточного пристрою, що дозволяє визначити ступінь нагрівання зовнішнього повітря, кількість конденсату, що виділився, і ступінь підсушування внутрішнього повітря. Удосконалено методику розрахунку режимів роботи системи забезпечення мікроклімату приміщень

для утримання ВРХ із урахуванням особливостей системи природної вентиляції, що дозволяє визначати вимоги до площі приточних і витяжних пристроїв при зміні кліматичних параметрів внутрішнього й зовнішнього повітря.

Об'єкт дослідження. Системи забезпечення мікроклімату із природною вентиляцією приміщень для утримання ВРХ.

Предмет дослідження: закономірності забезпечення мікрокліматом із природною вентиляцією приміщень для утримання великої рогатої худоби.

Методи дослідження. Дослідження проводили із застосуванням загальновідомих методик; графо-аналітичного аналізу процесів обробки повітря на і-d діаграмі з використанням методу оптимальних режимів; методики побудови наближених математичних моделей теплоповітряних процесів; методів математичної статистики.

Завдання дослідження:

1. Провести теоретичне дослідження процесів формування повітряного середовища в приміщеннях для утримання ВРХ із природною вентиляцією з метою вдосконалення режимів роботи системи забезпечення мікроклімату.

2. Розробити наближену математичну модель процесів тепломасообміну в приточному пристрої й провести дослідження режимів його роботи при зміні параметрів зовнішнього й внутрішнього повітря.

3. Провести дослідження приточного надходження повітря в лабораторних умовах.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021» та збірнику матеріалів V міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи».

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 46 сторінках машинописного тексту, містить 29 рисунків, списку використаних джерел з 16 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ З РОЗРОБКИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

1.1. Аналіз систем вентиляції тваринницьких приміщень

В умовах інтенсивного розвитку сучасного тваринництва на промисловій основі значну роль у створенні зони максимальної продуктивності тваринницьких приміщень грають технічні засоби забезпечення мікроклімату [1, 2]. Основним призначенням останніх є підтримка в приміщеннях певних зоотехнічних і санітарно-ветеринарних умов утримання поголів'я шляхом асиміляції надлишків тепла й вологи, видалення шкідливих газів і пилу, нагрівання або охолодження приточного повітря. Створення нормативного мікроклімату у тваринницьких приміщеннях здійснюється, насамперед, за рахунок вентиляції [3]. При всьому різноманітті систем вентиляції, обумовленому призначенням приміщень, характером технологічних процесів і т.п., їх можна класифікувати за наступними характерними ознаками [4, 5]:

1. За способом створення тиску для переміщення повітря: із природним і механічним поєднанням.
2. За призначенням: проточні й витяжні.
3. По зоні обслуговування: місцеві й загальнообмінні.
4. За конструктивним виконанням: каналні й безканалні.

У більшості типових проектів корівників і телятників 80-90-х років, передбачалася механічна вентиляція з підігрівом приточного повітря в холодний час [6]. Для реалізації традиційної технологічної схеми механічної системи вентиляції необхідні наступні елементи: приточний агрегат, приточний вентилятор, витяжний вентилятор, теплообмінник, повітропроводи, електродвигуни, регулятори швидкості, теплоутилізатори, система керування, датчики, органи керування, виконавчі механізми.

У таких системах при необхідності повітря піддають різним видам обробки (очищенню, нагріванню, зволоженню тощо). Такі системи використовують близько 75% установлених енергетичних потужностей тваринницьких приміщень, крім цього недоліком механічної вентиляції є висока вартість устаткування, його монтажу й експлуатації [7]. Робота даного устаткування в хімічно несприятливому середовищі (підвищена вологість і загазованість) веде до швидкого виходу його з ладу.

На практиці в більшості "старих", вибудуваних за типовими проектами корівники, механічна вентиляція з багатьох причин не працює, і будівлі експлуатуються в режимі неорганізованої природної вентиляції. За можливості господарства проводять реконструкцію існуючих приміщень для утримання ВРХ. Практично всі вони мають природну систему вентиляції.

Механічна система вентиляції як, правило, передбачається тільки в доїльних залах, опалення застосовується тільки в приміщеннях для утримання молодняку ВРХ. Це обумовлюється різким подорожчанням енергоносіїв. Змінилися й самі будівлі для утримання ВРХ, збільшився загальний обсяг за рахунок збільшення висоти будинків, застосовуються нові будівельні матеріали. Змінилася технологія утримання тварин, широко застосовується безприв'язне утримання [8, 9].

Системи природної вентиляції прості й не вимагають складного дорогого устаткування й витрати електричної енергії. Крім цього дослідження в області природної вентиляції показали, що біологічна дія повітря обумовлена не тільки вмістимим у ньому киснем, але й аеросимулянтами – атмосферним озоном, легкими іонами й фітонцидами, тобто свіжістю повітря [10]. При природній вентиляції денатурації повітряного середовища не відбувається, на відміну від механічної, пов'язаної з використанням протяжних повітропроводів, металевих лопат і корпуса вентилятора, що викликає зниження свіжості повітря.

Існує досить велика кількість конструктивних рішень засобів подачі зовнішнього повітря в приміщення й видалення із приміщення забрудненого повітря [11, 12]. Використовуючи, ті або інші конструктивні рішення щодо способів подачі й видалення повітря реалізують наступні способи організації повітрообміну (рис. 1.1.).

Енергетичні ресурси тваринницького приміщення складаються з тепловиділень тварин, що складають основну масу вторинного тепла тваринницького приміщення, і тепловиділень технологічного устаткування. Залежно від виду тварин, зовнішніх метеорологічних факторів, маси тварини, його фізичного стану, продуктивності, якості й кількості з'їденого корму в організмі тварини утвориться різна кількість тепла. Крім тепла виділеного тваринами, у тваринницькому приміщенні має місце виділення тепла гноєм і підстилкою в результаті біохімічних процесів, що відбуваються в них, [13]. Виходячи із цього, при розробці природної вентиляції велика увага приділяється рішенню проблеми раціонального використання тепла, виділюваного у тваринницькому приміщенні. Відомо кілька шляхів, спрямованих на енергозбереження й відповідно на нагрівання приточного повітря (рис. 1.2.) [9].

Нині розроблена досить велика кількість теплоутилізаторів для тваринницьких приміщень. Однак, технічно утилізація теплоти внутрішнього повітря тваринницьких приміщень є досить складною проблемою: температурний потенціал внутрішнього повітря низький (10 - 20°C), більші



Рис. 1.1 Організація повітрообміну при природній вентиляції

обсяги подачі повітря; висока вологість і наявність у ньому газів, що викликають утворення агресивних стосовно металу речовин. Відомі також системи енергозберігаючої вентиляції, що забезпечують осушування й очищення внутрішнього повітря з одночасною утилізацією схованої теплоти паротворення конденсату, що утворився, у кількості 2500 кДж/кг. Зокрема теплообмінна вентиляція Турушева В.А. [14], забезпечуючи підігрів приточного повітря за рахунок утилізованої теплоти внутрішнього повітря й часткове підсушування внутрішнього повітря в об'ємі конденсату, що виділився.



Рис. 1.2. Шляхи енергозбереження в системах із природною вентиляцією

Переваги таких систем в тому, що вони дозволяють: обходитися тільки приточними системами, знижувати обсяги подачі приточного повітря пропорційно кількості вологи, що сконденсувалася, утилізувати частину теплоти внутрішнього повітря. Такий принцип створення енергозберігаючих систем вентиляції може бути забезпечений шляхом застосування теплових насосів або шляхом використання розподілених теплообмінників, сполучених із приточними повітропроводами. Останній принцип досить простий конструктивно й має досить високі експлуатаційні показники. Однак, у більшості цих розробок як побудник руху повітря використовуються вентилятори.

Один з недоліків систем природної вентиляції складність регулювання повітрообміну, що залежить від перепаду внутрішньої й зовнішньої температури, швидкості й напрямки вітру, площі відкриття приточних і витяжних систем. Відомо, що для підтримки в корівнику параметрів мікроклімату в прийнятних межах кількість подаваного в приміщення повітря повинне змінюватися протягом року (для кліматичних умов Житомирської

області в 6 разів). Як правило, у реконструємих корівниках не передбачаються засоби регулювання площі перетину вентиляційних отворів при зміні температури зовнішнього повітря. У результаті в холодний період року повітрообміни найчастіше завищені, через що відбувається переохолодження приміщень.

«ННЦ ІМЕСГ» проведена оцінка системи забезпечення мікроклімату корівників [15] і телятника для телят віком від 10 днів до 4 місяців у холодний і перехідний роки, планування, технологія утримання тварин і система забезпечення мікроклімату цих об'єктів типова для реконструємих приміщень для утримання ВРХ. Так, при температурі зовнішнього повітря від -2, -6 й -16 °С, температура повітря в зоні знаходження тваринних корівників перебувала в межах від 5 до -7°С, відносна вологість досягала 100%, вміст вуглекислого газу 0,04-0,1%, аміаку 6-7мг/мг³. У телятнику при температурі зовнішнього повітря від -19,2 °С до + 3,5 °С температура повітря в зоні знаходження тварин до 2х місяців змінювалася в межах від 0,8 °С до 12°С, відносна вологість повітря від 60% до 94%, а в секції для телят старшого віку температура повітря перебувала в межах від 6 °С до 13 °С, відносна вологість повітря від 70% до 88%). Вміст шкідливих газів під час вимірів перебували в межах допустимих вимог; вміст вуглекислого газу становило 0,04-0,05%, аміаку 6, 7мг/мг³, вміст сірководню - сліди. Проведені виміри параметрів мікроклімату в холодний і перехідний періоди року в приміщеннях для утримання ВРХ показали, що значення температури й відносної вологості в них не відповідають діючим Нормам технологічного проектування. Основна причина - завищений повітрообмін, погрішності в конструкції, відсутність регулювання площі перетину приточних і витяжних пристроїв систем природної вентиляції при зміні зовнішніх кліматичних умов.

1.2. Стан питання з розробки систем природної вентиляції

Загальна спрямованість всіх розробок щодо вдосконалення природної вентиляції для тваринницьких приміщень полягає у вирішенні наступних завдань:

- підтримка температури й відносної вологості повітря всередині приміщень у межах зоогігієнічних вимог;
- виключення зон переохолодження тварин потоками холодного приточного повітря;
- забезпечення стабільності функціонування систем природної вентиляції у всьому діапазоні зовнішніх метеорологічних умов.

Однієї із проблем холодного періоду в приміщеннях із СПВ є подача холодного свіжого повітря. В даний час широке поширення одержав спосіб

вентиляції приміщень за допомогою штор (рис. 1.3.). У цьому випадку передбачаються прорізи в стінах, довжина яких практично дорівнює довжині приміщення. Ці прорізи закриті завісою із щільного матеріалу. Передбачається система відкриття прорізів шляхом намотування або змотування штор на вал з механічним автоматизованим приводом. Така система характерна для холодного утримання тварин.

Останнім часом широкого застосування одержали проекти з подачею повітря через вікна або над віконні щілини. На рис. 1.4. показана система природної вентиляції подачею повітря через щілини розташовані у верхній частині поздовжніх стін. Витяжка здійснюється через шахту або світлоаераційний ліхтар.

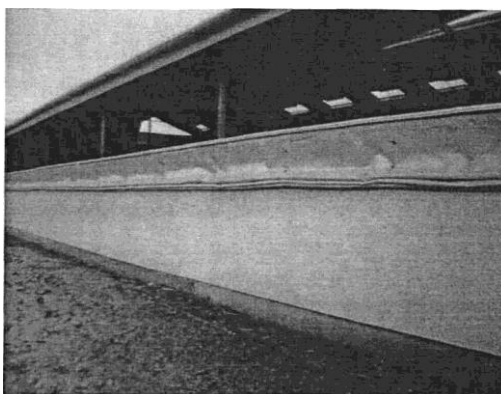


Рис. 1.3. Спосіб вентиляції за допомогою штор



Рис. 1.4. Система природньої вентиляції з притоком повітря через щілини

Конструктивно отвори можуть бути виконані круглими, прямокутними або у вигляді вузьких щілин над вікнами. При негативних температур-зовнішнього повітря має місце значний перепад температури по висоті приміщення. Особливо сильне переохолодження нижньої зони відбувається у вітряну погоду, коли з навітряної сторони відбувається наддування повітря всередину приміщення через приточні отвори [16].

На рис. 1.5, 1.6 показаний спосіб роздачі приточного повітря [17] за допомогою приточного каналу 4, утвореного безпосередньо стелею 3 і напрямним щитком 5, забір зовнішнього повітря передбачений через стіну 1. З метою зменшення впливу вітру передбачений захисний щиток 2.

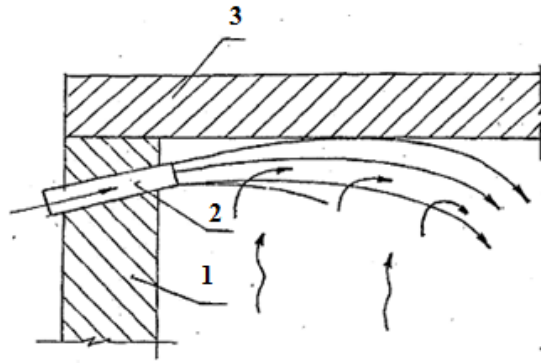


Рис. 1.5. Подача приточного повітря похилим патрубком [13] 1 - стіна, 2 - приточна труба, 3 - потік.

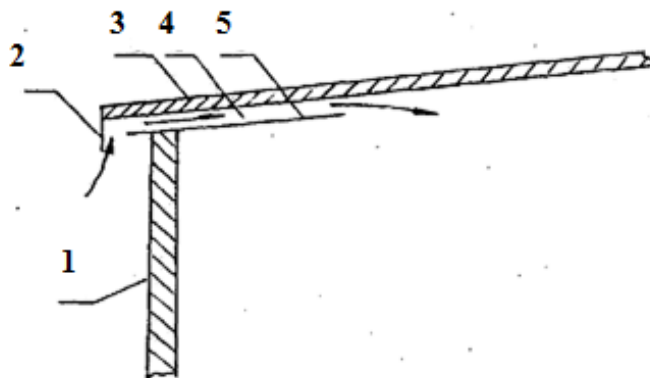


Рис. 1.6. Подача приточного повітря напрямним щитком 1 - стіна, 2 - захисний щиток, 3 - дах, 4 - приточний канал, 5 - напрямний щиток.

При винайденні раціонального способу роздачі приточного повітря пішли розроблювачі системи вентиляції "по - голландські" [18]. Ця система, рис. 1.7., передбачає витяжну шахту 6 із забором внутрішнього повітря 9 з нижньої зони приміщення. Приплив відбувається із зони конька даху за допомогою повітрозаборної щілини 4, приточної тумби 5, що з'єднується із приточною щілиною 7, утвореною дахом 2 і напрямної 8. Такий пристрій зменшує вплив вітру на приплив і забезпечує раціональний рух приточного повітря. Потік приточного повітря, що надходить із щілини 7, налипає на стелю й опускається по ньому похило вниз, збільшуючи свою масу й підвищуючи температуру за рахунок ежекції внутрішнього повітря. Відриваючись від стелі, приточне повітря швидко асимілюється із внутрішнім повітрям і надходить у нижню зону приміщення досить нагрітим. Такий розподіл приточного повітря спричиняє інтенсивну конвекцію внутрішнього повітря, що забезпечує вирівнювання температури повітря по висоті.

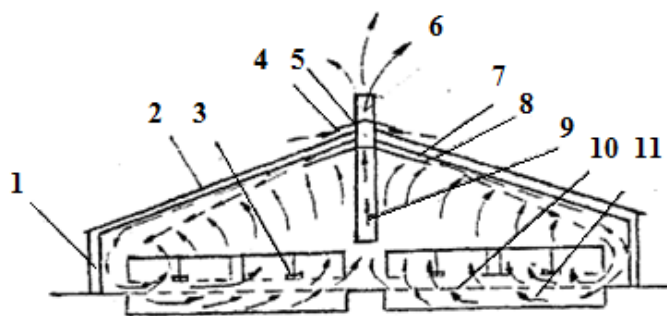


Рис. 1.7. Вентиляція "по-голландськи" 1 - стіна, 2 - дах, 3 - верстат, 4 - повітряна щілина, 5 - приточна тумба, 6 - зовнішня частина витяжної шахти, 7 - приточна щілина, 8 - напрямна, 9 - повітрозабірна частина витяжної шахти, 10 - повітряний простір під верстатами, 11 - гноезбірні канали.

Недоліком даної системи є складність конструкції, повітрозабірна частина витяжної шахти 9 заважає переміщенню кормороздавального агрегату.

Біля стіни 1 аміак, що піднімається приточним повітрям із гнойового каналу не віддаляється із приміщення, а знову попадає в струмінь приточного повітря.

На рис 1.8. показаний спосіб вентиляції тваринницького приміщення [19].

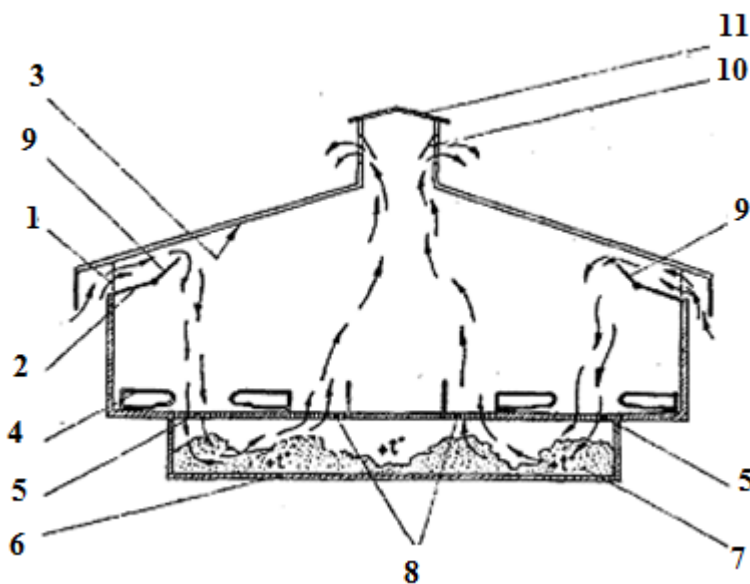


Рис. 1.8. Спосіб вентиляції тваринницького приміщення

Свіже повітря через вікно надходить по повітряному каналі паралельно стелі за зону розміщення в стійло корови. Свіже холодне повітря, що вийшло в приміщення, направляється вертикально вниз у бічний канал гноєсховища і ним витісняються шкідливі з'єднання, після чого суміш повітря зі шкідливими з'єднаннями направляються вертикально нагору й видаляють із приміщення. З погляду аеродинаміки повітря не буде переміщатися за схемою показаною на рис. 1.8., нагрів повітря буде відбуватися до опускання його в канал, що

відповідно приведе до того, що частина повітря буде віддалятися, не доходячи до каналу.

Висновки по розділу 1

Аналіз способів і засобів подачі повітря показують, що найбільш перспективним є застосування приточних пристроїв, що забезпечують підігрів приточного повітря й підсушування внутрішнього повітря за рахунок часткової утилізації біологічного тепла тварин.

Однак, теоретичних досліджень таких пристроїв практично відсутні, методи розрахунку й не визначена зона застосування. Виникає необхідність створення методу розрахунку приточних пристроїв із частковою утилізацією теплоти внутрішнього повітря.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

2.1. Процеси формування повітряного середовища в приміщеннях із природною вентиляцією для утримання ВРХ

Процес формування повітряного середовища у тваринницьких приміщеннях відбувається більшою мірою за рахунок систем забезпечення мікрокліматом (СЗМ), основним призначенням, який є підтримка заданих параметрів внутрішнього повітря.

На рис. 2.1. представлена структура системи забезпечення мікрокліматом із природною вентиляцією.

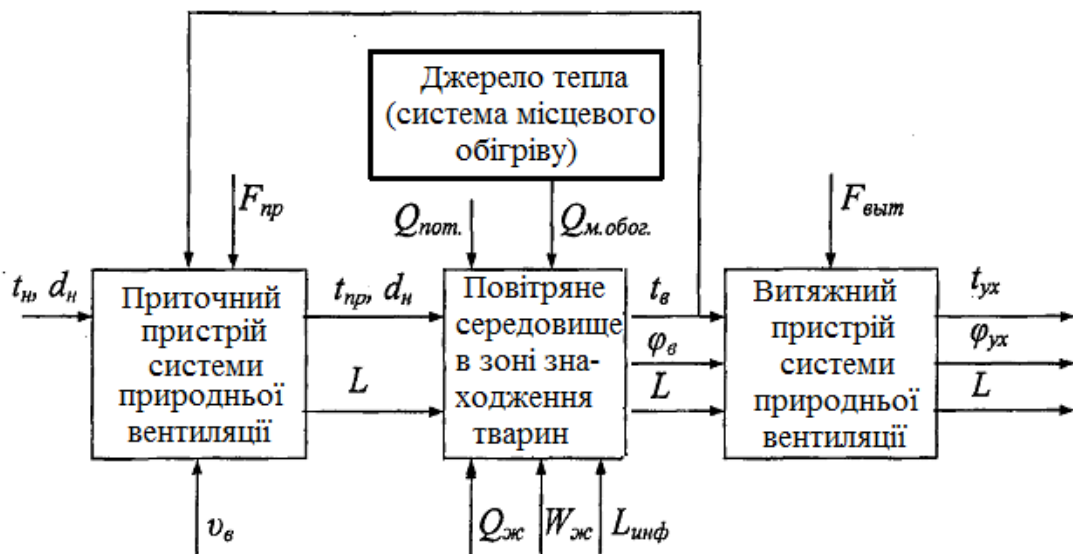


Рис. 2.1. Структурна схема системи забезпечення мікрокліматом із природною вентиляцією

Використовувані в розрахунках і показані на рис. 2.1., у якості вхідних, параметри можна розділити на дві групи: параметри, які змінюються поза залежністю від бажання людини, немає реальних можливостей для їхньої корекції й параметри, які можна змінити в інтересах більш економічного використання енергії.

На схемі зазначені наступні параметри:

v_e – швидкість вітру, м/с;

t_n і d_n – відповідно, температура, і абсолютна вологість зовнішнього повітря;

$t_{пр}$ – температура приточного повітря;

t_v і ϕ_v – температура, і відносна вологість внутрішнього повітря;

$t_{вп}$ й $\phi_{вп}$ – температура, і відносна вологість повітря, що видаляється;

$F_{пр}$ і $F_{вит}$ – площа приточних і витяжних отворів;

L і $L_{иф}$ – об'єм повітря, що надходить через приточні пристрої і шляхом інфільтрації;

W_T – вологовиділення тварин;

Q_m – теплонадходження від тварин;

$Q_{ог}$ – тепловтрати через огороження;

$Q_{обіг}$ – кількість тепла, що надходить в приміщення від опалення.

Ефективність природної вентиляції визначається в основному різницею розташування приточних і витяжних отворів h , і різницею температур внутрішнього й зовнішнього повітря [20, 21]. Приплив у приміщення свіжого й видалення з нього повітря здійснюються наступним способом, у приміщенні встановлюється нейтральна зона тисків $h_{н.з.}$, тиск у цій площині дорівнює нулю (рис. 2.2.). Вище площини нейтральних тисків існує надлишковий тиск, що викликає витяжку повітря. Рівень розташування даної площини визначається площею приточних і витяжних отворів. Умовою роботи системи природної вентиляції (рис.2.2.) за Егізаровим А.Г. [22] є:

$$H_e > (Rl + z)_{сист}, \quad (2.1)$$

або

$$gh(\rho_H - \rho_B) > z'_{np} + z_{вит} + Rl \quad (2.2)$$

де h – різниця оцінок приточних і витяжних отворів, м (повинна бути не менш 3 м) [22];

ρ_B, ρ_H – щільність приточного (зовнішнього) і видаляемого (внутрішнього) повітря, кг/м^3 ;

$z'_{np}, z_{вит}$ – втрати тиску на подолання опору при русі повітря через приточні й витяжні пристрої, Па;

R – втрати тиску на подолання опору тертя при русі повітря по каналах і шахтах, Па на 1 м довжини;

l – довжина каналів і шахт, м.

H_e – гравітаційний тиск, Па.

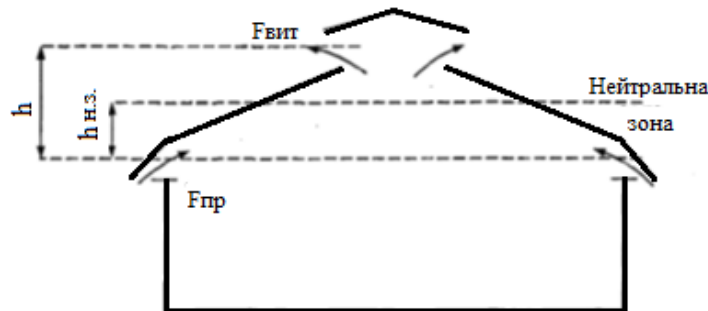


Рис. 2.2. Розрахункова схема природної вентиляції тваринницького приміщення

Різниця температур зовнішнього й внутрішнього повітря в сполученні з висотою напору визначають швидкість, з якої тепле повітря віддаляється із приміщення. Швидкість руху повітря знаходять за наступною формулою [23]:

$$v = 2.2 \sqrt{\frac{h(t_B - t_H)}{273}}, \quad (2.3)$$

Розміри площі поперечного перерізу витяжних пристроїв залежать від швидкості руху повітря. Чим вона більше, тим менше для певного об'єму повітря може бути площа витяжного пристрою:

$$F_{вит} = \frac{L}{3600v}, \quad (2.4)$$

де v – швидкість руху повітря, м/с.

Площа приточних отворів не повинна перевищувати 70% площі витяжних, оскільки огороджувальна оболонка, будинку не герметична.

Таким чином, при проектуванні системи забезпечення мікроклімату із природною вентиляцією визначається висота розміщення й різниця оцінок приточних і витяжних пристроїв, площа приточних і витяжних пристроїв і спосіб регулювання їхнього перетину; у системі з опаленням визначається також потужність нагрівання.

Всі параметри, що характеризують режими роботи СПВ, визначаються тепловологим навантаженням тваринницького приміщення й сполученням значень поточних параметрів внутрішнього й зовнішнього повітря.

При обґрунтуванні технічних характеристик елементів СПВ вирішуються два завдання:

- на підставі вихідних даних для конкретного тваринницького приміщення визначення площі приточних і витяжних пристроїв, потужність нагрівання;

- на підставі конструктивних характеристик СПВ прогнозування внутрішніх кліматичних умов, параметрів мікроклімату в зоні знаходження тварин для конкретного тваринницького приміщення при зміні параметрів зовнішнього повітря.

Ці завдання вирішуються на підставі рівнянь, що визначають повітрообмін у СПВ, які описують характеристику повітряного середовища внутрішнього повітря й рівнянь тепловологого балансу тваринницького приміщення, що представлені нижче.

Повна характеристика повітряного середовища (її температура t , відносна вологість φ , ентальпія i і абсолютний вологовміст d) покладена в основу побудови i - d діаграма для заданого барометричного тиску [24].

Абсолютний вологовміст:

$$d = 622 \frac{P_n}{P_\sigma - P_n} = 622 \frac{\varphi_n P_{n.n.}}{P_\sigma - P_{n.n.}}, \quad (2.5)$$

де P_n – парціальний тиск, Па;

P_σ – барометричний тиск, Па;

$P_{n.n.}$ – парціальний тиск насиченої пари, Па. Парціальний тиск насиченої пари визначається по формулі:

$$\lg P_{n.n.} = \frac{(156 + 8.12t)}{236 + t}, \quad (2.6)$$

де t – температура насиченого повітря, °С.

Відносну вологість повітря можна виразити відношенням парціального тиску водяної пари:

$$\varphi = \frac{P_n}{P_{n.n.}}, \quad (2.7)$$

Парціальний тиск:

$$P_n = \frac{P_\sigma d}{622 + d}, \quad (2.8)$$

де d – вологовміст вологого повітря, г/кг сух.пов. Тепломісткість насиченої пари визначається вираженням:

$$i = 1.005t + (2500 + 1.8068t)d10^{-3}, \quad (2.9)$$

де i – тепловміст вологого повітря, кДж/кг сух. пов.

Знаючи два із чотирьох параметрів t , i , φ , d , за допомогою зазначених формул визначаються інші у всіх розрахункових точках технологічної схеми обробки повітря.

Тепловиділення тварин:

$$Q_{\text{над}} = Q_{\text{T}} N_{\text{T}} K_i - Q_{\text{теп}} (t_p - t_3) + Q_{\text{обіг}} \quad (2.10)$$

де N_{T} – кількість тварин;

K_i – коефіцієнт, що враховує залежність тепловиділень від температури внутрішнього повітря;

t_p – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С.

Тепловтрати $Q_{\text{теп}}$ враховують в розрахунках при $t_3 < +10^\circ\text{C}$.

Вологовиділення в приміщенні:

$$W_{\text{над}} = W_{\text{T}} N_{\text{T}} K_w (1 + K_{\text{вип}}) + W_{\text{пол}} - W_{\text{пд}}, \quad (2.11)$$

де K_w – коефіцієнт, що враховує залежність вологовиділень від температури внутрішнього повітря;

$K_{\text{вип}}$ – коефіцієнт випаровування вологи;

$W_{\text{пол}}$ – вологовиділення з підлоги;

$W_{\text{пд}}$ – кількість вологи, що видаляється засобами підсушування.

Збільшення тепломісткості визначається за формулою:

$$\Delta i = \frac{Q_{\text{над}}}{3.6L}, \quad (2.12)$$

а збільшення вологовмісту:

$$\Delta d = \frac{W_{\text{над}}}{L}, \quad (2.13)$$

На практиці вентиляції часто доводиться спостерігати перехід одного стану повітряної суміші в інший, наприклад, при нагріванні, охолодженні й т.п. Ці процеси зображуються на i - d діаграмі прямими лініями (променями), що проходять через точки, які відповідають початковому й кінцевому станам повітряної суміші. Якщо параметри початкового стану i_1 і d_1 , а кінцевого i_2 і d_2 , то відношення $\frac{i_2 - i_1}{d_1 - d_2} 1000 = \varepsilon$ представляє собою кутовий коефіцієнт лінії (променя), що характеризує дану зміну стану повітря у косокутній системі координат.

Для розглянутого випадку промінь-процес:

$$\varepsilon = 3600 \frac{Q_{\text{над}}}{W_{\text{над}}}, \quad (2.14)$$

Параметрами внутрішнього повітря визначаються наступним чином.

Тепломісткість:

$$i_{\text{в}} = i_{\text{пр}} + \Delta i, \quad (2.15)$$

Вологовміст:

$$d_{\text{в}} = d_{\text{пр}} + \Delta d, \quad (2.16)$$

Розглянемо процеси обробки повітря тваринницького приміщення із природною вентиляцією за допомогою i - d діаграми. У такій системі параметри приточного повітря дорівнюють параметрам зовнішнього повітря, $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}}$, $d_{\text{пр}} = d_{\text{н}}$. Зміна значень Δi , Δd і ε , а, отже, і параметрів внутрішнього повітря в даній системі, можливо за рахунок зміни повітрообміну, потужності нагрівання

системи опаленням, зміни тепловологості навантаження, тобто заповнювання приміщення тваринами, зміни тепловтрат через огорожені конструкції, при зміні температури зовнішнього повітря або зміни теплоізоляції будинку. На рис. 2.3. й 2.4. розглянуті основні способи зміни положення променя-процесу і його довжини на й-d діаграмі.

Параметри зовнішнього повітря відповідають точці Н (t_n, φ_n, d_n, i_n), крапка В відповідає параметрам внутрішнього повітря (t_b, φ_b, d_b, i_b). Лінія променя-процесу ϵ проходить через точку В, визначається характером тепловологості навантаження в приміщенні (співвідношення надлишкових тепловиділень до надлишкових вологовиділень), довжина відрізка НВ обернено пропорційна повітрообміну.

На рис. 2.3. а показана зміна температури й вологості внутрішнього повітря при зміні повітрообміну. При зниженні повітрообміну, напрямок променя-процесу залишається постійним, параметри внутрішнього повітря переміщуються в точку В', при цьому температура внутрішнього повітря підвищується, вологість зменшується. Максимально можливе збільшення температури визначається точкою В'', що визначається перетинанням промінь-процесу НВ із лінією $d = \text{const}$ з $d = d_n + \Delta d_{\text{min}}$. При цьому Δd_{min} відповідає мінімальному повітрообміну, розрахованому з умови видалення CO_2 . Таким чином, на і-d діаграмі лінія НВ'' обмежує праворуч область можливого зменшення повітрообміну L.

Як видно з рівнянь (2.10 - 2.14) при використанні додаткового нагрівання $Q_{\text{під}}$ досягнення необхідних значень температури внутрішнього повітря досягається за рахунок збільшення теплонадлишків у приміщенні, що приводить до зміни напрямку променя-процесу. Зміна параметрів внутрішнього повітря за рахунок зміни напрямку променя-процесу при зміні температури зовнішнього повітря й використанні додаткового обігріву показано на рис. 2.3. б і рис. 2.4. а. Завдання системи забезпечення

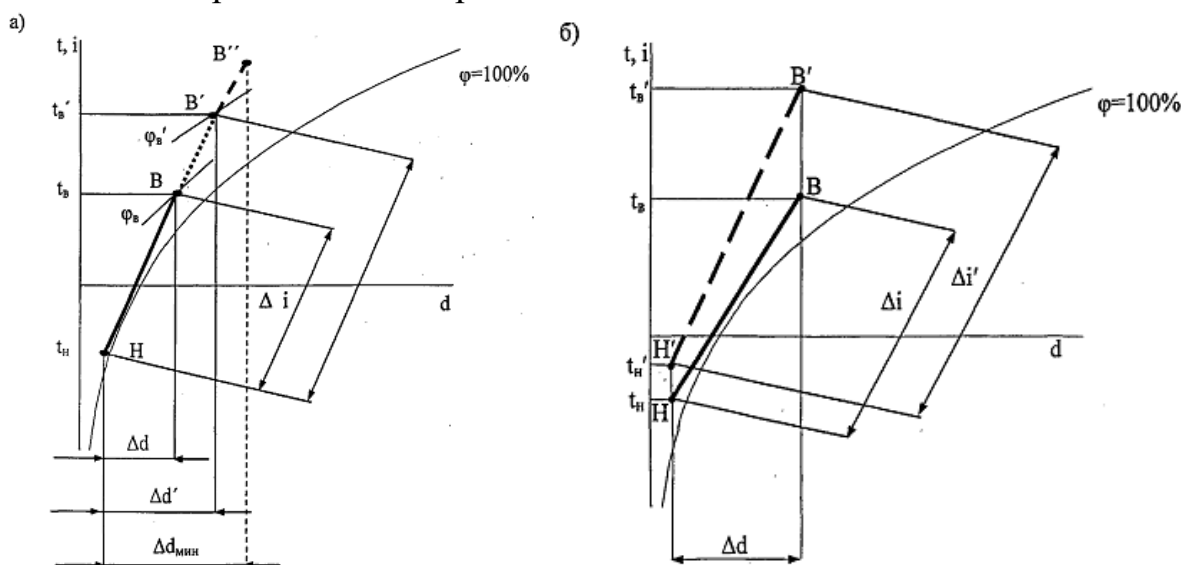


Рис. 2.3. Процеси зміни параметрів внутрішнього повітря в тваринницькому приміщенні із природною вентиляцією: а – зменшення повітрообміну; б – підвищення температури зовнішнього повітря

мікроклімату - досягти знаходження параметрів внутрішнього повітря в заданому діапазоні. На рис. 2.4. б ця область АСДЕ обмежена лініями, що відповідають температурі $t = t_{\max}$, $t = t_{\min}$, і вологості $\varphi = 40\%$ і $\varphi = 75\%$. Розглянемо принципову можливість вибору найменших витрат тепла й повітря для конкретного приміщення. Припустимо, що зовнішня температура, відповідає точці Н, Δd для мінімального повітрообміну рівняється відрізьку $\Delta d = \frac{W_{\text{над}}}{L_{\text{min}}}$, а лінія НВ₁ відповідають променю-процесу 8 для процесу без додаткового підігріву.

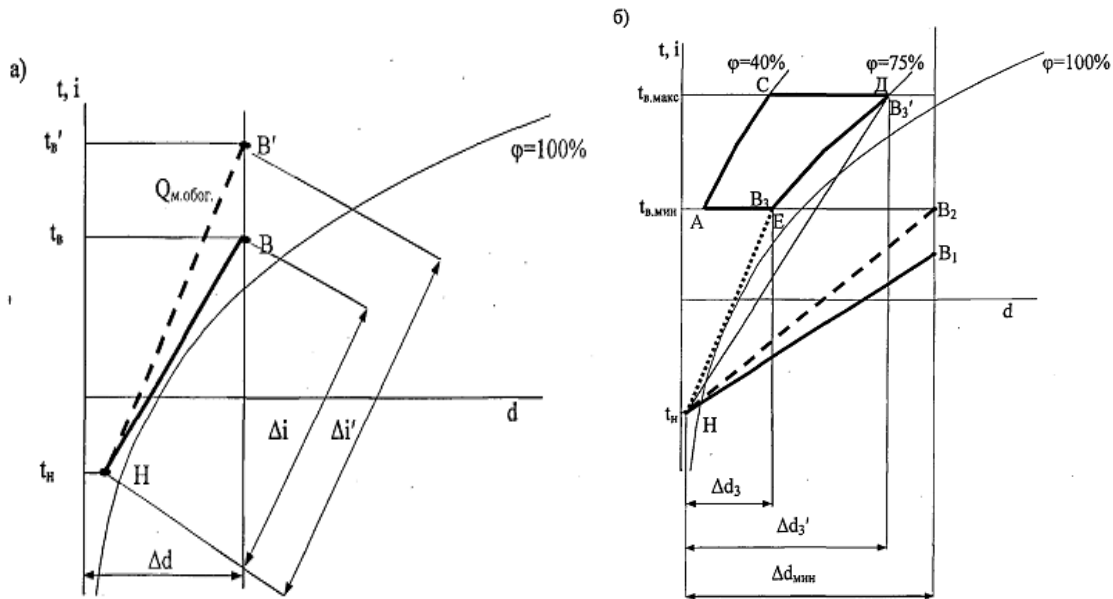


Рис. 2.4. Процеси зміни параметрів внутрішнього повітря у тваринницькому приміщенні із природною вентиляцією: а – збільшення потужності місцевого обігріву; б – збільшення потужності місцевого обігріву й зміна повітрообміну.

Для того, щоб потрапити в область АВДЕ, необхідно або, догріти приміщення зі збільшенням повітрообміну до B₃, Δd_3 або збільшити повітрообмін з одночасним нагріванням до точки, що відповідає точці B₃, Δd_3 .

Різниця в кількості тепла, необхідного для нагрівання до точки B₃ і до точки B₃' незначна, тому що в другому випадку збільшується об'єм повітря, яке необхідно нагріти. Без збільшення повітрообміну потрапити в задану область параметрів внутрішнього повітря неможливо. Так, точка B₂ на лінії $\Delta d_{\text{мин}} = \text{const}$, що відповідає процесу нагрівання при мінімальному повітрообміні по температурі відповідає вимогам, однак значення d_e й φ_v перебувають за межами заданої області. Розглянутий випадок характерний для холодного періоду й приміщень для утримання ВРХ. У цьому випадку без нагрівання неможливо знизити відносну вологість, зниження розрахункової температури не знижує витрата тепла тому, що одночасно необхідний додаткове нагрівання.

2.2. Аналіз режимів роботи СЗМ у приміщенні для утримання ВРХ

Таким чином, процеси зміни температури й вологості внутрішнього повітря у приміщенні із СПВ визначаються характером тепло- і вологовиділення, залежать від співвідношення Q_m , Q_o , $Q_{обіг}$, $W_{над}$ і різні для приміщень із надлишковими тепловиділеннями $Q_m > Q_o$, $Q_{обіг}=0$, і приміщеннями з не достатком теплоти $Q_m < Q_o$, $Q_{обіг} > 0$.

При зміні будь-якої складової тепловологового балансу, у різному ступені змінюється значення t_v і відповідно, всі інші параметри. Тому для обґрунтування вимог до елементів системи природної вентиляції, чисельні значення витрат тепла й повітря, і необхідні перетини приточних і витяжних пристроїв отримані за допомогою розрахунків режимів роботи по модифікованій програмі [17, 22] з розробленим блоком розрахунку природної вентиляції. Нижче, на рис. 2.5. представлений алгоритм розрахунку режимів роботи СЗМ із природною вентиляцією. Програма побудована на підставі залежностей (2.1 - 2.16).

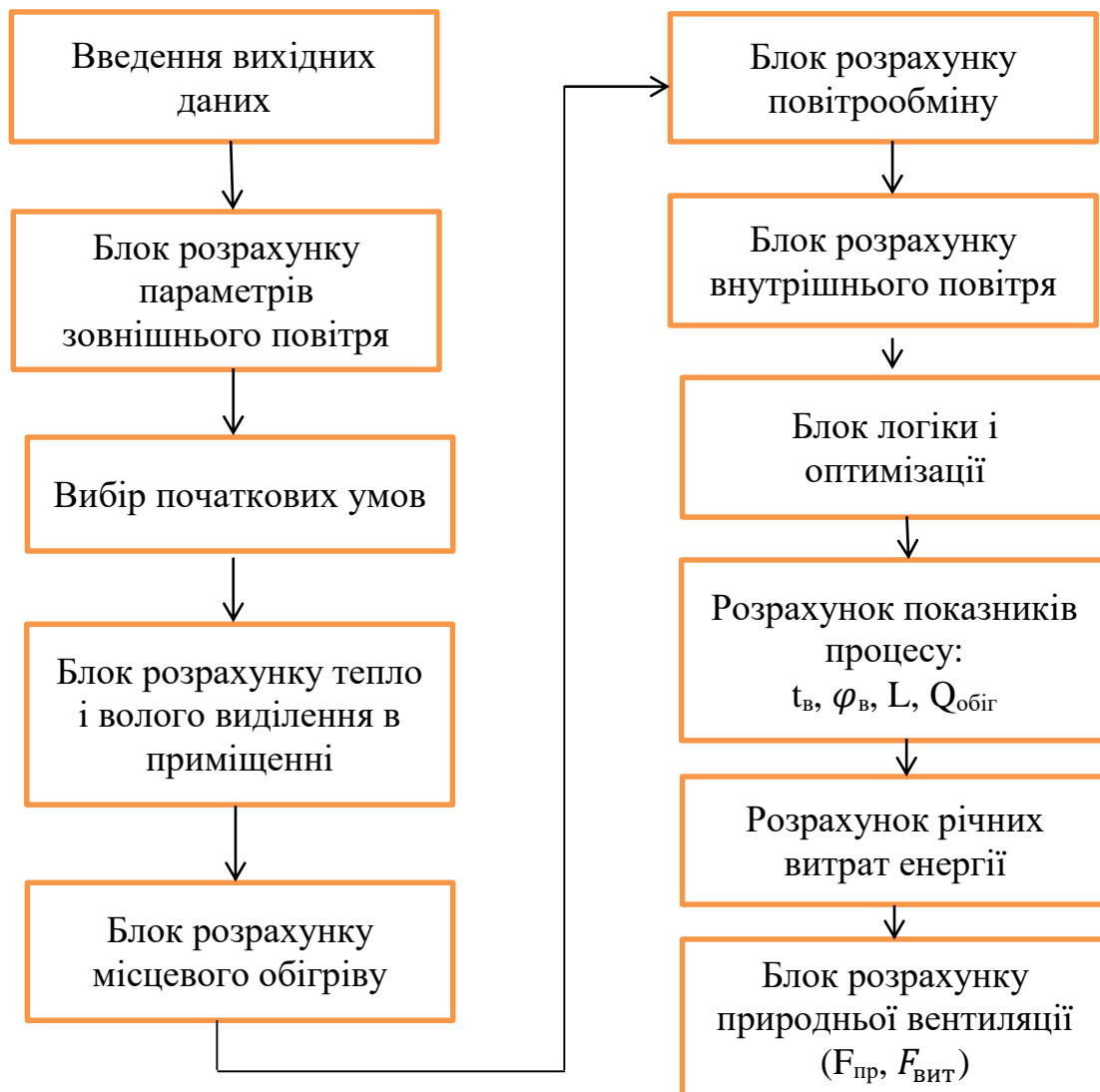


Рис. 2.5. Алгоритм розрахунку режимів роботи СЗМ із природною вентиляцією.

Вихідними даними при моделюванні режимів роботи СЗМ на розробленій цифровій моделі є: температура й відносна вологість внутрішнього повітря; параметри зовнішнього повітря у вигляді таблиці можливих сполучень температури й вологості; тепло й вологовиділення тварин; тепловтрати крізь огорожувальні конструкції.

Мета розрахунку – для кожного сполучення t_n і φ_n визначити мінімально необхідні потужності нагрівання й площі приточних і витяжних пристроїв системи природної вентиляції, що забезпечують задані параметри внутрішнього повітря при найменших енерговитратах.

Отримані якісні закономірності, засновані на використанні критеріїв, що характеризують тепло-, вологовиділення тварин, і співвідношення між цими величинами дозволяють прогнозувати параметри мікроклімату всередині тваринницьких будівель при зміні зовнішнього клімату. Вони дають можливість у процесі проектування й експлуатації давати техніко-економічну оцінку ефективності використання джерел енергії, різних технічних засобів систем природної вентиляції.

Приміщення з нестачею теплоти

На підставі розробленого алгоритму проведений аналіз режимів роботи системи забезпечення мікроклімату (СЗМ) із СПВ секції телятника для утримання 192 телят у віці від 20 днів до 2-х місяців. Утримання тварин безприв'язне, боксове. Розрахункова маса телят на початковому етапі – 40 кг, на заключному – 80 кг, плановий приріст ваги 20 кг/міс [14, 22, 23].

У таблиці 2.1. представлена частина результатів розрахунку режимів роботи СЗМ для вихідних даних, що відповідають розрахунковій тепловологості навантаженню телятника при зміні розрахункової температури внутрішнього повітря. Розглянуто два варіанти; 1) при заданій температурі $t_b=15^\circ\text{C}$ і відносній вологості внутрішнього повітря $\varphi_b=75\%$; і 2) при заданій температурі $t_b=7^\circ\text{C}$, і вологості $\varphi_b=75\%$.

Аналіз літературних джерел (розділ 1.) і наведені в табл. 2.1. результати розрахунків подають вихідну інформацію для прийняття рішень при виборі розрахункових параметрів внутрішнього повітря.

У табл. 2.1. і 2.2. представлені результати розрахунків при використанні місцевого обігріву, тобто основним завданням розрахунку було визначення мінімальної кількості тепла й повітря для підтримки заданих параметрів внутрішнього повітря, у нашому випадку при заданій температурі $t_b=15^\circ\text{C}$, $t_b=7^\circ\text{C}$, і вологості $\varphi_b=75\%$, і визначення характеристик СПВ при різних поєднаннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря.

Таблиця 2.1.

Розрахункові мінімально-необхідні витрати тепла і повітря в телятнику на
192 місця (розрахункова маса = 60 кг)

Зовнішнє повітря		Внутрішнє повітря		Мінімально необхідні витрати	
Температура, °С	Тривалість перебування протягом року, год	Температура, °С	Відносна вологість, %	Повітря тис, кг/год	Теплоти, кВт
-28.	27,7	14,5 / 6,6	73/73	1,6/1,6	54/37
-23.	84,17	14,6 / 6,7	72/74	1,8/1,7	49/30
-18.	217,9	14,8/6,5	71/74	1,9/1,8	41/20
-13.	434,1	15,3/6,6	73/72	2,0/2,2	34/14
-8.	813,3	14,9/7,1	70/75	2,2/2,5	23/6
-3.	1379,4	15,5/7,3	72/75	2,6/4	18/2
3.	1655,3	15,4/8,6	71/73	3,2/7	10/0
8.	1156	15,2/13,3	74/74	5,2/7	3/0
13	1312,9	17,7/17,7	78/78	7/7	0/0
18	1148,5	21,1/21,1	87/79	7/7	0/0
23	435,4	25,1/25,1	82/82	7/7	0/0
28	93,3	30,7/30,7	67/67	7/7	0/0
Річні витрати енергії на обігрів 89240 /19460 кВт.год*					

Примітка * - у чисельнику - значення для розрахункової $t_b=15^{\circ}\text{C}$, а в знаменнику – значення для розрахункової $t_b=7^{\circ}\text{C}$.

З табл. 2.1. видно, що при розрахунковій температурі 15°C максимальна потужність нагрівача становить 54 кВт, сумарна витрата енергії на нагрівання становить 89240 кВт-год, а при розрахунковій температурі 7°C потужність - 37 кВт, сумарна витрата енергії - 19460 кВт-год. Для підтримки заданих параметрів кількість повітря, що подається в приміщення, повинне змінюватися від 1600кг/год до 7000кг/год.

На основі отриманих при розрахунку даних (табл. 2.1.) визначаються сумарні площі поперечного перерізу приточних і витяжних пристроїв, табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Характеристика природної вентиляції телятника

Зовнішнє повітря		Внутрішнє повітря		Площа перетину, м ²	
Температура, °С	Тривалість в році, год	Температура °С	Відносна вологість, %	Витяжні пристрої	Протиточні пристрої
-28.	27,7	14,5/6,6	73/73	0,3/0,33	0,21/0,23
-23.	84,17	14,6/6,7	72/74	0,35/0,38	0,25 / 0,26
-18.	217,9	14,8/6,5	71/74	0,4/0,44	0,28/0,31
-13.	434,1	15,3/6,6	73/72	0,45/0,60	0,32/0,42
-8.	813,3	14,9/7,1	70/75	0,55/0,77	0,39/0,54
-3.	1379,4	15,5/7,3	72/75	0,73/1,5	0,51 /1,05

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6
3.	1655,3	15,4 / 8,6	71/73	1,09/3,56	0,77/2,49
8.	1156	15,2/13,3	74/74	2,33/3,66	1,63/2,56
13	1312,9	17,7 /17,7	78/78	3,89	2,72
18	1148,5	21,1/21,1	87/79	4,79	3,35
23	435,4	25,1/25,1	82/82	5,82	4,07
28	93,3	30,7/30,7	67/67	5,13	3,59

З табл. 2.2 видно, що підтримка в приміщенні більше низької температури приводить до збільшення сумарної площі перетину як приточних, так і витяжних пристроїв, що у свою чергу приводить до збільшення кількості приточних і витяжних пристроїв. Так, наприклад, при зовнішній температурі -13°C і внутрішньої -15,3°C сумарна площа перетину приточних пристроїв становить 0,45 м², а при внутрішній температурі 6,6°C - 0,60м², що майже в 1,5 рази більше. У теплий період року сумарна площа перетину приточних пристроїв природної вентиляції майже в 20 разів перевищує площа пристроїв холодного періоду, що викликає необхідність поділу системи на зимову й літню, а також необхідність регулювання протягом всього року.

Приміщення з надлишком тепловиділення

У сучасних корівниках, як правило, не застосовуються засоби обігріву. Для оцінки параметрів середовища таких приміщень проведений аналіз режимів роботи СЗМ утепленого корівника без обігріву. У результаті розрахунків для даного об'єкта отриманий діапазон температур і вологості внутрішнього повітря при зміні температур зовнішнього повітря, і характеристики СПВ (табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

Розрахунок режимів роботи й характеристик природної системи вентиляції неопалюваного корівника на 150 корів

Зовнішнє повітря			Внутрішнє повітря		Витрати повітря,	Площа приточних	Площа витяжних
Температура, °C	Вологість, %	Тривалість в році, год	Температура, °C	Вологість, %			
-28	75	27,7	-2.0	100	25.0	4	5,3
-23	85	84,17	2.3	100	25.0	4,3	6,3
-18	95	217,9	5,4	100	25.0	4,4	6,6
-13	55.	434	4.4	72	40.0	9,6	12,8
-8.	95.	813	6.1	79	50.0	10	13,5
-3	95	1364	9,8	81	50.0	10	14,5
+3	25	1655	14,4	78	80.0		
8	95	1156	13,8	79	105.0		

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
13	95	1312	16,2	86	160	65,5	92,6
18	95	1148	20,7	88	160		
23	95	435	25	91	160		
28	75	93	29,4	76	160	99	132

Наведені в табл. 2.3. дані показують, що в розглянутому корівнику без застосування обігріву або спеціальних засобів (утилізація теплоти тварин, підсушування повітря) оптимальні параметри внутрішнього повітря без обігріву можна забезпечити тільки при температурі зовнішнього повітря вище -7°C . Для підтримки в даному приміщенні сприятливих температур внутрішнього повітря при зовнішній температурі нижче -23°C необхідно знизити повітрообмін нижче мінімально необхідного з розрахунку видалення вуглекислого газу, або збільшити щільність утримання тварин; однак, відносна вологість при цьому складе близько 100%. Для підтримки в приміщенні оптимальних значень температури внутрішнього повітря при найнижчих температурах зовнішнього повітря повинен передбачатися додатковий підігрів, хоча б у варіанті пересувного теплогенератора. Ці розрахунки підтверджуються проведеними натурними дослідженнями в корівниках [22].

У таблиці 2.3. показаний характер зміни площі перетинів приточних і витяжних пристроїв при зміні перепаду температури зовнішнього й внутрішнього повітря. Площа приточних пристроїв СПВ в літній період в 25 разів більше чим у зимовий, що приводить до необхідності розглядати окремо СПВ в літній і зимовий період.

2.3. Вплив режимів роботи СЗМ на об'єм шкідливих викидів в атмосферу вентиляційними системами тваринницьких приміщень

Аналіз літературних джерел, проведений у розділі 1.4, показує, що на емісію аміаку із тваринницького приміщення серед багатьох інших факторів впливають такі показники СЗМ, як повітрообмін, температура внутрішнього повітря, швидкість повітря. Для зниження викидів аміаку необхідно знизити повітрообмін, знизити температуру внутрішнього повітря, знизити рухливість повітря в приміщенні [16].

На рис. 2.6. показаний вплив повітрообміну на температуру внутрішнього повітря при зміні температури зовнішнього повітря. Якщо при температурі зовнішнього повітря 0°C і нижче збільшення повітрообміну приводить до істотного зниження температури внутрішнього повітря, то в жарку погоду, наприклад, при температурі зовнішнього повітря $+25^{\circ}\text{C}$, збільшення повітрообміну практично не знижує температуру внутрішнього повітря. Разом

з тим, на практиці у сучасних корівниках із цілорічним безвигульним утриманням для зняття теплового стресу в теплий період року робиться все для збільшення повітрообміну й у такий спосіб збільшення емісії аміаку.

Розрахунки показують (табл. 2.1, 2.2, 2.3), що в приміщеннях для утримання ВРХ із природною вентиляцією для зниження викидів аміаку повинні бути виконані регульовані приточні й витяжні вентиляційні пристрої. При проектуванні й експлуатації систем вентиляції бажано не завищувати без необхідності повітрообмін.

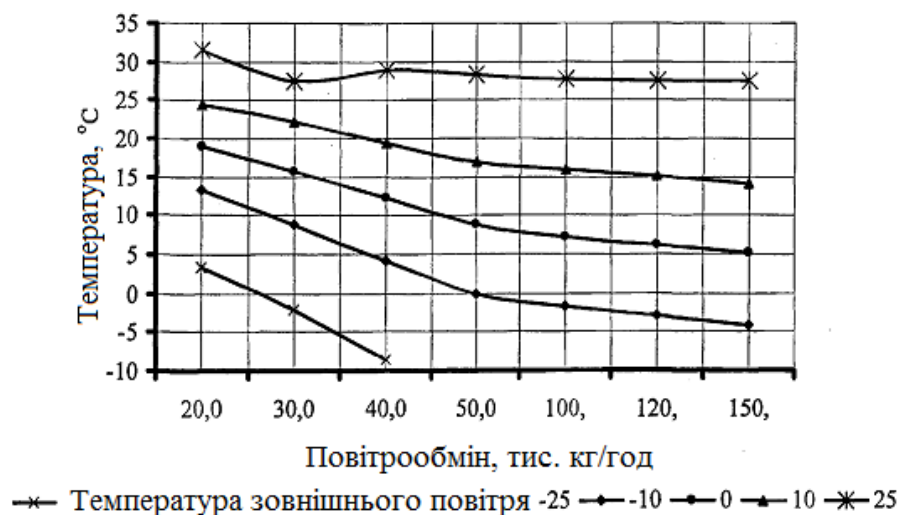


Рисунок 2.6. Вплив повітрообміну на температуру внутрішнього повітря

Результати моделювання режимів роботи опалювально-вентиляційної системи тваринницького приміщення доводять можливість керування повітрообміном і температурою внутрішнього повітря, з метою зниження викидів аміаку. Реалізація цих заходів повинна здійснюватися на стадії проектування шляхом вибору потужності вентиляційної системи й алгоритму системи керування таким чином, щоб наблизити показники системи до базового режиму, що забезпечує мінімально-необхідні витрати тепла й повітря при зміні тепло вологості навантаження приміщення.

Особливість запропонованих заходів у тому, що всі вони збігаються із заходами щодо енергозбереження системами забезпечення мікроклімату.

Одним з методів зниження викидів аміаку є також застосування підсушування й очищення внутрішнього повітря. Це можливо при охолодженні видалаємого повітря, або внутрішнього повітря, що утримуючі в них водяні пари конденсуються, утворюючи на поверхні теплообміну конденсатну плівку. Як відомо, конденсація водяної пари забезпечує їхнє видалення з повітря, а з ними й шкідливими газами, таких як аміак, вуглекислий газ у силу їхньої великої розчинності в конденсаті [25].

Кількість абсорбованих конденсатною плівкою газів визначається за виразом [20]:

$$Q_{\Gamma} = A_1 \sqrt{\frac{D_A}{k_1}} \left[(k_1 t + 1/2) \operatorname{erf} \sqrt{k_1 t} + \sqrt{\frac{k_1 t}{\pi}} \cdot e^{-k_1 t} \right], \quad (2.17)$$

де A_1 – концентрація газу на поверхні конденсатної плівки;

D_A – коефіцієнт дифузії розчиненого газу;

k_1 – константа швидкості реакції.

Осушування й очищення повітря від шкідливих домішок дозволяє в зимовий час скоротити до мінімуму об'єм подачі зовнішнього повітря, що забезпечує зниження викидів шкідливих газів в атмосферу й економію теплової енергії.

2.4 Розробка наближеної математичної моделі теплообміну приточного пристрою

2.4.1 Принципи побудови наближеної математичної моделі теплообміну приточного пристрою

Теплообмін у приточному пристрої системи природної вентиляції тваринницького приміщення визначається спільною дією ряду факторів: температури й вологості повітря приміщення, температури і вологості зовнішнього повітря, а також радіаційним випромінюванням навколишніх поверхонь, залежної від їхньої температури, геометрії й радіаційних властивостей. Під дією конвективного й променистого теплообміну й процесів масопереносу температури повітря в приміщенні й приточного повітря взаємозалежні й роблять вплив один на одного. Загальна схема теплообміну в приточному пристрої представлена на рис. 2.7.

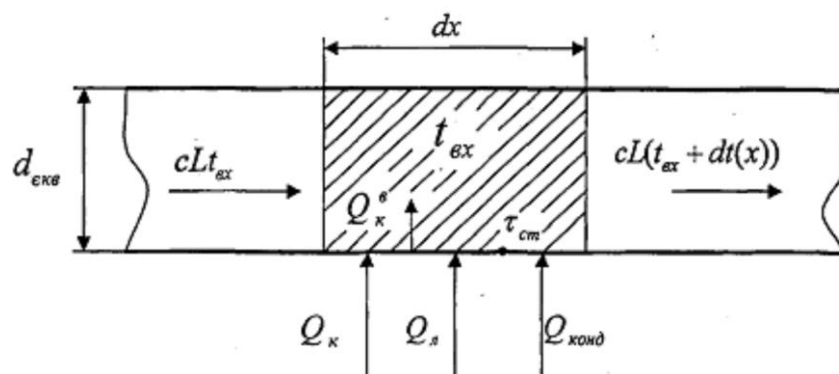


Рис. 2.7. Розрахункова схема теплообміну в приточному пристрої

З даної схеми видно, що в приточному пристрої в обміні теплом приймає участь ряд елементів. Це повітря основного об'єму приміщення, поверхня приточного пристрою, об'єм повітря, що рухається в приточному пристрої.

Параметри процесу теплообміну в приточному пристрої класифікуються на вхідні й вихідні. Задані вхідні параметри: температура внутрішнього

повітря, відносна вологість внутрішнього повітря, витрата повітря через приточний пристрій, конструктивні параметри приточного пристрою. Незалежний вхідний параметр – температура зовнішнього повітря. Вихідними параметрами є температура на виході приточного пристрою, температура стінки – вони вимагають визначення.

Виходячи з розрахункової схеми (рис. 2.7.), характерним об'ємом є повітря, що рухається в приточному пристрої, а рівнянням поверхні – граничні умови (рівняння теплового балансу). Розглядати будемо стаціонарний режим, коли параметри моделі залежать від однієї просторової координати – довжини приточного пристрою [26].

Тоді, система рівнянь, для об'єму dx , буде мати такий вигляд:

$$cLt_{\text{вх}} + Q_{\text{к}}^{\text{в}} dx = cL(t_{\text{вх}} + dt(x)), \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{к}}^{\text{в}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{конд}}, \quad (2.19)$$

де $t_{\text{вх}}$ – середня температура рухаючого у повітропроводі повітря, для об'єму dx , °C;

x – довжина приточного пристрою, м;

$Q_{\text{к}}^{\text{в}}$ – конвективний тепловий потік від внутрішньої стінки повітропроводу до рухаючого повітря, Вт/год;

$Q_{\text{к}}$ – конвективний тепловий потік від повітря приміщення до зовнішньої стінки повітропроводу, Вт/год;

$Q_{\text{л}}$ – променистий потік від огорожень до зовнішньої поверхні повітропроводу і від тварин до зовнішньої поверхні повітропроводу, Вт/год;

$Q_{\text{конд}}$ – тепло, що виділяється при конденсації вологи на зовнішній поверхні повітропроводу, Вт/год.

Для приведення балансових рівнянь до розрахункового виду необхідно підставити замість потоків їхнього виразу через параметри відповідно до фізичного значення, рівняння.

2.4.2. Конвективний теплообмін у приточному пристрої

На практиці розрахунок конвективного теплообміну полягає в знаходженні величини коефіцієнта тепловіддачі a [25, 26]. Визначити коефіцієнт тепловіддачі значно складніше, ніж коефіцієнт теплопередачі, так як він залежить від багатьох факторів. У загальному випадку він є функцією фізичних параметрів газу, характеру його протікання, швидкості руху, форми й розмірів твердого тіла та інших величин.

Експериментальне визначення величини a на діючому об'єкті економічно недоцільно, тому що необхідно провести дуже велику кількість дослідів для визначення впливу кожного з факторів на коефіцієнт тепловіддачі. При цьому отриманий результат буде придатний тільки для об'єкта, на якому проводився

дослід. Розрахункові формули для визначення коефіцієнта тепловіддачі можна одержати двома методами.

Перший метод, широко застосовуваний у гідродинамічній теорії теплообміну, складається в знаходженні аналітичних виразів для кривих розподілу потенціалу переносу. Ці співвідношення знаходять на основі емпіричних залежностей або шляхом наближених рішень системи диференціальних рівнянь, що описують перенос енергії впорядкованого руху тепла й маси речовини. Однак слід зазначити, що точне вирішення цих рівнянь важко.

Другий шлях оснований на використанні апарату теорії подібностей, що є майже єдиним методом вивчення подібного роду завдань, де точні аналітичні рішення неможливі. Базуючись на системі диференціальних рівнянь конвективного теплообміну, теорія подібностей чітко визначає умови подоби фізичних явищ і процесів [27].

Розглянемо процес конвективного теплообміну в приточному пристрої. Кількість тепла переданого через плоску стінку можна визначити за формулою [27]:

$$Q = \frac{\pi d_{\text{екв}}(t_{\text{в}} - t_{\text{вх}})}{\frac{1}{\alpha_{\text{к}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{к}}^{\text{в}}}}, \quad (2.20)$$

де $d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр повітропроводу, м;

$\alpha_{\text{к}}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією до зовнішньої поверхні повітропроводу, Вт/м²год;

$\alpha_{\text{к}}^{\text{в}}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від внутрішньої поверхні воздуховода, Вт/м²год;

$t_{\text{вх}}$ – температура рухаючого у повітропроводі повітря, °С.

λ – коефіцієнта теплопровідності, Вт/м°С;

δ – товщина стінки повітропроводу, м.

Оскільки товщина стінки δ у сталевих повітропроводах мала, а значення коефіцієнта теплопровідності λ порівняно велике, середній член у знаменнику формули (2.20) можна опустити.

Тепловіддача від повітря приміщення до зовнішньої поверхні стінки повітропроводу, що характеризується, як правило, умовами природної конвекції. Для виразу конвективного потоку застосовується формула [27]:

$$Q_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}}(t_{\text{в}} - \tau_{\text{ст}})Pdx, \quad (2.21)$$

де $\tau_{\text{ст}}$ – температура стінки повітропроводу, °С;

P – периметр повітропроводу, м.

Спільні експериментальні й теоретичні дослідження тепловіддачі при вільній конвекції дозволяють встановити безліч факторів, що впливають на інтенсивність теплообміну (коефіцієнт тепловіддачі) [27]. До них відносяться: температурний напір, розміри, форма, теплофізичні властивості середовища.

Набір цих факторів можна згрупувати в окремі критерії, чисельне значення яких допомагає класифікувати характер процесу теплообміну й визначати його інтенсивність.

Тепловіддача до рухомого повітря за рахунок змушеної конвекції від внутрішньої стінки повітропроводу:

$$Q_K^B = \alpha_K^B (\tau_{CT} - t_B) P dx, \quad (2.22)$$

Коефіцієнт тепловіддачі для змушеної конвекції α_K^B визначається у відповідності з критеріальним рівнянням [16, 22]:

$$Nu = 0.023 Pr^{1/3} Re^{0.8}, \quad (2.23)$$

на основі, якого отримано рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі при вимушеній конвекції:

$$\alpha_K^B = 3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}}, \quad (2.24)$$

Підставивши вираз (2.24) в рівняння (2.22) отримаємо вихідний вираз для визначення теплового потоку від внутрішньої стінки повітропроводу до рухомого повітря:

$$Q_K^B = 3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} (\tau_{CT} - t_B) P dx, \quad (2.25)$$

Нехтуючи променистим потоком і потоком тепла конденсації, система рівняння (2.18) і (2.19) приймає вигляд:

$$cL t_{ВП} + \alpha_K^B (\tau_{CT} - t_B) P dx = cL (t_{ВП} + dt(x)), \quad (2.26)$$

$$1.45 (t_B - \tau_{CT})^{4/3} P dx = 3.7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} (\tau_{CT} - t_B) P dx, \quad (2.27)$$

Для визначення температури на виході приточного пристрою необхідно визначити температуру стінки приточного пристрою, це можливо зробити, вирішивши рівняння (2.27). Для цього приведемо його до лінійного виду [5]. Лінеаризація провадиться за методом поліном найкращого наближення Чебишева. Причому, що $t_B - \tau_{CT}$ змінюється, для умов тваринницького приміщення, в діапазоні 0...10°C. при цих умовах виразимо $(t_B - \tau_{CT})^{4/3}$, як функцію $(t_B - \tau_{CT})$ (рис. 2.8).

Максимальна погрішність становить 10...15 %. Підставимо отримане рівняння в (2.26):

$$1,45(4,4t_B - 4,4\tau_{CT} - 5,7) = 3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} (\tau_{CT} - t_B), \quad (2.28)$$

звідси:

$$\tau_{CT} = \frac{6,4t_B - 8,3}{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} + 6,4} + \frac{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} t_{ВХ}}{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{EKВ}^{0.2}} + 6,4}, \quad (2.29)$$

Виразимо $\tau_{CT} = f(t_{ВХ})$, і представимо у вигляді:

$$\tau_{CT} = \alpha t_{ВХ} + b, \quad (2.30)$$

де $\alpha = \frac{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{\text{ЕКВ}}^{0.2}}}{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{\text{ЕКВ}}^{0.2}} + 6,4}$, $b = \frac{6,4 t_B - 8,3}{3,7 \frac{v^{0.8}}{d_{\text{ЕКВ}}^{0.2}} + 6,4}$, - коефіцієнти ліанеризації.

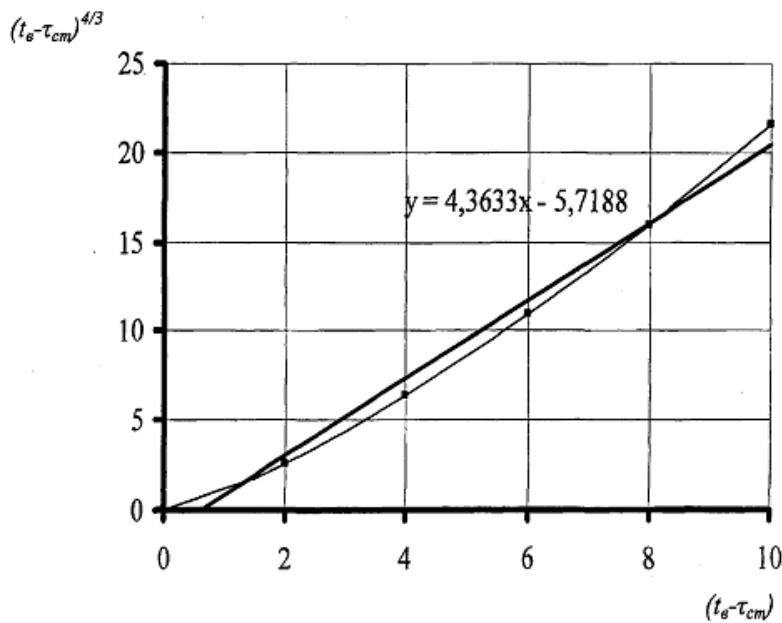


Рис. 2.8. Приведення рівняння (2.37) до лінійного виду

Підставивши в (2.29) отриманий вираз (2.30) і поділивши перемінні, отримаємо:

$$\frac{dt_{\text{ВХ}}}{(b + \alpha t_{\text{ВХ}} - t_{\text{ВХ}})} = \frac{\alpha_K^B}{cL} dx, \quad (2.31)$$

Інтегруючи даний вираз в межах від початкової величини довжини повітропроводу, $x=0$, коли температура повітря, що надходить у повітропровід рівна температурі зовнішнього повітря t_3 , тобто $t_3 = t_{\text{ВХ}}$, до даного значення довжини повітропроводу x , коли температура повітря, що рухається рівна $t(x)$, знайдемо:

$$\frac{1}{B} \ln(A + Bt(x)) = Dx + \text{const}, \quad (2.32)$$

де

$$\text{const} = \frac{1}{B} \ln(A + Bt_3), \quad (2.33)$$

В результаті перетворень отримаємо вихідну залежність для визначення $t(x)$:

$$t(x) = \frac{e^{BDx}(A + Bt_3) - A}{B}, \quad (2.34)$$

де $A=b$, $B=(a-1)$, $D=\frac{\alpha_K^B P}{cL}$

Тоді, степінь нагріву зовнішнього повітря в приточному пристрої рівна:

$$\Delta t = t_3 - t(x), \quad (2.35)$$

Степінь нагріву повітря в приточному пристрої характеризує початкові параметри приточного струменя по температурі.

2.4.3. Променевий теплообмін

Визначення кількості тепла, переданого випромінюванням між тілами, являє собою досить складне завдання, тому що при його вирішенні необхідно враховувати температуру й степінь чорноти, що беруть участь у теплообміні тіл, форми, розміри, взаємне розташування й відстань між ними [23]. У тваринницьких приміщеннях випромінювачами теплової енергії є тварини, температура вовняного покриву яких вища температури поверхні огорожувальних конструкцій.

Поширення променевої енергії від тварин на огорожувальні конструкції, підкоряється загальному закону променевого теплообміну [23]:

$$Q_{\text{л}} = e' c_0 \left[\left(\frac{t_{\text{т}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_{\text{ст}} + 273}{100} \right)^4 \right] P \varphi_{\text{т об}}, \quad (2.36)$$

де e' - приведена степінь чорноти системи поверхні тварин – поверхні повітропроводу; c_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;

$t_{\text{т}}$ – температура тварини, °С; P – площа випромінюваної поверхні, м²;

$\varphi_{\text{т об}}$ – коефіцієнт випромінювання в системі тваринні огороження.

$$e' = \frac{1}{\frac{1}{e_2} + \frac{F_2}{F_k} \left(\frac{1}{e_{\text{н}}} - 1 \right)}, \quad (2.37)$$

e_2 і $e_{\text{н}}$ – степінь чорноти поверхні, відповідно повітропроводу і тварин;

F_2 і F_k – площа поверхні відповідно повітропроводу і тварин, м².

Коефіцієнт опромінення показує частку променистого потоку, випромінюваного твариною на поверхню огороження, від усього потоку.

Оцінка променистої складової показала, що в розрахунку їй можна знехтувати.

2.4.4. Визначення схованої теплоти конденсації

При охолодженні пари нижче температури насичення для даного тиску пар конденсується, тобто перетворюється в рідину, і при цьому виділяється тепло конденсації, чисельно рівне теплу паротворення.

З урахуванням схованої теплоти конденсації вираз (2.24) матиме вигляд [11]:

$$\alpha_{\text{к}} = 1,45(t_{\text{в}} - \tau_{\text{ст}})^{1/3} + \frac{q_{\text{конд}} r}{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{ст}})}, \quad (2.38)$$

де $q_{\text{конд}}$ – кількість конденсату, кг/м²;

r – скрита теплота фазового перетворення води, Вт/кг.

Кількість конденсату можна розрахувати за відомим виразом [24]:

$$q_{\text{конд}} = 2,2 \cdot 10^{-6} \left(\frac{t_{\text{в}} + \tau_{\text{ст}}}{2} + 273 \right)^{0,42} \left(\frac{t_{\text{в}} - \tau_{\text{ст}}}{\nu^2} \right)^{0,33} \Delta \varepsilon^{1,4}, \quad (2.39)$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{1}{p} (\varphi_{\text{в}} i_{\text{вн}}^{\text{н}} - i_{\text{тем}}^{\text{н}}) 100, \quad (2.40)$$

де φ_B – відносна вологість повітря, (безрозмірна); $i_{\text{вн}}^H$, $i_{\text{тем}}^H$ – пружність насиченої пари при температурі внутрішнього повітря і температури стінки повітропроводу, Па; ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с; P – барометричний тиск, Па; $\Delta\varepsilon$ – різниця об'ємних паровмістів.

Тепловий потік:

$$Q_{\text{кон}} = q_{\text{конд}} r, \quad (2.41)$$

Кількість виділеного конденсату характеризує степінь підсушування внутрішнього повітря:

$$W_{\text{під}} = \frac{q_{\text{конд}}}{W_{\text{т}} + W_{\text{вип}}} 100\%, \quad (2.42)$$

Отримані залежності дозволяють оцінити зміну температури зовнішнього повітря, що рухається по приточному пристрою, при впливі конвективного й променистого теплового потоку, а також при захопленні повітрям схованої теплоти конденсатуутворення для приточних пристроїв різної форми й площі поперечного перерізу, при будь-якій довжині повітропроводу для умов характерних тваринницьким приміщенням. Значення температури на виході приточного пристрої є вихідними для розрахунку приточного струменя.

Висновок по розділу 2

В даному розділі проведений аналіз режимів роботи систем забезпечення мікрокліматом з природною вентиляцією телятника і корівника, що дозволяє визначити діапазон зміни повітрообміну і вимог до регулювання площі приточних і витяжних пристроїв для холодного і теплого періоду року. Площа приточних пристроїв СПВ в літній період в 25 разів більше чим у зимовий, що приводить до необхідності розглядати окремо СПВ в літній і зимовий період.

РОЗДІЛ 3.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ ПРИРОДНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРИМІЩЕНЬ

3.1 Конструкція й принцип роботи приточного пристрою системи природної вентиляції

Пристрій системи природної вентиляції розміщується в приміщенні 3 із зовнішньою стінкою 4, з вікном 7 у зовнішній стінці й огороженням 13 виконаним із плівки, що перегороджує частину приміщення для зменшення об'єму. Проріз вікна 7 має теплоізоляцію 8. Усередині приміщення 3 розміщений макет приточного пристрою, що складається з каналу подачі зовнішнього повітря, виконаного у вигляді повітропроводу 10 з листової сталі товщиною 1 мм. З однієї сторони повітропровід 10 вільний, з іншої сторони примикає до віконного прорізу 7, де за допомогою пристрою повітрозабору 9 з'єднується із зовнішнім повітрям. Під повітропроводом розміщений піддон 11 для збору конденсату, по якому конденсат стікає в ємкість 14.

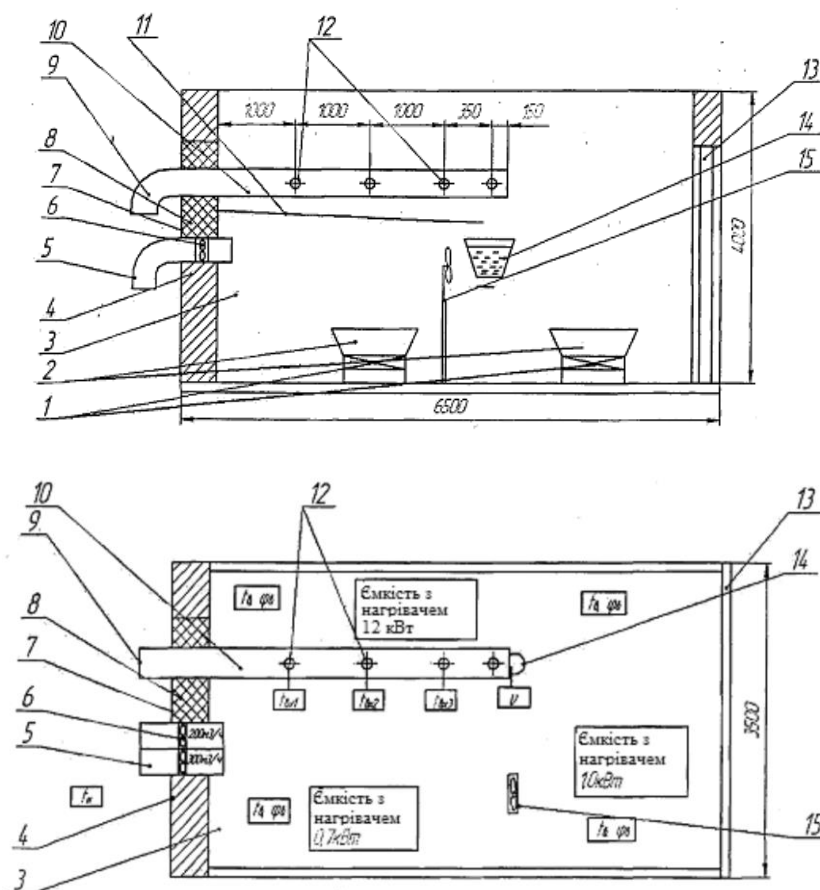


Рис. 3.1. Схема лабораторної установки із зазначенням розміщення обладнання і точок заміру: 1 – електронагрівачі потужністю 0,7, 1,0, 1,2 кВт; 2 – ємкість для води; 3 – приміщення; 4 – зовнішня стіна; 5 – патрубок; 6 – вентилятори віконні SandP DÉCOR 200C і 300S, продуктивністю 200 і 300 м³/год; 7 – вікно, 8 – теплоізоляція вікна; 10 – повітропровід; 11 – піддон для конденсату; 12 – отвір для установки вимірювальних

приладів; 13 – огорожа із плівки; 14 – місткість для конденсату; 15 – настільний вентилятор ВНС20-У4.

Для імітації тепла й вологовиділення у нижній частині приміщення розташовані електронагрівачі 1. Повітря в приміщенні зволожується парами води, що випаровуються з ємкості 2.

Загальна рухливість повітря в приміщенні забезпечується настільним вентилятором 15. Видалення внутрішнього повітря здійснюється двома віконними вентиляторами 6, з'єднаним за допомогою патрубків 5 із зовнішнім повітрям. Лабораторна установка працює наступним способом. Включаються витяжні вентилятори 6, які створюють розрідження в приміщенні 3, у результаті чого зовнішнє повітря через пристрій повітрязабору 9 зовнішнього повітря надходить у повітропровід 10 подачі зовнішнього повітря. Тепле вологе повітря приміщення 3 обмиває, зовнішні стінки повітропроводу 10 зовнішнього повітря. Холодне зовнішнє повітря, проходячи всередині повітропровода 10, вступає у взаємодію із внутрішнім повітрям приміщення 3 через стінку повітропроводу 10. Потік внутрішнього повітря охоплюючого повітропровід 10, прохолоджується й з нього випадає конденсат. У результаті потік внутрішнього повітря проходить фізичні й теплотехнічні зміни: температура, вологовміст і тепломісткість знижуються, а щільність збільшується. Потік зовнішнього повітря у повітропроводі 10 сприймає частину явної теплоти потоку внутрішнього повітря й сховану теплоту паротворення конденсату, що виділився, нагрівається й надходить до виходу з повітропроводу 10.

Відповідно до завдань досліджуваними параметрами були: температура на вході в приточний пристрій t_n ; проміжні значення температури повітря, що рухається в приточном пристрої, $t_{вх}$; швидкість повітря, що рухається, v м/с; температура внутрішнього повітря $t_в$; відносна вологість внутрішнього повітря φ , %; кількість конденсату, що виділилася, $q_{конд}$, кг. Вимірювання всіх параметрів здійснювалося таким чином, щоб забезпечити послідовне й повне визначення всіх характеристик приточного пристрою. Розташування точок виміру досліджуваних параметрів представлено на рис. 3.1.

Досліджували два режими роботи приточного пристрою.

Перший режим роботи - "сухий", характеризувався низькою вологістю (15...25%) у приміщенні та, відповідно відсутністю випадання конденсату на поверхні приточного пристрою. Зміна температури повітря, що рухалося, відбувалося тільки за рахунок конвективного теплообміну з навколишнім середовищем.

Другий режим роботи - "вологий", характеризувався високою вологістю, (80...90 %) у приміщенні і випаданням конденсату на поверхні приточного пристрою. Зміна температури повітря, що рухалося, відбувалося за рахунок

конвективного теплообміну і за рахунок освоєння схованої теплоти конденсатоутворення. Підтримка вологості в приміщенні здійснювалося шляхом випару води з ємкостей за рахунок нагрівання до температури кипіння, і періодичним відключенням електронагрівачів. Досліджувані параметри реєструвалися протягом всього досліду, для обробки використовувалися параметри зареєстровані при сталій вологості внутрішнього повітря. Вихід на "вологий" режим до необхідного для випадання конденсату, діапазону вологості внутрішнього повітря показаний на рис. 3.2.

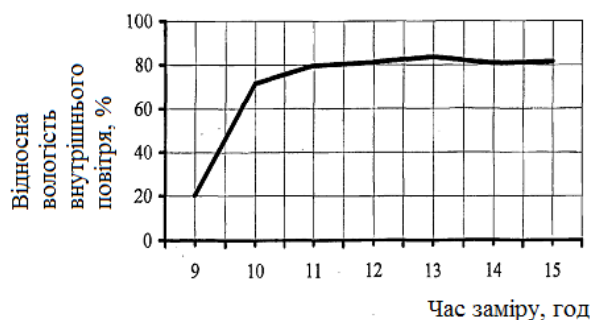


Рис. 3.2. Вихід на «вологий» режим роботи приточного пристрою перетином, 100×300 мм.

Весь експеримент був розбитий на серію дослідів і включав в себе проведення замірів при кожному режимі роботи. В ході експерименту досліджувались приточні пристрої з повітропроводами прямокутного перетину - 100×300 мм, 200×300 мм (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1.

Характеристика досліджуваних приточних пристроїв і режимів

Номер	Приточний	Режим	Кількіст	Номер	Приточн	Режим	Кількіст
1	100x300	«вологи»	8	7	200x300	«вологий»	9
2	100x300	«сухий»	8	8	200x300	«вологий»	8
3	100x300	«вологи»	7	9	200x300	«вологий»	8
4	100x300	«сухий»	11	10	200x300	«вологий»	7
5	100x300	«вологи»	7	11	200x300	«сухий»	7
6	100x300	«вологи»	11	12	200x300	«сухий»	7

3.2. Аналіз роботи приточного пристрою

Отримана математична модель процесів тепломасообміну приточного пристрою дозволяє провести дослідження ступеня нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої для розрахункового діапазону температур зовнішнього повітря й параметрів внутрішнього повітря, характерних для тваринницьких приміщень. Одержані при цьому залежності необхідні для обґрунтування конструктивних характеристик приточного пристрою, розрахунків повітророзподілу, оцінки роботи приточного пристрою при зміні вихідних даних.

Розрахункові значення повітрообміну системи природної вентиляції дозволяють визначити діапазон одиничної повітропродуктивності L приточного пристрою, і відповідно до виразу $L = Fv$ швидкість повітря v у повітропроводі. Проведено аналіз впливу швидкості й повітря на ступінь нагрівання зовнішнього повітря (рис. 3.3.).

У якості вихідних даних взяті швидкості, характерні для системи природної вентиляції. Аналізуючи отримані залежності можна зробити висновок, що зі збільшенням швидкості ступінь нагрівання зовнішнього повітря зменшується. Далі всі порівняльні розрахунки проведені для розрахункової швидкості 1 м/с.

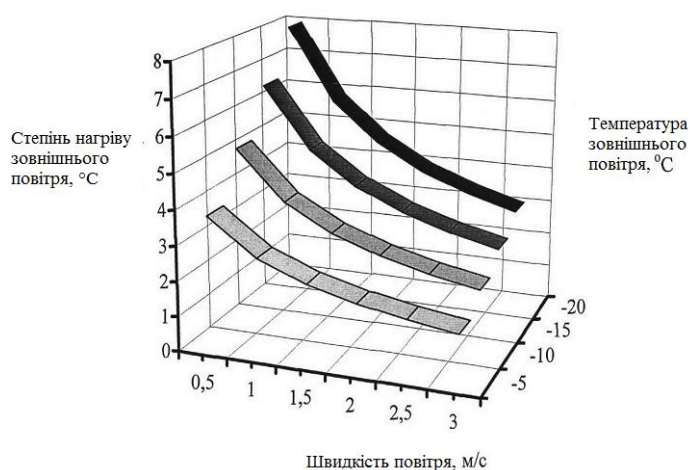


Рис. 3.3. Залежність степеня нагріву зовнішнього повітря від швидкості руху повітря. Режим роботи без випадання конденсату, повітропровід $d_{\text{екв}} = 0,15$ м, довжина 3 м, температура внутрішнього повітря 10°C .

Вплив довжини повітропроводу на ступінь нагріву зовнішнього повітря представлено на рис. 3.4., а вплив еквівалентного діаметра, відповідно на рис. 3.5.

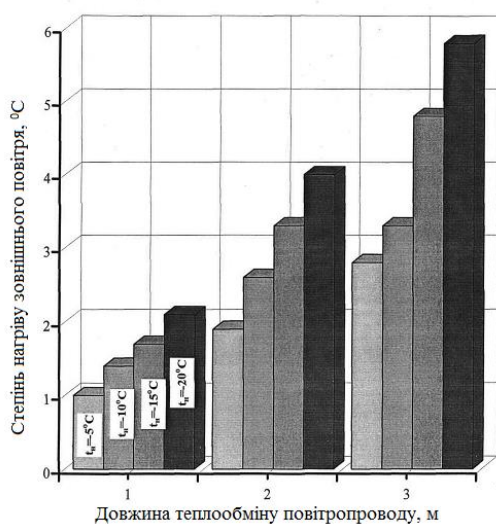


Рис. 3.4. Залежність степені нагрітого повітропроводу. Режим роботи приточного пристрою без випадання конденсату, теплообмінний повітропровід $d_{\text{екв}} = 0,15$ м, внутрішня температура 10°C .

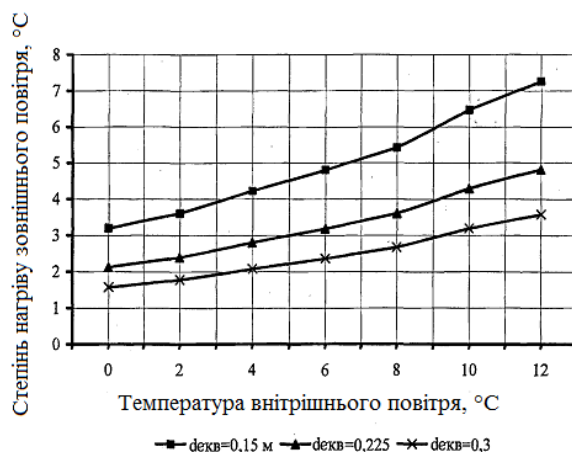


Рис. 3.5. Степінь нагріву зовнішнього повітря при різних еквівалентних діаметрах теплообмінного повітропроводу.

Отримані залежності (рис. 3.4.) показують, що зі збільшенням довжини повітропроводу, ступінь нагріву зовнішнього повітря збільшується. Так, при

температурі зовнішнього повітря $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і внутрішньої температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 1 м довжина повітропроводу повітря нагрівається на $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на довжині 3 м при даних умовах на $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На основі даних (рис. 3.5.) можна робити висновок, що при збільшенні еквівалентного діаметру повітропроводу степінь нагріву зовнішнього повітря зменшується. Так, наприклад, при внутрішній температурі $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $d_{\text{екв}} = 0,15$ м степінь нагріву зовнішнього повітря складає $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при $d_{\text{екв}} = 0,3$ м і тих умовах степінь нагріву складає $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Проведений аналіз впливу повітропроводу, що визначає площу теплообміну, на степінь нагріву зовнішнього повітря. У випадку прямокутного повітропроводу поверхня змінюється із зміною відношення сторін (табл. 3.1.). Результати розрахунку степеня нагріву при зміні відношення сторін показані на рис. 3.6.

Таблиця 3.1.

Характеристики приточного пристрою

Перетин повітропроводу АхВ, мм	Співвідношення сторін, А/В	Площа поперечного перетину, м ²	Довжина теплообмінного повітропроводу, м	Площа теплообмінної поверхні, м ²
100х2000	0,05	0,2	3	12,6
200х1000	0,2	0,2	3	7,2
400х500	0,8	0,2	3	5,6



Рис. 3.6. Залежність степеня нагріву зовнішнього повітря співвідношення сторін повітропроводу. Режим роботи приточного пристрою з випаданням конденсату, температура зовнішнього повітря $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура внутрішнього повітря $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість внутрішнього повітря 80%.

Із отриманої залежності видно, що при наближенні перетину повітропроводу до квадратної форми, тобто $A/B \rightarrow 1$, степінь нагріву зовнішнього повітря, зменшується.

На рис. 3.7. наведені результати розрахунків, степеня нагріву зовнішнього повітря при зміні температури внутрішнього повітря при відсутності випадання конденсату на поверхні приточного пристрою. Отримані розрахунки показують степінь зовнішнього повітря в діапазоні температур

внутрішнього повітря характерних для тваринницьких приміщень у відповідності з різними температурами зовнішнього повітря.

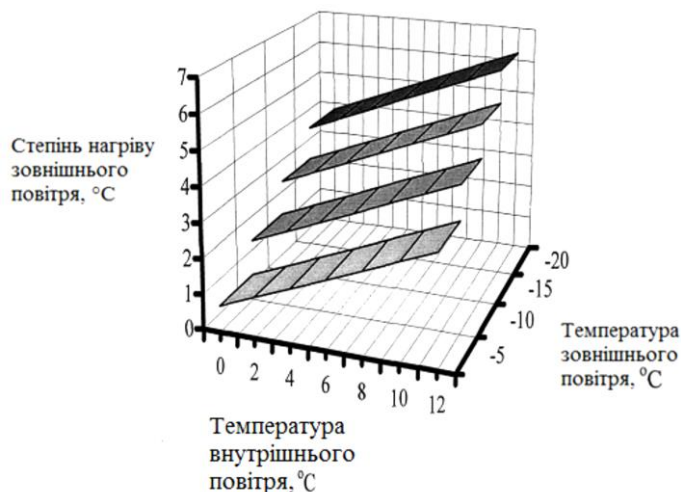


Рис. 3.7. Степінь нагріву зовнішнього повітря при зміні внутрішньої температури. Режим роботи приточного пристрою без випадання конденсату, повітропровід $d_{\text{екв}} = 0,15$ м, довжина 3 м, швидкість рухаючого повітря 1 м/с.

На рис. 3.8. показаний характер зміни степеня нагріву зовнішнього повітря при різних режимах роботи.

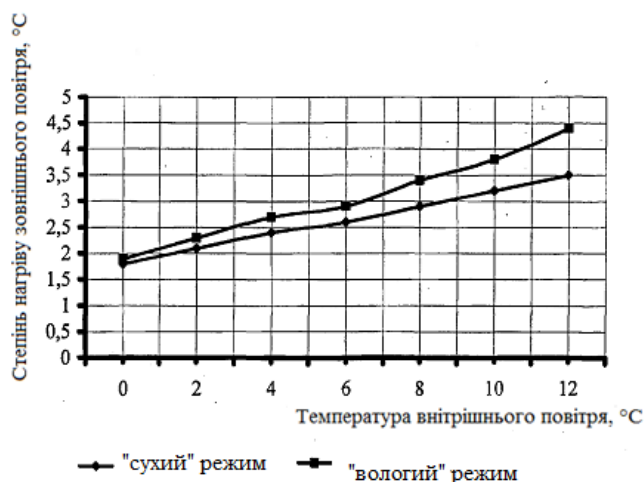


Рис. 3.8. Степінь нагріву зовнішнього повітря в приточному пристрої при різних режимах роботи.

Перетин приточного пристрою 150×450 мм, зовнішня температура -15°C, довжина 3 м.

Таблиця 3.2

Кількість виділеного конденсату, кг/год

Температура внутрішнього повітря, °C	Повітропровід 100x300мм				Повітропровід 150x450мм				Повітропровід 200x600мм			
	Температура зовнішнього повітря, °C				Температура зовнішнього повітря, °C				Температура зовнішнього повітря, °C			
	-5	-10	-15	-20	-5	-10	-15	-20	-5	-10	-15	-20
0	0,007	0,008	0,010	0,011	0,011	0,013	0,014	0,016	0,016	0,019	0,022	0,024
2	0,010	0,012	0,014	0,017	0,014	0,018	0,022	0,025	0,022	0,027	0,032	0,038
4	0,012	0,017	0,024	0,029	0,018	0,025	0,036	0,043	0,027	0,038	0,054	0,065
6	0,017	0,022	0,029	0,041	0,025	0,032	0,043	0,061	0,038	0,049	0,065	0,092
8	0,022	0,029	0,041	0,060	0,032	0,043	0,061	0,090	0,049	0,065	0,092	0,135
10	0,024	0,038	0,053	0,079	0,036	0,058	0,079	0,119	0,054	0,086	0,119	0,178
12	0,036	0,055	0,074	0,091	0,054	0,083	0,112	0,137	0,081	0,124	0,167	0,205

Таблиця 3.3.

Кількість теплоти конденсатоутворення, кДж

Температура внутрішнього повітря, °С	Повітропровід 100х300мм				Повітропровід 150х450мм				Повітропровід 200х600мм			
	Температура зовнішнього повітря, °С				Температура зовнішнього повітря, °С				Температура зовнішнього повітря, °С			
	-5	-10	-15	-20	-5	-10	-15	-20	-5	-10	-15	-20
0	17	21	24	27	26	32	35	41	41	49	54	61
2	23	30	34	42	35	44	53	62	55	68	82	95
4	29	42	59	72	43	62	91	107	68	95	136	161
6	41	54	72	102	62	82	107	152	95	122	161	225
8	53	72	101	150	82	108	152	224	122	163	230	338
10	59	96	131	197	91	145	197	296	136	217	296	446
12	91	138	186	227	134	206	270	343	203	312	419	515

В табл. 3.2. і 3.3. показано при умові випадання конденсату, його кількість і кількість теплоти конденсатоутворення, яка засвоюється рухливим повітрям.

Визначення співвідношення величини загальних вологовиділень у приміщенні й об'єму виділеного конденсату на приточному пристрої, при відносній вологості внутрішнього повітря 80% показало, що ступінь підсушування внутрішнього повітря досягає 15%.

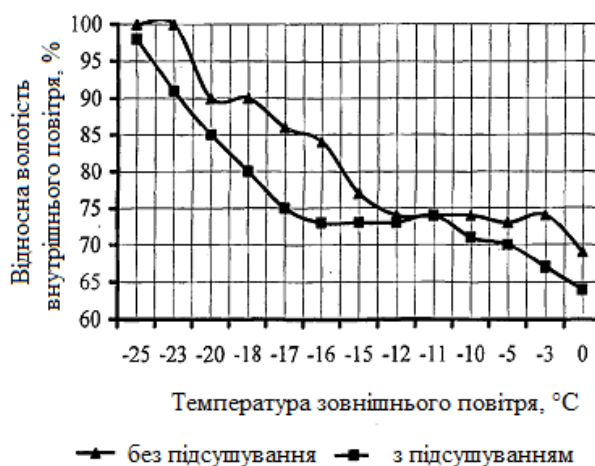


Рис. 3.9. Вологість внутрішнього повітря з об'ємом підсушування й без підсушування. Розрахунок режимів роботи, проведений на прикладі корівника на 150 голів показав, що вологість внутрішнього повітря при підсушуванні знижується, в середньому на 7% (рис. 3.9).

Отримані розрахункові значення характеризують роботу приточного пристрою при різних режимах роботи в умовах, характерних для тваринницьких приміщень.

3.3. Результати дослідження приточного пристрою системи природної вертиляції

Температура зовнішнього повітря перебувала в діапазоні від 0 до -23°С. Об'єм подачі зовнішнього повітря в приточному пристрої з повітропроводом

100x300 мм коливався від 74,5 до 165,2 м/год, з повітропроводом 200x300 мм - від 177,1 до 354, 5 м³/год.

Теплотехнічна ефективність роботи приточного пристрою залежала від різниці температур зовнішнього повітря й повітря всередині приміщення, а також від вологості внутрішнього повітря. При відносній вологості всередині приміщення 16...25% спостерігався "сухий" режим роботи, а при відносній вологості 70...90% мав місце режим теплообміну з конденсацією вологи.

Отримані в ході дослідження дані дозволили виявити характер зміни температури повітря, що рухалося, у приточному пристрої від різних факторів.

Таблиця 3.4.

Основні параметри, що характеризують режим роботи приточного пристрою

№ п/п	Об'єм подачі повітря, м ³ /год	Температура зовнішнього повітря, °С	Температура внутрішнього повітря, °С	Відносна вологість внутрішнього повітря, %	Температура рухаючого повітря °С		
					Точка вимірювання		
					1	2	3
Приточний пристрій перетином 100x300 мм («сухий» режим)							
1	105,8	-22,4	7,2	16,1	-20,6	-18,2	-17,4
2	84,2	-15,8	12	18,1	-13,3	-11,4	-10,5
3	132,8	-12,5	14,1	23,6	-10,4	-8,7	-7,6
4	144,7	-9,2	13,9	26,4	-6,2	-5	41
Приточний пристрій перетином 100x300 мм («вологий» режим)							
1	105,8	-12,6	14	81	-9,8	-6,8	-4,5
2	78,8	-11,5	14,3	83,6	-7,9	-5,6	-3,4
3	138,2	-21,5	13,3	82,5	-18,3	-15,2	-12,1
4	138,2	-12,5	15,1	80,7	-8Д	-5,9	-4,1
Приточний пристрій перетином 200x300мм («сухий» режим)							
1	337,7	-1,4	12,1	36,6	-0,5	-0,4	-0,2
2	316,3	-1,1	11,9	36,4	-0,2	-0,1	0
3	186,5	-5	12,5	26,1	-3,8	-3,3	-2,8
4	197,8	-4,3	12,3	25,9	-3,3	-2,8	-2,4
Приточний пристрій перетином 200x300мм («вологий» режим)							
1	333,9	-16,9	10,4	81,5	-15	-14,3	-13,5
2	309,9	-8,6	10,7	81,5	-5,3	-5	-4,5
3	214,2	-16,2	14,3	84,2	-11,6	-9,7	-8
4	177,6	-15,4	14,2	82,8	-11,2	-9,5	-7,8

Отже, основний вплив на теплотехнічну ефективність пристрою робить перепад температур. На рис. 3.10. показаний ступінь нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої перетином 200x300 мм при його різних початкових температурах і при зміні внутрішньої температури в діапазоні 10...13°С, відносної вологості внутрішнього повітря 80...84 %, об'ємі подачі зовнішнього повітря 310...354м³/год.

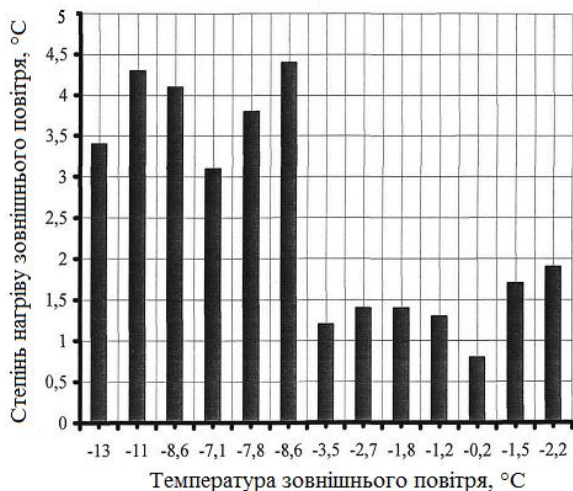


Рис. 3.10. Ступінь нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої перетином 200x300 мм при "вологодому" режимі роботи.

Аналізуючи рис. 3.10. можна зробити висновок, що при підвищенні температури зовнішнього повітря, і відповідно зменшені різниці перепаду температур, ступінь нагрівання зовнішнього повітря буде зменшуватися. Аналогічний вид буде мати залежність повної теплоти, освоєної повітрям, що рухається, від різниці перепаду температур, тому що вона прямо пропорційна ступеню нагрівання й об'єму подачі зовнішнього повітря.

На рис. 3.11. показаний ступінь нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої перетином 100x300 мм при "сухому" й "вологодому" режимі роботи, з якого видно, що при "вологодому" режимі роботи нагрівання зовнішнього повітря збільшується. Це можна пояснити тим, що відбувається випадання конденсату на поверхні приточного пристрої, рухаю чого повітря, крім конвективної теплоти, яке сприймає теплоту конденсатоутворення.

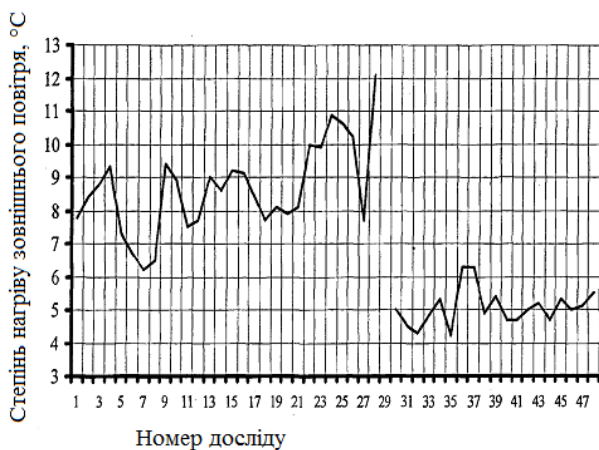


Рис. 3.11. Ступінь нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої перетином 100x300 мм при різних режимах роботи

Таким чином, у пристрої здійснюється утилізація теплоти внутрішнього повітря за рахунок конденсації пари води. Під час дослідів кількість конденсату, що випав на поверхню повітропроводу перетином 100x300 мм, коливався в межах 0,076...0,154 кг/год.

Дослідження підтвердили залежність ступеня нагрівання зовнішнього повітря від об'єму подачі зовнішнього повітря. На рис. 3.12. показаний

характер ступеня нагрівання повітря в приточному пристрої перетином 200x300 мм при "вологодому" режимі роботи.

Зі збільшенням об'єму подачі повітря ступінь нагрівання зовнішнього повітря зменшується. Так при середньому об'ємі подача повітря 198,7 м³/год середня ступінь нагрівання зовнішнього повітря становила 6,8 °С, а при середньому об'ємі подачі повітря 324,9 м³/год - 3,1 °С.

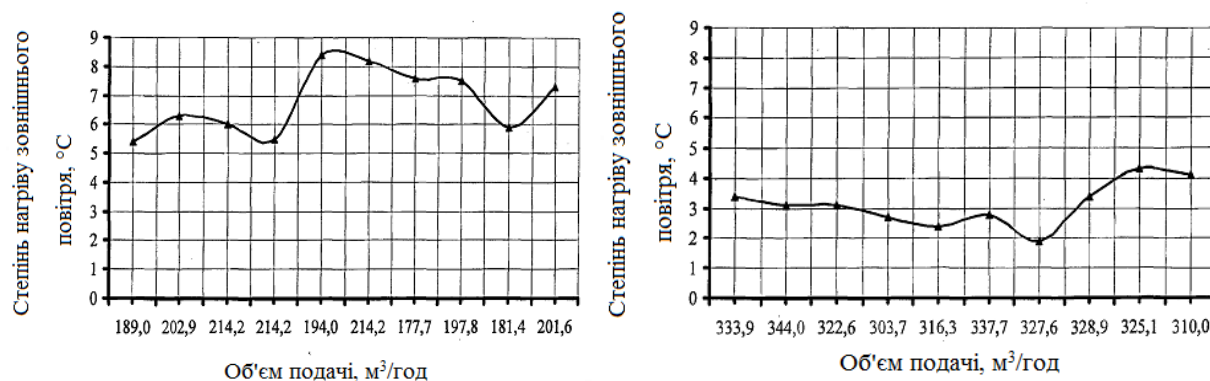


Рис. 3.12. Ступінь нагрівання зовнішнього повітря в приточному пристрої перетином 200x300 мм при різних об'ємах подачі повітря

Великий вплив на теплотехнічні характеристики приточного пристрою мають конструктивні параметри приточного пристрою.

На рис. 3.13. представлений фрагмент результатів досліджень з визначення зміни температури зовнішнього повітря по довжині повітропроводу перетином 100x300 мм при "вологодому" режимі роботи

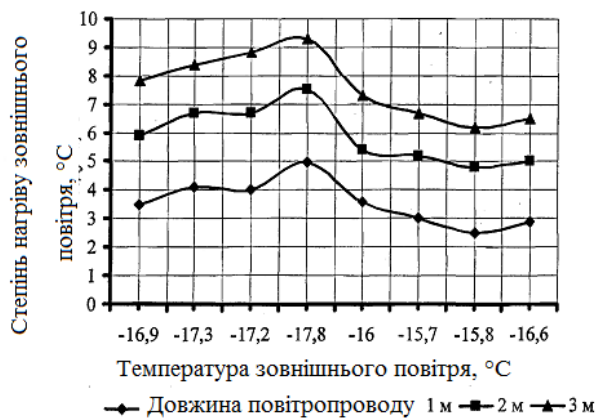


Рис. 3.13. Залежність ступеня нагрівання зовнішнього повітря від довжини приточного пристрою

На рис. 3.13 показаний характер зміни температури зовнішнього повітря по довжині повітропроводу, так при початковій температурі зовнішнього повітря -16°С на 1 м довжини повітропроводу зовнішнє повітря нагрівається на 3,6 °С, а на 3 м - на 7,3 °С, що підтверджує теоретичні передумови.

Висновки по розділу 3

Результати розрахунку режимів роботи системи забезпечення мікроклімату з досліджуваним приточним пристроєм і без нього, на прикладі корівника на 150 голів та телятника на 192 голів, показали, що застосування досліджуваного пристрою дозволяє, за рахунок підсушування, знизити вологість внутрішнього повітря в середньому на 7%.

ВИСНОВКИ

При удосконаленні вузла подачі зовнішнього повітря в приміщення перспективними є технічні рішення приточних пристроїв, що забезпечують підігрів повітря за рахунок біологічного тепла тварин і часткове підсушування внутрішнього повітря за рахунок тепла, що виділяється при випаданні конденсату на поверхні приточних пристроїв. Тому в роботі розглянуто процеси формування повітряного середовища в приміщеннях для утримання ВРХ із природною вентиляцією при зміні повітрообміну, температури зовнішнього повітря, потужності місцевого обігріву й тепловтрат приміщення.

Удосконалено алгоритм розрахунку мінімально необхідних витрат тепла й повітря й відповідних значень перетинів приточних і витяжних пристроїв систем природної вентиляції тваринницького приміщення для всього діапазону зміни параметрів зовнішнього повітря й різних розрахункових значень параметрів внутрішнього повітря.

Розроблена наближена модель процесів тепломасообміну дозволила визначити ступінь нагрівання зовнішнього повітря, кількість конденсату, що виділився, і ступінь підсушування внутрішнього повітря.

Результати розрахунку режимів роботи системи забезпечення мікроклімату з досліджуваним приточним пристроєм і без нього, на прикладі корівника на 150 голів, показали, що застосування досліджуваного пристрою дозволяє, за рахунок підсушування, знизити вологість внутрішнього повітря в середньому на 7%.

Результати співставлення розрахункових значень температури на виході приточного пристрою підтвердили адекватність математичної моделі приточного пристрою. У пристрої здійснюється утилізація теплоти внутрішнього повітря за рахунок конденсації пари води. Під час дослідів кількість конденсату, що випав на поверхню повітропроводу перетином 100x300 мм, коливався в межах 0,076...0,154 кг/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://junkstore.com.ua/ventiljacija-v-korivniku-tipi-i-sposobi-ustanovki/>
2. Галкин А.Ф. Основы проектирования животноводческих ферм.- М.: Колос, 1975.-364 с.
3. Мурусидзе Д.Н. и др. Установки для создания микроклимата на животноводческих фермах.- М.: Колос, 1979. С.3-38, 279-306.
4. Башенко М. І. Основні принципи реконструкції тваринницьких приміщень для застосування ресурсоощадної технології виробництва свинини / М.І. Башенко, М.С. Небилиця, А.Г. Чернецький,- Методичні рекомендації. - Черкаси: Черкаський інститут АПВ НААНУ.-2010. - 25 с.
5. Система інтенсивного енерго- та ресурсозберігаючого ведення м'ясного скотарства в Поліссі України на базі волинської м'ясної породи: наук. метод. Посібник. – Харків, ІТ УААН, 2005. – 111 с.
6. Белянчиков Н.Н., Смирнов А.И. Механизация животноводства.–М.: Колос, 1983.–360 с.
7. Антонов П.П. Микроклимат на фермах и комплексах. Россельхозиздат, 1976. 70 с.
8. Машины та обладнання для тваринництва: підручник [Текст] /О.А. Науменко, І.Г. Бойко, О.В. Нанка, В.М. Полупанов та ін.; за ред. І.Г. Бойка. – Том 1. – Харків: Видавництво ЧП «Черв'як», 2006. – 225с.
9. Машины та обладнання для тваринництва: підручник [Текст] /О.А. Науменко, І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; за ред. І.Г. Бойка. – Том 2. – Харків: Видавництво ЧП «Черв'як», 2006. – 279с.
10. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва [Текст] /О.А. Науменко, І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, В.І. Дзюба та ін.; за ред. О.П. Скорика, В.М. Полупанова. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – 429с.
11. Ревенко І.І. та ін. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. - К.: Урожай, 1999.
12. Сафонов В.В., Приешкин В.П. Оборудование для создания микроклимата в помещениях животноводческих комплексов. М.: высшая школа, 1981. 104 с.
13. Тесленко И.И. Ресурсосберегающие технологии в молочном животноводстве. М.: 2002. 289 с.
14. Теплообменная блокирующая вентиляция животноводческих помещений системы Турушева В. А. [Текст] / сост. В. А. Турушев. - Целиноград : [б. и.], 1990. - 116 с.
15. Автоматизированная система - обеспечения микроклимата с утилизацией теплоты и улучшением экологии // Экология и сельскохозяйственная техника. Т.3. Экологические аспекты технологий производства продукции животноводства и электротехнологий: Материалы 5-й

международной научно-практической конференции. - СПб.: ННЦ ИМЕСГ, 2004. -С. 214-219.

16. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; За ред. О.П. Скорик, О.І. Фісячекко. – Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2004. – 275 с.

17. Проспекты фирм Anteco A/S, BoPil A/S Brouwers Stalinrichtingen B.V., Christensen & Co., A/S S.A., DACS A/S, Dyma & Danheat A/S, Funki Tech A/S, Haahr A/S, Ivar, Hojer FarmTech a/s, Hans K.J. Ventilation A/S, KC Ventilation ApS, Landmeco A/S, M.H. Jensen Maskinfabrik ApS, NordboVent, OK-MilJ0, RiCon International BV, Rotor Staldventilation A/S, Royal De Boer Stalinrichtingen B.V., Samka Vejle A/S, Skibelund, HZ, Skiold Echberg A/S, Skov A/S. Wopereis.

18. Машиновикористання у тваринництві: Підручник для студентів вищих аграрних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / І.І.Ревенко, О.О. Заболотько, В.С. Хмельовський. – К. : ЦП «Компринт», 2016. – 260 с.

19. Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Заболотько О.О. та ін. Проектування технологічних процесів у тваринництві: Підручник. – К. : ЦП «Компринт», 2018. – 292 с.

20. Лебедь А.А. Микроклимат животноводческих помещений. - М.: Колос, 1984.-199 с.

21. Плященко СИ., Хохлова И.И. Микроклимат и продуктивность животных. - Л.: Колос, Ленингр.отд-е, 1976. - 208 с.

22. Егiazаров А.Г. Устройство и изготовление вентиляционных систем. Учебник для СПТУ, 2-ое издание, переработанное и дополненное Москва, "Высшая школа", 1987 г., 304 с.

23. Родин В.И., Шведов В.В. Оптимизация микроклимата в коровниках с помощью естественной вентиляции // Ветеринария. - 1985. - №2. -С. 24-27.

24. Тесленко И.И. Ресурсосберегающие технологии в молочном животноводстве. - М.: 2002. - 289 с.

25. Kavolelis B., Bleizgys R., Cesna J. Temperature and humidity regim of cowshed. Development of agricultural technologies and means in ecological and energetic aspects // 11-th international conference Institute of Agricultural Engineering LUA Raudondvaris, 14-15 September 2006. - pp. 130-136.

26. Ануфриев Л.Н. Теплофизические расчеты сельскохозяйственных производственных зданий. М.: Стройиздат, 1974. 216 с.