

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 681.511;681.527

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

_____ /Каплун В.В./
(підпис)

«___» _____ 2024 р.

_____ /Антипов Є.О./
(підпис)

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка системи охолодження пташників в теплий період року на базі Філії «Птахокомплекс» ТОВ «Вінницька птахофабрика»

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Горобець В.Г.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Фуркало Т.Г.
(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

к.т.н доцент Антипов Є.О.
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ___ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Фуркалу Тарасу Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Розробка системи охолодження пташників в теплий період року на базі Філії «Птахокомплекс» ТОВ «Вінницька птахофабрика»**
затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від «19» грудня 2023 р. № 2334 С
Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024.11.15
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ: ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»
2. СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ
3. СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКІВ
4. РОЗРОБКА ТЕПЛОБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОБМІНУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В ПТАШНИКУ ПРИ БІЧНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ CFD

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «19» грудня 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____ Троханяк В.І.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Фуркало Т.Г.
(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ: ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»	6
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ	9
2.1. Сучасні системи охолодження пташників.	9
2.2. Різновид системи охолодження.....	10
2.3. Розрахунок системи охолодження в теплий період року	18
РОЗДІЛ 3. СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКІВ	24
3.1. Огляд систем вентиляції пташників.....	24
3.2. Розрахунок повітрообміну птахоферми у теплий період року	27
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ.....	34
4.1. Класифікація та види теплообмінного обладнання.....	34
4.2. Розрахунок теплообмінного апарата нової конструкції для бокової системи вентиляції.....	43
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В ПТАШНИКУ ПРИ БІЧНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ CFD.....	53
5.1. Методи досліджень	53
5.2. Результати CFD моделювання.....	56
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

ВСТУП

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 74 сторінках, таблиць 3, рисунків 19, кількість використаної літератури - 23 джерела.

Об'єктом дослідження є система охолодження в пташнику з використанням нової конструкції теплообмінного апарата.

Предмет дослідження – система охолодження в пташнику на основі теплообмінників.

Методи дослідження – інженерні розрахунки системи охолодження, вентиляції в пташнику та теплообмінного апарата, а також проведення CFD моделювання в ANSYS Fluent для внутрішнього повітряного середовища пташника.

Розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінника із компактным розташуванням труб малого діаметра в трубних пучках для охолодження повітря у систем мікроклімату пташників.

Проведено розрахунок системи охолодження пташника в теплий період року. Холодильних установок необхідно із загальною потужністю 165842,1 Вт, при зовнішній температурі +40 °С.

Проведено розрахунок годинного об'єм витяжного повітря у теплий період року при температурі зовнішнього повітря +40 °С. Без системи охолодження необхідно 901451 м³/год. Для охолодження внутрішнього середовища пташника з використанням теплообмінного обладнання необхідно забезпечити повітрообмін в кількості 289705 м³/год. Температура на виході із теплообмінників повинна складати +20 °С. Обрано вентилятори типу ВО-12,5 в кількості 8 од. Коефіцієнт запасу вентиляційного обладнання складає 10,46 %.

Розраховано кожухотрубний теплообмінний апарат нової конструкції. Він розроблявся для монтажу у вхідні клапани припливного повітря із зовнішньої стінки пташника. Розміри теплообмінника складають 0,85×0,3 м в кількості 80 шт. Знайдено, що потужність такого теплообмінника – 77,5 кВт. Загальні втрати

тиску по повітрі складають 3004 Па, по воді 11,9 Па. Потужність двигуна вентиляторів повинна складати не менше 1,352 кВт, а насоса – 1,4 кВт.

Результатом чисельного моделювання було досліджено систему охолодження у жаркий період року з температурою зовнішнього повітря +40 °С в 3D для половини пташника. Запропоновано нову систему охолодження пташників за допомогою теплообмінного обладнання, на виході температура якого буде складати +20 °С. В якості охолоджувача пропонується вода з підземних свердловин.

Розроблено математичну модель аеродинаміки і теплопереносу в пташнику. В результаті чисельного моделювання отримано розподіли температур, швидкостей та тисків в приміщенні пташника. В результаті проведеного аналізу поля температур в пташнику показано, що на окремих ділянках температура в середньому складає від +20 °С до +27,22 °С. Таким чином, враховуючи отримані розподіли температур і швидкостей від рівня підлоги до позначки 0,7 м, можна зробити висновок, що при запропонованій системі охолодження дискомфорт відчуватиме не більше 0,46% від загальної кількості птиці. Усереднена швидкість повітря складає 0,72447 м/с, а температура +25,6987 °С, що відповідає нормованим показникам.

Ключові слова: теплообмінний апарат, система охолодження, пташник, CFD, система вентиляції.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ: ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»

Адреса: Україна, 24320, Вінницька обл., Гайсинський район, місто Ладизин, вул. Слобода, будинок 141. Тел.: (044) 207-00-00, (044) 207-00-02, (050) 490-51-68 Факс.: (04343) 676-54.

E-mail: d.s.palamarchuk@mhp.com.ua. Сайт: <https://mhp.com.ua> [1].

Вінницька птахофабрика - потужний птахокомплекс, розташований поблизу м. Ладизин у Вінницькій області. Після введення комплексу в експлуатацію на повну потужність він став одним з найбільших птахокомплексів у світі. До складу птахокомплексу входить комплекс із вирощування птиці – 24 зони вирощування по 38 пташників на кожній. Посадка на одній зоні вирощування складає понад 1,550 млн. голів птиці (збереження – 97%). Крім того, обов'язковою частиною бройлерної птахофабрики є інкубаторна станція, що повністю задовольняє внутрішні потреби птахофабрики, а також комплекс із переробки курчат-бройлерів і дистрибуційний центр. Вінницька птахофабрика повністю автоматизована та оснащена найсучаснішим устаткуванням. Також на підприємстві впроваджені новітні енергозберігаючі технології. Комбікормами птахофабрику забезпечує внутрішньогосподарський комплекс із виробництва кормів, що входить до її складу [2].

Підприємство було засновано у 2011 році, комплекс було введено в експлуатацію у 2012 році на двох існуючих технологічних лініях. У 2018 році потужність підприємства було збільшено завдяки введенню в експлуатацію третьої технологічної лінії виробництва.

Успішно реалізується в Україні та на ринках понад 80 країн, в тому числі, 36 країн Європи. Випуск продукції здійснюється під торговими марками: «Наша Ряба», «Qualiko», «Ukrainian Chicken», «Al Hassanat», «Вінницькі курчата», «Sultanah», «Assilah».

До складу птахокомплексу входять: 3 відділення, 19 ділянок з вирощування птиці, 722 пташники (55 тисяч голів у одному пташнику), бригади по вирощуванню курчат-бройлерів, інкубаторно-птахівнича станція, водофільтрувальна станція.

Станом на 2020 рік показники роботи становлять вирощування 23 млн. голів, збереженість – 96.28%. Кількість працівників 1341 особа.

Підприємство переробного комплексу виробляє близько 40297 тонн готової продукції щомісячно та – 483563 тонн на рік. Кількість працівників підприємства 4391 особа. За підсумками 2020 року податкові відрахування становили 1 568 112,55 грн.

МХП — провідний виробник курятини, що забезпечує понад 55% промислового виробництва та охоплює близько 35% від загального споживання курятини в Україні. Один із найбільших та найвідоміших брендів в Україні - ТМ «Наша Ряба». Виробничі потужності підприємств МХП дозволяють забезпечити повний процес виробництва курятини. Потужності компанії також забезпечили експорт продукції на європейський ринок у обсязі 357 433 тон.

Підприємство має благодійний фонд «МХП — Громаді». Благодійний фонд «Урожай — Громаді» розпочав свою діяльність у 2015 році на підприємстві НВФ «Урожай». Наприкінці 2019 року його було перейменовано на благодійний фонд «МХП — Громаді». З 1 червня 2020 року фонд вже працює на територіях діяльності 27 підприємств МХП. А до кінця 2020 року діяльність фонду охопив території роботи всіх підприємств МХП. Цільова аудиторія фонду — понад 200 тисяч жителів України. Місія фонду — розвиток громад шляхом побудови партнерських відносин між громадами, владою та бізнесом. Діяльність фонду зосереджена на таких ключових напрямках: адаптації людей до змін у швидкоплинному світі; екології; доступних та якісних освіти і медицині; розвитку громад шляхом залучення додаткових коштів (грантів) для реалізації соціальних проектів розвитку (фандрейзинг, робота з міжнародними донорами).

Продукція, що виробляється на підприємствах МХП, проходить багаторівневий контроль щодо: якостей потужностей виробництва та продукції,

що надходить до споживачів; дотриманням фахівцями ветеринарно-санітарних, санітарно-гігієнічних вимог і технологічних процесів виробництва; відповідності вимогам згідно українського та європейського законодавства; впроваджених систем безпеки харчових продуктів та управління якістю; дотримання корпоративних стандартів фахівцями центрального офісу МХП — Департаменту технології, якості та безпеки харчових продуктів.

Задля вирощування здорової птиці та забезпечення повноцінного розвитку підприємство виробляє комбікорми із власної сировини та ретельно слідкує за дотриманням максимально природніх умов (температура, вологість, циркуляція, вільний простір).

Процес інкубації повністю автоматизовано, а починаючи з одноденного віку, здійснюється постійний контроль кваліфікованими фахівцями [3].

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ

2.1. Сучасні системи охолодження пташників

Традиційною системою охолодження в пташниках для забезпечення нормованого мікроклімату в приміщенні є охолодження з прямим випаровуванням (ОПВ) [4, 5]. У цих системах 100 % свіжого зовнішнього повітря всмоктується через випарні охолоджувальні касети на бічних стінках, щоб відповідати вищезазначеним обмеженням щодо тепла та якості повітря [6]. Отже, температура повітря охолоджується до вологого термометра, одночасно збільшуючи вміст вологи. Крім того, ОПВ підвищує вологість припливного повітря, тим самим зменшуючи тепловіддачі від курей [7]. Окрім теплового стресу, висока вологість у приміщенні призводить до інших несприятливих наслідків для здоров'я, оскільки збільшується кількість аміаку, який виділяється курячим послідом [8]. Це призводить до зменшення споживання курми корму та виробництва яєць, а також збільшення рівня смертності, що веде до зниження виробництва та прибутку галузі. Виходячи із цих численних труднощів, з якими стикається птахівницька промисловість, можливість створити відповідну сталу систему охолодження для пташників у регіоні Катару є гострою потребою.

Сучасні системи охолодження припливного повітря в пташниках [9, 10] базуються на використанні розпилювальних або випарних систем. В основі обох систем лежить принцип адіабатного охолодження [11], коли вода переходить із рідкого стану в газоподібний унаслідок вільного випаровування, що дозволяє знижувати температуру зовнішнього нагрітого повітря в птахівничих приміщеннях.

У розпилювальних пристроях типу форсунок або дискових розпилювачів утворюється аерозоль або спрей, що містить краплі води малого діаметра [12]. Форсунки бувають двох типів, а саме: низького і високого тиску води. За застосування для охолодження повітря форсунокового методу передбачається

наявність спеціальної системи водопідготовки – очищення, фільтрування й т. п., оскільки високий вміст солей швидко виводить із ладу роботу форсунок. Крім того, експлуатація таких систем вимагає великих витрат електричної енергії.

Недоліками касетного методу є високий аеродинамічний опір і велика вартість установки. До недоліків указанного методу можна віднести також засмічування касетних каналів пилом у процесі експлуатації. Слід зазначити, що на засміченій поверхні касети утворюється цвіль, яка вносить у припливне повітря компоненти, що за високої вологості повітря сприяє збудженню в птиці різних хворіб. У разі невчасного очищення касет на їхній поверхні можуть вирости водорості. Указані чинники спонукають до частої заміни касет уже на першому році експлуатації. Максимальний строк роботи касет не перевищує 10 років і залежить від якості води, профілактичних робіт та режиму експлуатації. Ефективність касетного охолодження великою мірою залежить також від герметичності пташника.

2.2. Різновид системи охолодження

Система випарного охолодження

Принцип роботи даної панелі випарного охолодження системи простий, він ґрунтується на адіабатичному методі - природному охолодженні приміщення шляхом випаровування вологи. Вода зверху стікає на охолоджувальні панелі, через отвори яких проходить сухе тепле повітря. Завдяки цьому він зволожується, а температура його знижується. Потім остигла повітряна маса надходить у приміщення.

Установка випарного охолодження проводиться швидко. У проріз стіни пташника панелі, що складаються з целюлозно-паперової основи, встановлюються в ряд, потім міцно між собою фіксуються. Для циркуляції води бажано підключитися до водопроводу, щоб метод випарного охолодження створити її безперервне надходження.



Рис. 2.1. Випарне охолодження повітря в пташнику

Встановлюється невеликий насос, що подає воду трубами вгору, для змочування гофро касет. Частина води випаровується, а решта стікає вниз, накопичуючись у спеціальному жолобі. Далі через рециркуляційну систему завдяки насосній станції вода надходить назад для повторного використання.

Характеристика панелі випарного охолодження:

- має легку вагу;
- відрізняється міцністю;
- не деформується, не гниє, оскільки просочена спеціальними полімерами;
- гофрована комірчаста структура дає можливість безперешкодного проходження повітря;
- целюозна основа пориста, має високу поглинання, добре намокає.

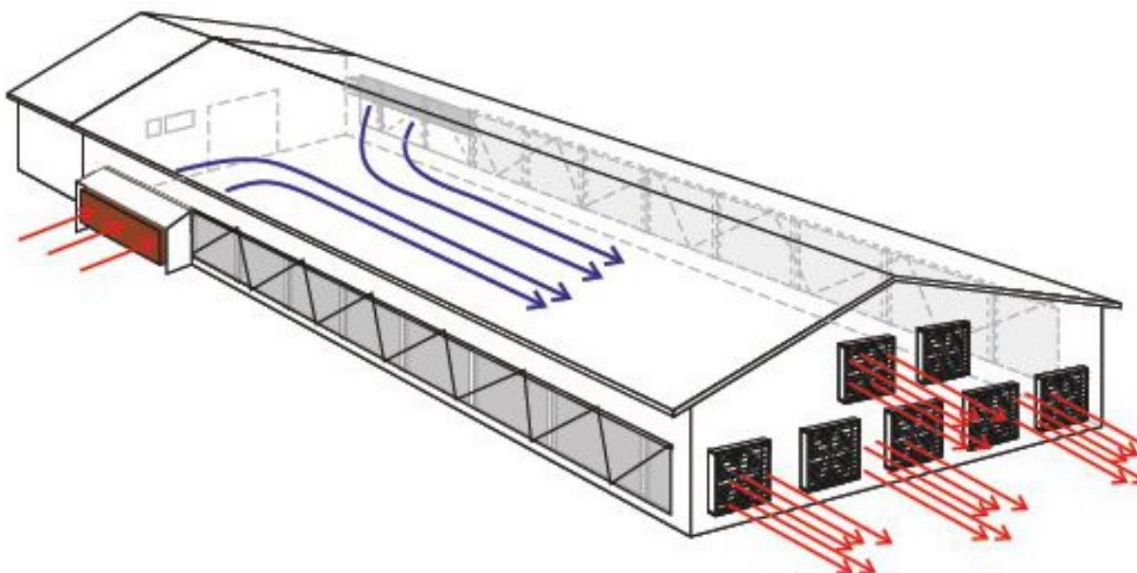


Рис. 2.2. Систем вентиляція пташника випарного охолодження та вентиляції

У південних регіонах використання цих установок є необхідною умовою для утримання птахів. Спекотний посушливий клімат перешкоджає нормальному змісту поголів'я, отже така система має працювати безперервно. Постійне випаровування води призводить до надмірного підвищення відносної вологості. Тому разом із цією технологією зволоження повітря передбачається вентиляція приміщень.

Застосовуючи метод випарного охолодження, варто пам'ятати:

- зниження температури пташника спричиняє підвищення вологості;
- ефективність зменшення температури приміщення знижується у разі підвищення вологості;
- воді, що міститься у зволоженому повітрі, складніше випаруватися;
- відповідно і якість його остигання знижується.

У разі зменшення тепла на 1°C рівень вологості піднімається на 3%, що може негативно позначитися на тепловіддачі птиці. При показнику 75-80% вона не може і в курей починається перегрів організму.

Налагодження вентиляції приведе до норми показники вологості в курнику, а також прискорить охолодження приміщення. Найчастіше

застосовується тунельна вентиляція. Вона зветься конвекційною, оскільки посилює охолодження повітряних мас.

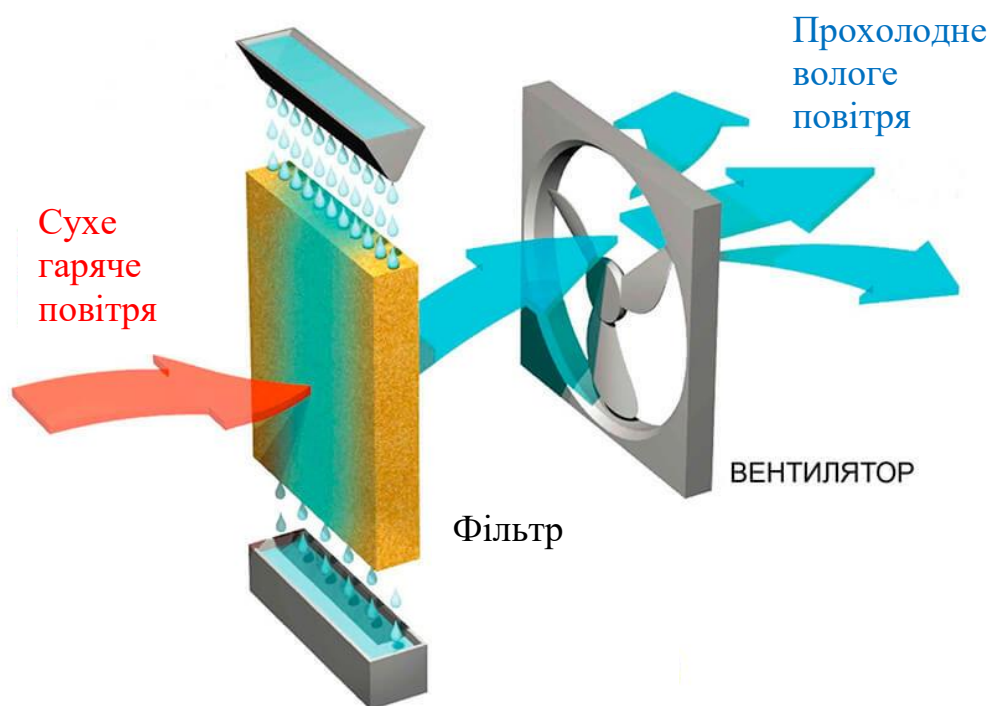


Рис. 2.3. Схема випарного охолодження

Спільна установка та охолодження випарного типу спалюючої та конвекційної систем дасть можливість знизити температуру в приміщенні на 35%. Наприклад, зовні пташника вона становить 34°C, а відносна вологість повітря вбирається у 50%, у разі він пройшовши через випарну панель зменшиться приблизно 7°C. Конвекційна система всередині приміщення ще знизить цей показник на 4 ° С, таким чином кінцевий показник становитиме 22 ° С, що є відмінним результатом.

Установка ідеально працює за умови правильного підбору продуктивності вентиляторів, площі панелей, а також максимальної герметизації приміщення, що виключає засос повітря через щілини і тріщини в стінах і покрівлі, в обхід касет.

Часто зустрічається помилка - недостатня площа змонтованих гофро касет, в результаті може знизитися робоча продуктивність вентиляторів і збільшиться

швидкість проходження повітряного потоку. Це істотно знизить ефект охолодження, оскільки чим нижча швидкість повітря, тим якісніше його охолодження. Важливо досягти бажаного ефекту при мінімальній площі випаровування та статистичному тиску не вище 25 Па.

Система туманоутворення

Впоратися з літньою спекою - ключове завдання для птахоферм. Всі види птахів, незалежно від віку, схильні до негативного впливу теплового стресу, але вікові птахи наражаються на більший ризик. З віком збільшується розмір птиці та кількість оперення. Через це птиці стає важче виводити тепло з організму.

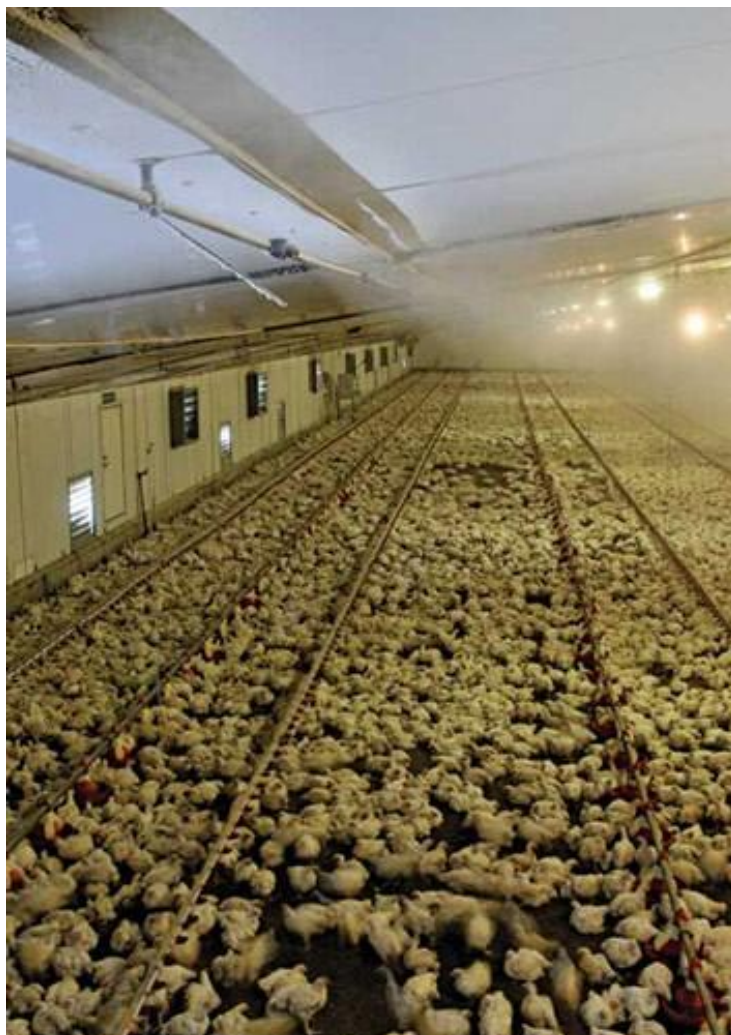


Рис. 2.4. Туманоутворення для пташників

Туманоутворення для птахофабрик спеціально розроблене для контролю температури в інкубаторах у літню спеку.

Найбільш явним проявом того, що птах відчуває тепловий стрес, є прискорене дихання. Птах не має потових залоз, тому для охолодження тіла їм доводиться виводити тепло з організму за допомогою глотки та дихальної системи. Почастішання дихання призводить до підвищеного споживання енергії, що, у свою чергу, призводить до суттєвого підвищення температури тіла птиці.

У гіршому випадку, якщо птах продовжує зазнавати теплового стресу, температура тіла продовжує зростати, підвищуючи відсоток смертності. На щастя, є низка заходів, здатних допомогти птиці впоратися з тепловим стресом.

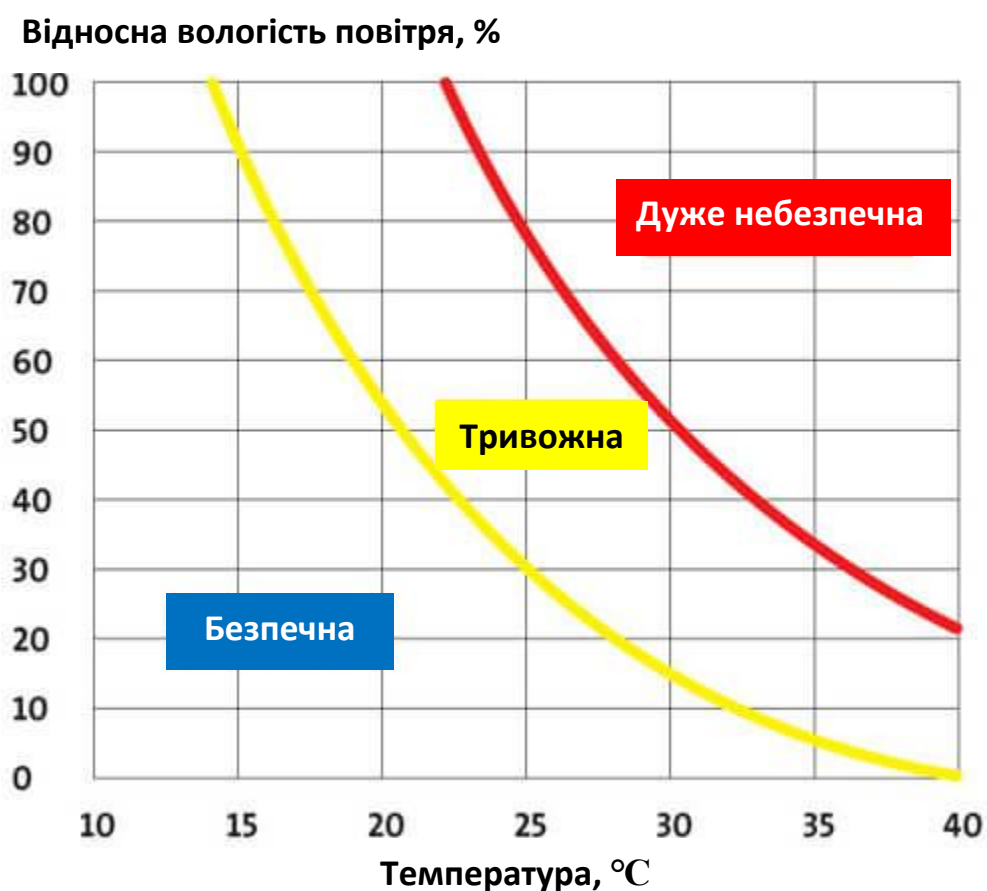


Рис. 2.5. Вплив вологості та температури на птицю

Птах може регулювати температуру тіла, виводячи тепло з організму такими способами:

Але здатність до терморегуляції погіршується, якщо птахи знаходяться близько один до одного. Такі умови знижують їхню здатність до виведення тепла

з організму за допомогою випромінювання, конвекції та теплопровідності. До того ж, здатність виводити тепло за допомогою випаровування зменшується за високої вологості. У таких умовах температура тіла птиці зростає і вона страждає від теплового стресу, зневоднення та виснаження. Це ставить під загрозу їхній стан і може призвести до погіршення якості м'яса з таких причин:

Втома та виснаження енергетичних запасів, включаючи зниження рівня глікогену в печінці та м'язах

У гіршому випадку, при підвищенні температури тіла на 4°C і більше, птах помре. Для зниження впливу теплового стресу птаха слід помістити в добре вентиляване приміщення. Крім цього, використання системи туманоутворення у вентиляваному приміщенні сприятиме самостійній терморегуляції птиці.

Щоб зрозуміти як влаштована, і як працює система туманоутворення, потрібно розглянути з чого вона складається. Однієї конкретної схеми системи туманоутворення — не існує, оскільки область застосування цих систем досить різноманітна, від зниження температури та очищення повітря до підтримки вологості або зниження запиленості. Все залежить від поставлених цілей та завдань для їх вирішення. Нижче на схемі переведені типові комплектуючі систем туманоутворення для зниження температури та очищення повітря на літніх майданчиках ресторанів чи кафе. Іншими словами – система зволоження для терас.

Основні комплектуючі систем туманоутворення:

- Насос, здатний видавати від 25 до 75 Амт (насос високого тиску);
- Система шлангів високого тиску (100 бар);
- Дрібнодисперсні форсунки (від 0,15 до 1);
- фітинги;
- Фільтри для води на водопроводі, що подає;
- Вентилятор розвіює туман, дозволяє відключати частину системи;
- Блок керування системою туманоутворення;
- Кульові крани високого тиску;
- Дренажний клапан - запобігає застою води;

- Кріпильні хомути та ін. комплектуючі згідно проекту.

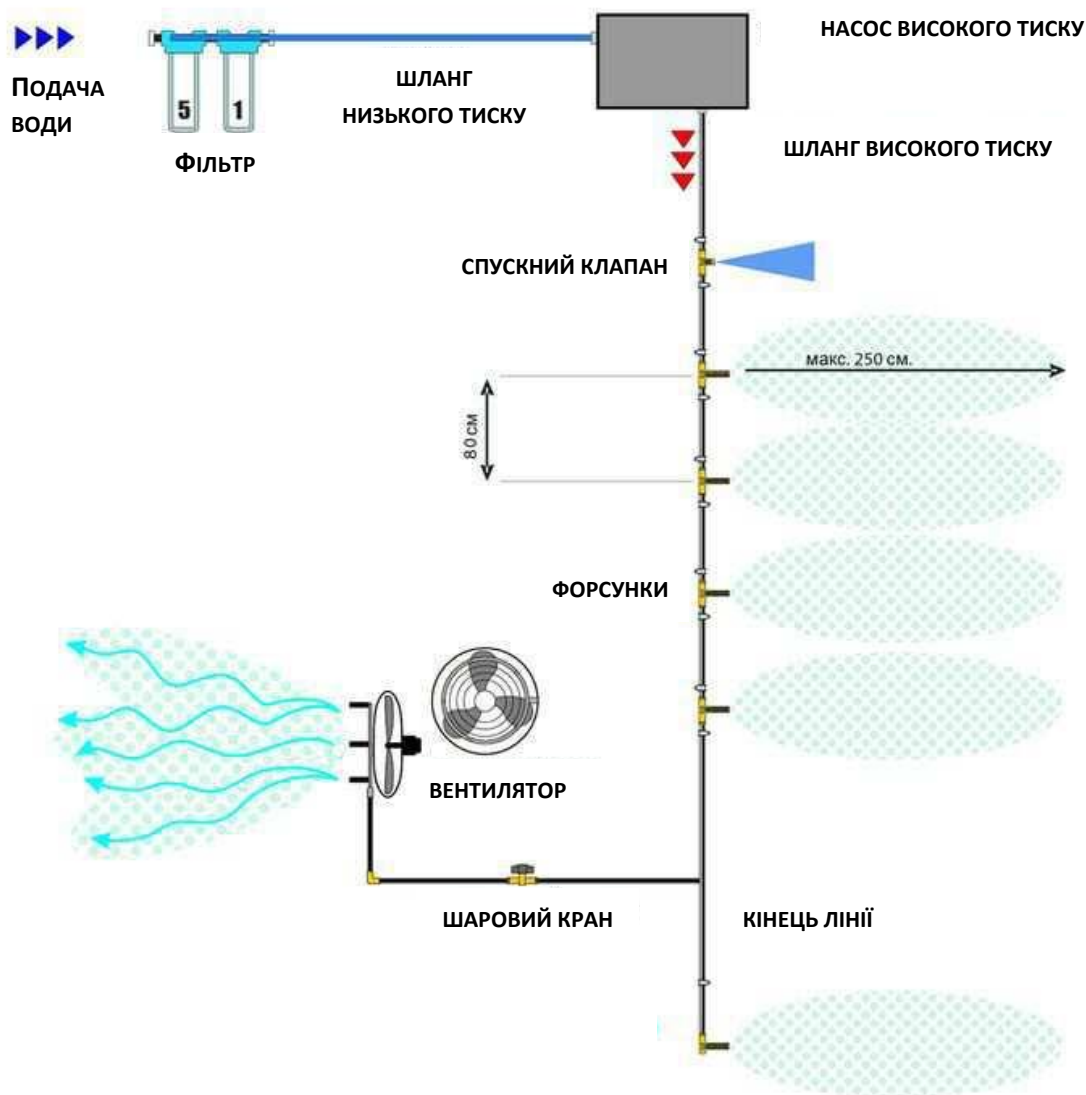


Рис. 2.6. Схема системи туманоутворення

Даний варіант системи туманоутворення (див. схему "Система туманоутворення") широко поширена на літніх майданчиках ресторанів. Основним завданням даної системи є зниження температури всередині тераси (літнього майданчика), а також чищення повітря від пилу та вихлопних газів.

Система туманоутворення ідеально підходить для охолодження невеликих альтанок та веранд, а у поєднанні з вентиляторами може покривати великі площі терас (критих літніх майданчиків). Радіус охолодження приміщення

вентилятором становить 6-7 метрів. Що дозволяє охолоджену повітря проникати углиб майданчика та сприяє примусовій вентиляції самої тераси.

Розглянемо комплектуючі систем туманоутворення докладніше:

1. Насос високого тиску - або плунжерний насос. Насоси даного типу дозволяють отримувати високий тиск на вихідні, при малих обсягах рідини, що перекачується.
2. Форсунки - при виробництві форсунок застосовуються лазерні технології, що дозволяє зробити такі малі отвори для розпилення води. На виході ми маємо дрібнодисперсну краплю, іншими словами туман.
3. Фітинги дозволяє з'єднувати трубопровід і встановлювати на нього форсунки. Витримують тиск самої системи до 120 бар.
4. Блок управління - це може бути як звичайний таймер, так і контролер вологості або контролер температури.

2.2. Розрахунок системи охолодження в теплий період року

Тепловий потік вільної теплоти птиці, Вт:

$$\Phi_{\text{пт}} = \frac{q_{\text{пт}} \cdot n \cdot m \cdot k_t \cdot 1000}{3600} \quad (2.1)$$

$$\Phi_{\text{пт}} = \frac{32.6 \cdot 50000 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 1000}{3600} = 1630000 \text{ (Вт)}$$

$q_{\text{пт}}$ – тепловий потік вільної теплоти [13], $q_{\text{пт}} = 32.6$ кДж/год;

Таблиця 2.1

Теплофізичні характеристики конструкційних матеріалів

Матеріал	Бетон	Пінополістирол	Бетон	Сталь	Асбестоцементні листи	Повітряний прошарок	Гідроізоляція	Повітряний прошарок	Утеплювач IZOVAT	Пароізоляція	Бетон
δ	0.06	0.1	0.06	0.003	0.04	0.06	0.00017	0.03	0.1	0.00015	0.25
λ	1.51	0.04	1.51	51	0.35	0.0259	0.35	0.0259	0.043	0.35	1.51

Опір теплопередачі стіни:

$$R_{\text{ст}} = R_{\text{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_3 \quad (2.2)$$

$$R_{\text{ст}} = 0.115 + \frac{0.06}{1.51} + \frac{0.1}{0.04} + \frac{0.06}{1.51} + 0.043 = 2.737$$

R_0 – опір теплопередачі (зовнішні стіни, стеля, підлога), $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{в}}$ – значення опору теплопередачі внутрішніх поверхонь стін [14], $R_{\text{в}} = 0.115$;

R_3 - значення опору теплопередачі зовнішніх поверхонь стін, $R_3 = 0.043$;

$\lambda_{\text{ст}}$ – опір матеріалів та конструкцій [15], $\text{Вт}/\text{м С}$;

$\delta_{\text{ст}}$ – товщина матеріалу, м.

Опір теплопередачі воріт:

$$R_{\text{воріт}} = 0.115 + \frac{0.003}{51} + 0.043 = 0.158$$

$$R_{\text{пер}} = R_{\text{в}} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7} + \frac{\delta_8}{\lambda_8} + \frac{\delta_9}{\lambda_9} + \frac{\delta_{10}}{\lambda_{10}} + \frac{\delta_{11}}{\lambda_{11}} + R_3 \quad (2.3)$$

$$R_{\text{пер}} = 0.115 + \frac{0.04}{0.35} + \frac{0.06}{0.0259} + \frac{0.00017}{0.35} + \frac{0.03}{0.0259} + \frac{0.1}{0.043} + \frac{0.00015}{0.35} + \frac{0.25}{1.51} + 0.043 = 6.239$$

В залежності від форми конструкції пташника, ставимо значення 0 або 1: 0 – форма прямокутного паралелепіпеда, 1 – традиційна форма.

Площа поверхні перекриття, м²:

$$f_{\text{пер}} = if \left(-0.9 < \text{Тип} < 0.9, M_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}}, \sqrt{\frac{M_{\text{п}}}{2} + h_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}} \cdot 2} \right) \quad (2.4)$$

$$f_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{21}{2} + 2.72 \cdot 120 \cdot 2} = 872.624, \text{ м}^2$$

$M_{\text{п}}$ - ширина приміщення, $M_{\text{п}} = 21\text{м}$;

$L_{\text{п}}$ - довжина приміщення, $L_{\text{п}} = 120\text{м}$;

$h_{\text{п}}$ – висота перекриття приміщення, $h_{\text{п}} = 2.72\text{м}$.

Площа поверхні передньої торцевої стінки, м²:

$$f_{\text{п.ст.}} = if \left(-0.9 < \text{Тип} < 0.9, M_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}} - f_{\text{вор}}, M_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}} + \frac{M_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{2} - f_{\text{вор}} \right) \quad (2.5)$$

$$f_{\text{п.ст.}} = 21 \cdot 2.6 + \frac{21 \cdot 2.72}{2} - 14.4 = 68.8, \text{ м}^2$$

$f_{\text{вор}}$ – площа поверхні воріт, $f_{\text{вор}} = y_3 \cdot z_3 = 14.4\text{м}^2$;

$H_{\text{п}}$ – висота приміщення, м; $H_{\text{п}} = 2.6\text{м}$.

Площа поверхні задньої торцевої стінки, м²:

$$f_{3.ст.} = if \left(-0.9 < Тип < 0.9, M_{п.} \cdot H_{п.} - f_{б.б.}, M_{п.} \cdot H_{п.} + \frac{M_{п.} \cdot h_{п.}}{2} - f_{б.б.} \right) \quad (2.6)$$

$$f_{3.ст.} = 21 \cdot 2.6 + \frac{21 \cdot 2.72}{2} - 38.25 = 44.9, \text{ м}^2$$

$f_{б.б.}$ – площа поверхні витяжної вентиляції, $f_{б.б.} = y_2 \cdot z_2 \cdot n_{б.б.} = 38.25 \text{ м}^2$.

Площа поверхні бокової стінки, м^2 :

$$f_{б.ст.} = H_{п.} \cdot L_{п.} \cdot 2 - f_{п.б.} = 2.6 \cdot 120 \cdot 2 - 14.08 = 609.92, \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

$f_{п.б.}$ – площа поверхні притяжної вентиляції, $f_{п.б.} = x_1 \cdot z_1 \cdot n_{п.б.} = 14.08 \text{ м}^2$.

Основні втрати теплоти через окремі зовнішні огорожі, Вт:

$$\Phi_{0.3.0.}^1 = \left(\frac{f_{в.оп}}{R_{в.оп.т}} \right) \cdot (t_{з.п.} - t_{в.н.}) + \left[\frac{f_{п.б.} + f_{б.б.}}{R_{0.п.б.}} \right] \cdot (t_{з.п.} - t_{в.н.}) \quad (2.8)$$

$$\Phi_{0.3.0.}^1 = \left(\frac{14.4}{0.158} \right) \cdot (40 - 17) + \left[\frac{14.08 + 38.25}{0.75} \right] \cdot (40 - 17) = 3700,2 \text{ (Вт)}$$

$t_{в.н.}$ – температура повітря в приміщенні, $t_{в.н.} = +17^\circ\text{C}$;

$t_{з.п.}$ – температура зовнішнього повітря, $t_{з.п.} = +40^\circ\text{C}$;

Опір теплопередачі притяжної вентиляції, $R_{0.п.б.} = 0.75 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$.

$$\Phi_{0.3.0.}^2 = \left[\frac{f_{п.ст.} + f_{3.ст.} + f_{б.ст.}}{R_{ст.}} \right] \cdot (t_{з.п.} - t_{в.н.}) \quad (2.9)$$

$$\Phi_{0.3.0.}^2 = \left[\frac{68.8 + 44.9 + 609.92}{2.737} \right] \cdot (40 - 17) = 6079,5 \text{ (Вт)}$$

Основні втрати теплоти через поверхню перекриття, Вт:

$$\Phi_{\text{пер}} = \left(\frac{f_{\text{пер}}}{R_{\text{пер}}} \right) \cdot (t_{\text{з.п}} - t_{\text{вн}}) \quad (2.10)$$

$$\Phi_{\text{пер}} = \left(\frac{872.624}{6.239} \right) \cdot (40 - 17) = 3216,8 \text{ (Вт)}$$

Додаткові тепловтрати, які складають 10% від тепловтрат окремих зовнішніх огорож, Вт:

$$\Phi_{\text{дод}} = (\Phi_{\text{о.з.о.}}^1 + \Phi_{\text{о.з.о.}}^2) \cdot 0.1; \quad (2.11)$$

$$\Phi_{\text{дод}} = (3700,2 + 6079,5) \cdot 0.1 = 978 \text{ (Вт)};$$

$R_{\text{у.п.}}$ - опір теплопередачі утеплених підлоги [14]. Опір теплопередачі $R_{\text{у.п.}}$ для першої зони складає 2,15, для другої – 4,46, для третьої – 8,6, для інших зон складає 14,2 м²·°C/Вт.

$$R_{\text{у.п.}}^1 = 2.15; \quad R_{\text{у.п.}}^2 = 4.46; \quad R_{\text{у.п.}}^3 = 8.6; \quad R_{\text{у.п.}}^4 = 14.2.$$

Площа однієї зони утепленої підлоги, м²:

$$\Phi_{\text{уп}} = \left(\frac{f_{\text{у.п.}}}{R_{\text{у.п.}}^1} + \frac{f_{\text{у.п.}}}{R_{\text{у.п.}}^2} + \frac{f_{\text{у.п.}}}{R_{\text{у.п.}}^3} + \frac{f_{\text{у.п.}}}{R_{\text{у.п.}}^4} \right) \cdot (t_{\text{з.п}} - t_{\text{вн}}) \quad (2.12)$$

$$\Phi_{\text{уп}} = \left(\frac{630}{2.15} + \frac{630}{4.46} + \frac{630}{8.6} + \frac{630}{14.2} \right) \cdot (40 - 17) = 12693,7 \text{ (м}^2\text{)}$$

Площа поверхні утепленої підлоги, м²:

$$f_{\text{у.п.}} = \frac{M_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}}}{4} \quad (2.13)$$

$$f_{y.п.} = \frac{21 \cdot 120}{4} = 630$$

Тепловтрати на нагрів інфільтруючого повітря. Вони приймаються рівними 30% загальним тепловтратам через всі огорожі, Вт:

$$\Phi_{\text{інф}} = \Phi_{\text{о.з.о.}}^2 \cdot 0.3 = 6079,5 \cdot 0.3 = 1823,9 \text{ (Вт)}; \quad (2.14)$$

Загальні тепловтрати через всі огорожі, Вт:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{огр}} &= \Phi_{\text{інф}} + \Phi_{\text{уп}} + \Phi_{\text{дод}} + \Phi_{\text{пер}} + \Phi_{\text{о.з.о.}}^1 + \Phi_{\text{о.з.о.}}^2; \quad (2.15) \\ \Phi_{\text{огр}} &= 1823,9 + 12693,7 + 978 + 3216,8 + 3700,2 + 6079,5 = 28492,1 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Розраховуємо сумарні тепловиділення, які надходять в пташник, Вт:

$$\Phi_{\text{сум}} = \Phi_{\text{огр}} + \Phi_{\text{пт}}; \quad (2.16)$$

$$\Phi_{\text{сум}} = 28492,1 + 1630000 = 165842,1 \text{ (Вт)}$$

Для охолодження пташника в теплий період року необхідно 165842,1 Вт холодильних установок.

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКІВ

3.1. Огляд систем вентиляції пташників

Повітрообмін в курнику є важливим фактором, що визначає створення заданих параметрів повітря в приміщенні і виведення шкідливих речовин. Розрахунок повітрообміну залежить від пори року: холодної і спекотної пори року.

У холодну пору року повітрообмін у пташниках розраховують з урахуванням допустимої концентрації вологості та контролю концентрації вуглекислого газу. Мета – створити ідеальні умови для птахів, запобігти переохолодженню чи перегріву, усунути пари аміаку та інші шкідливі речовини, які можуть накопичуватися в повітрі.

У спекотну і перехідну пору року повітрообмін розраховують за надлишком тепла, контролюючи кількість водяної пари в повітрі. Метою є створення комфортних умов для тварин та регулювання температури та вологості для підтримки оптимальної продуктивності [16, 17].

Створення необхідного мікроклімату в пташниках залежить від повітрообміну, конструкції будівлі, освітлення, ефективності систем вентиляції, типу годівлі, щільності розміщення птиці та інших факторів [18].

Для вирощування птиці в курнику повинна бути ефективна система вентиляції, яка покращує зовнішні умови. Система вентиляції складається з комплексу електрообладнання і забезпечує параметри повітря, необхідні для оптимального росту і здоров'я тварин. Існує два види вентиляції: природна і механічна. Важливим аспектом птахівництва є забезпечення ефективного мікроклімату.

У повітряних судах із природною вентиляцією повітрообмін здійснюється шляхом введення свіжого повітря через регульовані забірні завіси та видалення затхлого повітря через вікна, розташовані у верхній частині приміщення. Проте

природна вентиляція не може забезпечити ефективний контроль параметрів навколишнього повітря в пташнику. Це залежить від зовнішніх умов і може бути неефективним в екстремальних погодних умовах, таких як спека. У цих випадках природна вентиляція не може гарантувати необхідний повітрообмін і підтримувати ідеальну температуру в курнику.

Механічна вентиляція в пташниках характеризується високою продуктивністю і економічною рентабельністю. Залежно від організації притоку повітря і розташування вентиляційного обладнання вентиляція пташника буває вертикальною, поперечною, поздовжньою або тунельною. Повітрообмін з вертикальною вентиляцією здійснюється за допомогою вентиляційних веж, розміщених на даху курника. Повітря надходить через регульовані клапани з обох сторін будівлі.

Бокова система вентиляції

Горизонтальна і поздовжня вентиляція в курятниках використовуються спільно з вертикальною вентиляцією і будуються за схожими принципами. У цих системах використовуються вентиляційні отвори, розташовані в бічних стінках курника, і через них витягується повітря. Ці методи дозволяють забезпечити ефективний повітрообмін і контролювати параметри повітряного середовища в пташнику.

У поперечних і поздовжніх вентиляційних системах пташників вентилятори розташовують з одного боку будівлі, а свіже повітря надходить з протилежного боку через регульовані клапани, керовані серводвигунами. Залежно від конфігурації літака вентилятори можуть бути згруповані або рівномірно розподілені по стінках. контролювати подачу повітря

Доцільно встановлювати електричні пристрої, які періодично вмикають вентилятори або регулюють швидкість їх обертання. При горизонтальному провітрюванні вентилятори розміщують по всьому приміщенню, а при поздовжньому — по всій ширині будівлі. Поздовжня вентиляція ефективна для вентиляторів шириною до 12 метрів, де вентилятори розташовані на передній стінці, а регульовані клапани на бічних стінках.

Важливим елементом для забезпечення ідеальних умов у приміщенні для тварин є система вентиляції з боку тварин. До основних особливостей і призначення бічної системи вентиляції в курнику відносяться:

1. Подача свіжого повітря: бічні вентиляційні отвори або клапани курника забезпечують свіже повітря ззовні. Це необхідно для забезпечення достатнього рівня кисню в приміщенні і видалення повітря.

2. Контроль температури: бічна система вентиляції допомагає підтримувати ідеальну температуру в курнику, особливо у разі високих температур. Це дозволяє регулювати вхідний повітряний потік, щоб забезпечити комфортну температуру для ваших тварин.

3. Контроль вологості: бічна система вентиляції допомагає контролювати рівень вологості в курнику. Є вологість і

4. Регулювання вологості: бічна система вентиляції допомагає регулювати вологість усередині будинку. Може видалити надлишок вологи з дихання птахів та інших джерел, запобігаючи утворенню конденсату та розвитку цвілі.

5. Видаляє запах і бруд: бічна система вентиляції допомагає видалити неприємний запах, дим або бруд із пташника. Забезпечує прохолодне та безпечне середовище для птахів і персоналу.

6. Забезпечте рівномірний розподіл повітря: бічна система вентиляції розподіляє повітря по всьому будинку, тим самим забезпечуючи рівномірну вентиляцію та запобігаючи засміченню.

Система тунельної вентиляції

Тунельна вентиляція – система вентиляції, структура якої схожа на поздовжню вентиляцію, але з певними відмінностями. Найбільша різниця полягає в способі доставки повітря. У тунельній вентиляції повітря направляється до вентилятора через повітрозабірні решітки, розташовані на протилежних сторонах будівлі. Це створює так званий «тунельний ефект», коли швидкість повітряного потоку в приміщенні досягає 2 м/с.

Тунельний ефект забезпечує ефективне охолодження повітря при високих зовнішніх температурах від +6 до +7 °С. Цей ефективний потік повітря

забезпечує швидку циркуляцію повітря та допомагає видалити тепло з навколишнього середовища.

Для належного функціонування тунельної вентиляції всі інші вхідні отвори повинні бути закриті, щоб запобігти змішуванню повітря з навколишнім середовищем. Таким чином ви можете підтримувати потужний потік повітря та забезпечити ефективне охолодження.

Тунельна вентиляція створює комфортні умови для птахів у жарку погоду та використовує охолоджуючий ефект сильних повітряних потоків. Це усуває надлишок тепла та підтримує ідеальні параметри повітря щодо вологості та концентрації шкідливих газів у пташнику.

Системи тунельної вентиляції створюють ефект охолодження, прокачуючи повітря по всьому будинку, як в аеродинамічній трубі. Швидкість повітряного потоку в системі не перевищує 2,54 м/с. Завдяки такому швидкому потоку повітря вентиляційна система може знизити температуру поверхні, де знаходяться птахи, на 5,5-7°C.

Аналіз існуючих систем вентиляції підтверджує перевагу тунельної вентиляції над іншими системами. Його можна вибрати як базовий компонент при розробці нових і вдосконалених електрокомплексів, необхідних для забезпечення ідеального мікроклімату в пташниках.

Тунельна вентиляція використовується влітку, коли зовнішня температура вище 26 °C. У таких умовах необхідно випаровувати надлишок тепла та відходи, які виробляють птахи. Завдяки тунельному ефекту температура повітря значно знижується і досягає 6-7 °C.

3.2. Розрахунок повітрообміну птахоферми у теплий період року

Годинний об'єм припливного повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), необхідного для пониження концентрації CO_2 , визначають за формулою [19]:

$$Q_{CO_2} = \frac{c \cdot n \cdot m \cdot k_t}{c_1 - c_2} \quad (3.1)$$

$$Q_{CO_2} = \frac{1.44 \cdot 50000 \cdot 3 \cdot 1.2}{1.8 - 0.3} = 172800, (\text{м}^3/\text{год})$$

k_t – коефіцієнт, що враховує зміну кількості вуглекислого газу, водяної пари та теплоти яка виділяється птицею від температури повітря в приміщенні [13], $k_t = 1.2$.

Годинний об'єм витяжного повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), необхідного для видалення пари [20]:

$$Q_w = \frac{W}{(d_B - d_3) \cdot \rho} \quad (3.2)$$

$$Q_w = \frac{1165417}{(9.1 - 27.9) \cdot 1.777} = 52646, (\text{м}^3/\text{год})$$

де, d_B , d_H – вологовміст внутрішнього і зовнішнього припливного повітря, за допустимої відносної вологості для птиці, який визначається за допомогою H-d діаграми [14]: $d_B = 9.1$; $d_3 = 27.9$.

Розрахунок густини повітря при температурі приміщення за формулою, ($\text{кг}/\text{м}^3$):

$$\rho = \frac{346 \cdot p}{273 + t_{BH} \cdot 99.3} \quad (3.3)$$

$$\rho = \frac{346 \cdot 98}{(273 + 17) \cdot 99.3} = 1.177, (\text{кг}/\text{м}^3)$$

Визначення сумарного волого виділення в пташнику за формулою ($\text{г}/\text{год}$):

$$W = W_{\text{пт}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{пос}}; \quad (3.4)$$

$$W = 675000 + 67500 + 422917 = 1165417, (\text{г/год})$$

Виділення вологи з птиці:

$$W_{\text{пт}} = n \cdot m \cdot w \cdot k_t \quad (3.5)$$

$$W_{\text{пт}} = 50000 \cdot 3 \cdot 3.75 \cdot 1.2 = 675000, (\text{г/год})$$

Волога з мокрих поверхонь приміщення (г/год):

$$W_{\text{вип}} = 0.1 \cdot W_{\text{пт}} \quad (3.6)$$

$$W_{\text{вип}} = 0.1 \cdot 675000 = 67500, (\text{г/год})$$

Волога, яка виділяється з посліду (г/год):

$$W_{\text{пос}} = \frac{n \cdot P_{\text{пос}} \cdot Z}{24} \quad (3.7)$$

$$W_{\text{пос}} = \frac{50000 \cdot 290 \cdot 0.7}{24} = 422917, (\text{г/год})$$

Годинний об'єм витяжного повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), необхідного для видалення надлишкової теплоти [20]:

$$Q_T = \frac{3.6 \cdot (\Phi_{\text{пт}} + \Phi_{\text{ог}}) \cdot (1 + a \cdot t_{\text{вн}})}{c_p \cdot \rho \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\text{вн}})} \quad (3.8)$$

$$Q_T = \frac{3.6 \cdot (5868000 + 573804) \cdot (1 + 3.448 \cdot 10^{-3} \cdot 17)}{1.0056 \cdot 1.177 \cdot (40 - 17)} = 901451, (\text{м}^3/\text{год})$$

$\Phi_{\text{пт}}$ – тепловий потік вільної теплоти птиці, кДж/год;

$\Phi_{\text{ог}}$ – втрати теплоти через зовнішні огорожі, кДж/год;

a – температурний коефіцієнт розширення повітря, K^{-1} ;

$t_{\text{зов}}$ – температура повітря зовні, $t_{\text{зов}} = +40^\circ\text{C}$;

c_p – питома об'ємна теплоємність повітря при температурі 0°C і нормальному тиску [20], $c_p = 1.0056$ (кДж/(кг·К));

$$a = \frac{1}{273 + t_{\text{вн}}} \quad (3.9)$$

$$a = \frac{1}{273 + 17} = 3.448 \cdot 10^{-3}$$

Об'єм будівлі, м^3 :

В залежності від форми конструкції пташника, ставимо значення 0 або 1. 0 – форма прямокутного паралелепіпеда, 1 – традиційна форма.

$$V_{\text{п}} = if \left\{ -0.9 < \text{Тип} < 0.9, M_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}}, \left(M_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}} + \frac{M_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{2} \right) \cdot L_{\text{п}} \right\} \quad (3.10)$$

$$V_{\text{п}} = \left(M_{\text{п}} \cdot H_{\text{п}} + \frac{M_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}}}{2} \right) \cdot L_{\text{п}} \quad (3.11)$$

$$V_{\text{п}} = \left(21 \cdot 2.6 + \frac{21 \cdot 2.72}{2} \right) \cdot 120 = 9979.2, (\text{м}^3);$$

$L_{\text{п}}$ – довжина приміщення, 120 м;

$M_{\text{п}}$ – ширина приміщення, 21 м;

$H_{\text{п}}$ – висота приміщення, 2.6 м;

$h_{\text{п}}$ – висота перекриття приміщення, 2.72 м.

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{ог}} &= V_{\text{п}} \cdot q_0 \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\text{вн}}); \\ \Phi_{\text{ог}} &= 9979.2 \cdot 2.5 \cdot (40 - 17) = 573804, \text{ (кДж/год)};\end{aligned}\quad (3.12)$$

q_0 – теплова характеристика приміщення [21], кДж/м³·°С·год. Для утеплених тваринницьких приміщень $q_0=2,1-2,9$, для не утеплених $q_0=2,9-5,1$.

$q_0 = 2.5$, (кДж/м³·°С·год)

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{пт}} &= q_{\text{пт}} \cdot n \cdot m \cdot k_t; \\ \Phi_{\text{пт}} &= 32.6 \cdot 50000 \cdot 3 \cdot 1.2 = 5868000, \text{ (кДж/год)};\end{aligned}\quad (3.13)$$

$q_{\text{пт}}$ – тепловий потік вільної теплоти, кДж/год [13]; $q_{\text{пт}} = 32.6$

Необхідний повітрообмін пташника з урахуванням теплообмінного обладнання, м³/год:

$$Q_{\text{ТА}} = \frac{1,15 \cdot \Phi_{\text{сум}}}{0,278 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{\text{з.п.}} - t_{\text{ТА}})} \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{ТА}} = \frac{1,15 \cdot 165842,1}{0,278 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (40 - 20)} = 289705 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right)$$

де $t_{\text{ТА}}$ – температура повітря на виході з теплообмінного апарата, $t_{\text{ТА}} = +20$ °С.

Кількість вентиляторів знаходять з умови, що продуктивність одного вентилятора типу ВО-12,5, м³/ год.

$$n_{\text{вент}} = \frac{Q_{\text{в}}}{L_{\text{вент}}} \quad (3.15)$$

$$n_{\text{вент}} = \frac{289705}{40000} = 7,24 \text{ (шт)}$$

$$L_{\text{вент}} = 40000.$$

Приймаємо кількість вентиляторів $n_{\text{вент}} = 8$ шт.

Коефіцієнт запасу вентиляційного обладнання, %:

$$K_{\text{зап}} = \left(\frac{n_{\text{вент}} \cdot L_{\text{вент}} - Q_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}} \right) \cdot 100 \quad (3.16)$$

$$K_{\text{зап}} = \left(\frac{8 \cdot 40000 - 289705}{289705} \right) \cdot 100 = 10,46\%$$

Кратність повітрообміну K_0 , визначається за виразом:

$$K_0 = \frac{Q_{\text{в}}}{V_{\text{п}}} \quad (3.17)$$

$$K_0 = \frac{289705}{9979.2} = 29,03$$

Мінімальна кратність повітрообміну $K_{0\text{мін}}$, визначається за виразом:

$$K_{0\text{мін}} = \frac{L_{\text{мін}} \cdot n \cdot m}{V_{\text{п}}} \quad (3.18)$$

$$K_{0\text{мін}} = \frac{1,9 \cdot 50000 \cdot 3}{9979.2} = 28,56$$

де, $L_{\text{мін}}$ – мінімальний допустимий обмін повітря на 1 кг² [13], $L_{\text{мін}} = 1,9$.

$$K_0 > K_{0\text{мін}}$$

$$29,03 > 28,56$$

Умова виконується.

Для охолодження внутрішнього середовища пташника з використанням теплообмінного обладнання необхідно забезпечити повітрообмін в кількості 289705 м³/год. Температура на виході із теплообмінників повинна складати +20 °С.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПТАШНИКІВ

4.1. Класифікація та види теплообмінного обладнання

Теплообмінні пристрої - це пристрої, в яких процеси теплообміну відбуваються між двома теплоносіями. Теплообмінні пристрої класифікують за такими основними характеристиками.

За способом теплопередачі (виходячи з функціональних особливостей) розрізняють поверхневі і контактні теплообмінники. У поверхневих теплообмінниках холодоагенти розділені стінкою та обмінюються теплом уздовж поверхні теплообміну. Поверхневі теплообмінники бувають двох типів: регенеративні та рекуперативні.

У регенеративних теплообмінниках (ГА) теплообмінна поверхня поперемінно омивається спочатку холодним, а потім гарячим теплоносієм, так що регенеративні теплообмінники працюють циклічно. Спочатку після нагріву до певної температури і накопичення відповідного запасу тепла гарячий теплоносій подається в пристрій, який контактує з розвиненою теплообмінною поверхнею - соплом з високою питомою масою. Через деякий час регульовані клапани автоматично замінюються і в теплообмінник надходить холодний теплоносій, який при контакті з гарячою поверхнею насадки нагріває і одночасно охолоджує поверхню стінок. Далі таким же чином замінюються вентиля і в пристрій подається гарячий теплоносій. Як правило, в регенеративних теплообмінниках теплообмін відбувається між 2 теплообмінними газами. Регенеративні теплообмінники широко використовуються на газорозподільних установках, а також у металургійній промисловості.

При рекуперації ГА холодоагенти одночасно переміщуються до різних сторін поверхні стінки теплообміну та обмінюються теплом через розділову стінку. Ці види теплообмінного обладнання є основним обладнанням, що

використовується в енергетиці, нафто- і газопереробній, хімічній та інших галузях промисловості.

Теплообмін в контактних теплообмінниках відбувається в результаті безпосереднього контакту холодного і гарячого потоків теплоносія. Як правило, теплоносії в контактних теплообмінниках взаємодіють в різних фазових станах (пар - рідина, газ - рідина, газ - тверді частинки і т.д.), процеси теплопередачі можуть відбуватися як в загальному стані, так і без зміни стану. середовище.

Залежно від основних технологічних завдань ТА розрізняють такі теплообмінники: власне теплообмінне обладнання; охолоджувачі; радіатори; холодильні установки та конденсатори; випарник; конденсатори; випарник-конденсатор тощо.

Технологічне позначення кожухотрубних теплообмінників зазвичай відображають у договірних позначеннях, використовуючи наступні літерні індекси: Т – теплообмінник; І – випарник; К – конденсатор; Х — холодильник.

У теплообмінниках обидва процеси, як охолодження, так і нагрівання рідини, важливі, як і технологічний процес.

Основним завданням процесу в опалювальному обладнанні є нагрівання холодної охолоджувальної води до необхідної температури.

У конденсаторах основним завданням процесу є конденсація кількох окремих газів. При цьому відбувається фазовий перехід гарячого теплоносія і в результаті теплообміну утворюється рідина. Його охолоджують на холоді і таким чином нагрівають.

Чиллери в основному призначені для охолодження робочого середовища. У конденсаційних чиллерах часткова або повна конденсація холодоагенту відбувається одночасно з охолодженням.

У випарнику відбувається випаровування робочої рідини (холодного холодоагенту), що є основною задачею процесу, і в результаті передачі тепла від холодного холодоагенту до гарячого холодоагенту, який кипить і випаровується, він перетворюється з рідкого на стану в газоподібний стан.

У випарних конденсаторах по обидва боки поверхні теплообміну холодоагенти змінюють стан, гарячий холодоагент віддає тепло і конденсується, а інший холодний холодоагент з іншого боку поверхні нагрівається і випаровується.

- теплоносій і нагрівач) без зміни загального стану; зміна загального стану одного з теплоносіїв (нагрівач-випарник, радіатор-конденсатор, холодильник-конденсатор тощо); зі зміною сумарного стану обох теплоносіїв (конденсатор-випарник) .

За формою поверхні теплообміну розрізняють: апарати з труб (трубні, кожухотрубні, зміювикові, кручені та ін.); теплообмінники з листового металу (ребристі, спіральні, оребрені та ін.).

За методом компенсації теплового розширення АТ бувають: некомпенсованої структури - суцільні; з компенсацією пружним елементом - напівжорстка конструкція; з компенсацією завдяки вільним розширенням - нежорстка структура.

Залежно від орієнтації поверхні теплообміну розрізняють вертикальні (В), горизонтальні (Г) і похилі ТА.

Наявність конструктивних пристроїв для компенсації теплового розширення відображено в умовних позначеннях типу теплообмінника з такими показниками: ЮУ - випарник з U-подібними трубками;

ТН - Стационарний трубчастий теплообмінник;

теплообмінник з плаваючою головкою ;

ХК - холодильник з термокомпенсатором в корпусі.

Деякі види теплообмінного обладнання мають додаткові класифікаційні ознаки.

У промисловості найбільш поширені кожухотрубні теплообмінники, що складають 70% усіх теплообмінних пристроїв, хоча останнім часом намітилася тенденція до їх часткової заміни пластинчасто-апаратним повітряним охолодженням (ППО) і нитяними теплообмінниками. Загальним використанням кожухотрубних теплообмінників є їх справжнє виробництво на заводах

машинобудування з різних конструкційних матеріалів, їх здатність використовуватися в різних середовищах у широкому діапазоні температур і тисків, їх використання, їх стандартизація та уніфікація, їх великий досвід у виробництві, в їх експлуатації та експлуатаційній надійності.

Кожухотрубний теплообмінник - це складний пристрій, виготовлений з гладких або ребристих труб, зварених або герметично приклеєних до трубних решет, а потім змонтованих у кожухотрубний вузол.

Стандартизовані випускаються машинобудівними заводами площею від 1 до 1500 м² · розраховані на робочий тиск від вакууму до 10 МПа і широкий діапазон температур від -70 до +540 °С, виготовляються з корозійностійкого вуглецю, високої міцності. -леговані та біметалічні (двошарові) сталі, а також кольорові метали та їх сплави.

Залежно від способу компенсації теплового розширення в кожухотрубних пластинах розрізняють теплообмінники: напівтвердої конструкції типу ТК - з температурним компенсатором в корпусі (нерухомий вузол напівтвердих кожухотрубних пластин). плити ТН - з фіксованими трубчастими пластинами (фіксована група, що складається із зовнішнього шару суцільних і трубчастих пластин) з нежорсткою структурою типу ТП - з температурним компенсатором у вигляді плаваючої головки (суцільного тіла, нерухомого вузла) однієї трубної дошки та вільного переміщення іншої); тип ТУ - П-подібне опалення зі змінними трубками (міцне з'єднання трубної дошки і вільний рух П-подібної групи труб).

Горизонтальні кожухотрубні теплообмінники (див. рис. 4.1, а) застосовують для нагрівання або охолодження газів і рідин - теплоносій має низький тиск 0,6-4,0 МПа і не змінює свого загального стану. Теплообмінники являють собою однопрохідні, міжтрубні або багатопрохідні трубчасті теплообмінники з нерухомими трубними решітками діаметром оболонки 1200 мм від 400 до гладкотрубних теплообмінників діаметром 20x2 або 25x2 мм і довжиною 2-10 м, загальною поверхнею теплопередачі 15-960 м²(рис. 4.1, б).

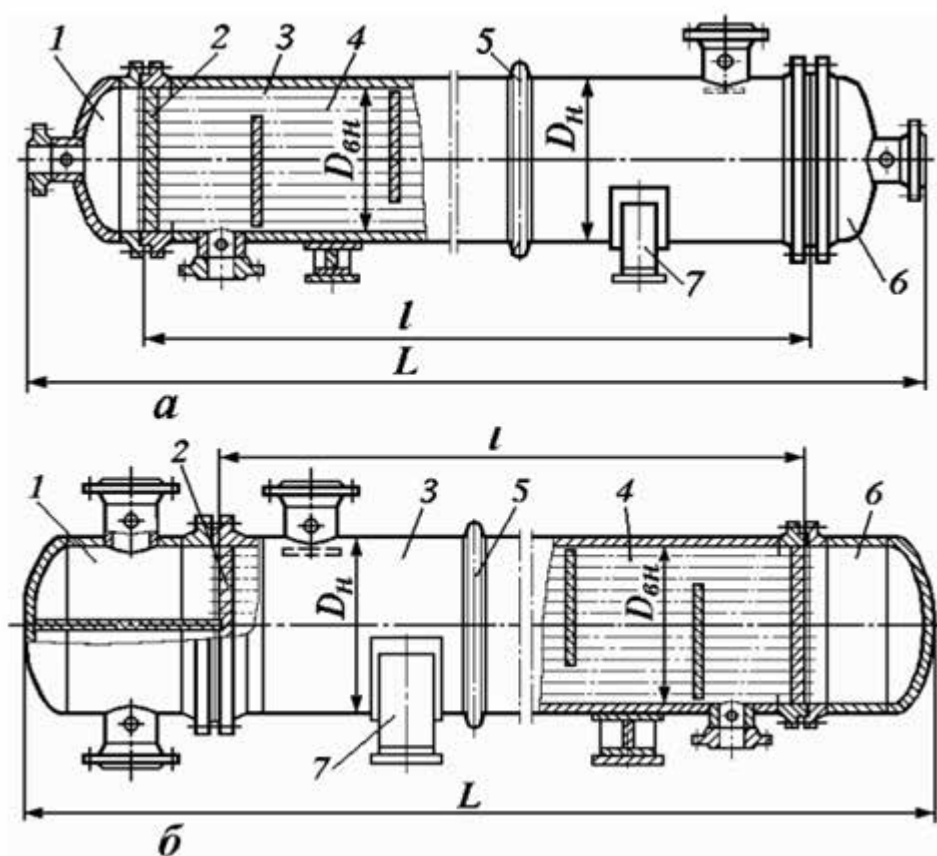


Рис. 4.1. Горизонтальні кожухотрубні теплообмінники напівпостійної конструкції є багатоходовими в міжтрубному просторі : а – одиночний прохід у міжтрубному просторі; б – труба з двома еліптичними клапанами і кількома проходами в міжтрубному просторі; 1 – роздавальна; 2 – трубна плита; 3 – тіло – тіло; 4 – труба; 5 – температурний компенсатор; 6 – кришка; 7 – опора

Кожухотрубні теплообмінники горизонтальної або вертикальної напівжорсткої конструкції, багатопрхідні міжтрубні, еліптичні або плоскі теплообмінники застосовують для нагріву або охолодження холодоагентів з тиском від 0,6 до 4 МПа (див. рис. 4.1, б). Ці пристрої мають діаметр корпусу від 325 до 1200 мм і довжину труби від 1500 до 9000 мм, а площа поверхні в 6,5 разів перевищує діаметр труби 937 м^2 .

У кожухових теплообмінниках труби укладають у вершинах рівностороннього трикутника (дахове розташування) в трубні дошки або квадрати у вершинах (холове розташування) з відстанню, що дорівнює 1,25-1,5 зовнішнього діаметра труби, і закріплюють запіканням, зварювання та паяння

до трубних решіток. Більш компактним є трубний пучок зі зміщеним розташуванням труб. З урахуванням особливостей навколишнього середовища використовуються сталеві безшовні труби 10 і 20 класів; в агресивних середовищах використовують труби зі скріпленої сталі, міді, міді, алюмінію та їх сплавів, титанових сплавів та інших матеріалів.

У розподільній камері багатоходових теплообмінників встановлюють перегородки, що забезпечують розподіл теплового потоку в трубах залежно від кількості проходів. Канал містить кілька труб, по яких теплоносій рухається в одному напрямку від розподільної камери однієї трубної дошки до іншої розподільної камери. Після такту газ (рідина) циркулює в порожнині камери зворотного розподілу і проходить по трубах першої камери, після чого процес повторюється знову. Кількість каналів теплоносія в міжтрубному просторі залежить від кількості перегородок в розподільних камерах; Теплообмінники зазначеного типу зазвичай виготовляються з кількістю каналів від двох до восьми. Виготовляються індивідуальні конструкції теплообмінників з числом ходів до 28. При виготовленні розподільної камери перегородки або повністю заливаються, або заварюються кришками. У трубних решітках, що примикають до перегородок, робляться напрямні пази, а в перегородки вставляються ущільнювачі. У напівжорстких і жорстких теплообмінниках трубні дошки з'єднані з корпусом і нероз'ємно з'єднані між фланцевими з'єднаннями або за допомогою зварювання. У міжтрубному просторі встановлюють сегментні перегородки або двосторонні або односторонні кільця в міжтрубному просторі для спрямування поперечного потоку навколо трубного пучка в міжтрубному просторі та для їх фіксації для запобігання вигину, руху та вібрації. Для підвищення жорсткості трубного пучка і поперечних перегородок встановлюють систему з'єднувачів, трубок і розпірок.

Як правило, теплоносій направляється в порожнину труби, де можуть утворюватися відкладення, які періодично видаляються під час очищення. Під час процесу теплообміну, охолодження та збільшення щільності теплоносія він

спрямовується зверху вниз, відповідно рекомендовано направляти теплоносій знизу вгору.

Кожухотрубні теплообмінники з нежорсткою конструкцією застосовуються, коли необхідно компенсувати великі теплові розширення труби, коли C або перевищує C (див. рис. 1.2). Корпус і трубна решетка можуть вільно переміщатися відносно один одного.

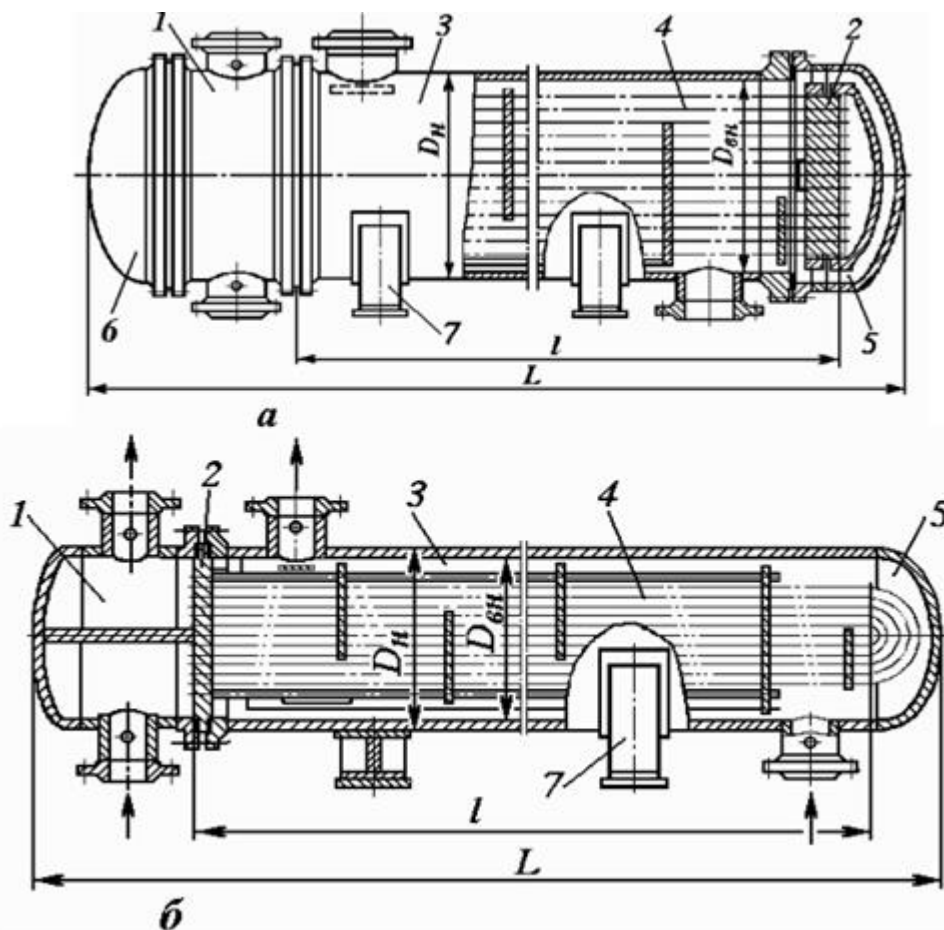


Рис. 4.2. Нежорсткі кожухотрубні теплообмінники: а - з плаваючою головкою (тип ТП); б - з П-подібними трубами (типу ТУ); 1 - роздавальна; 2 - трубна плита; 3 - корпус; 4 - труба; 5 - задня кришка; 6 - передня кришка; 7 - опорний кіготь

Горизонтальні теплообмінники з плаваючою головкою типу ТП призначені для роботи при тиску від 1,6 до 6,3 МПа (див. рис. 4.2 а), виготовляються з діаметром корпусу від 0,325 до 1,4 м і довжиною труби 3- 9 м, з двома або чотирма проходами номер один в міжтрубному просторі, площа

теплообміну 10 1200 м². Двоходовий теплообмінник з внутрішнім діаметром оболонки 0,3 - 0,5 м і довжиною вертикальної труби 3 або 6 м. Горизонтальні теплообмінники розміщені на двох сідлоподібних опорах 7 теплообмінників 9 м, внутрішній діаметр оболонки 0,4-1,4 мм, а довжина труб 3, 6 і (див. рис. 4.2 б), 1370 м² площа теплообміну в порівнянні із зовнішнім діаметром труб 26 - . Пристрій має стінку фільтра, закріплену фланцевим з'єднанням, що дозволяє періодично знімати стінку фільтра з корпусу для огляду, чищення та обслуговування. Для полегшення видалення труби з простору між трубами під час очищення та обслуговування . Основним недоліком ТА з U-подібними трубками є складність очищення внутрішньої поверхні трубок, тому його використовують у теплообмінних процесах з використанням чистих холодоагентів.

Сильфони) використовуються для роботи при високих температурах в діапазоні температур ^С і при тиску від 4 до 10 МПа (див. рисунок 4.3). Термостійкі подовження труб компенсуються сильфонним компенсатором, розташованим в центрі зовнішнього шару і встановленим в трубі, звідки теплоносій видаляється із загального трубного простору. Така конструктивна схема компенсатора теплового розширення більш компактна і, головне, вільна від впливу підвищення тиску, оскільки тиск впливає на хвильовий компенсатор з обох (двох) сторін: зовнішній тиск з боку. внутрішній тиск з боку теплоносія в загальному просторі між трубами і теплоносієм, що проходить через трубний пучок. В теплообміннику використовується багатохвильовий компенсатор , виготовлений з тонких гідравлічних металевих півлінз . Ці теплообмінні апарати 9 м виготовляються з діаметром оболонки від 0,8 до 1,3 м, довжиною труби 6 м і площею теплообміну 178 м 1088 м².

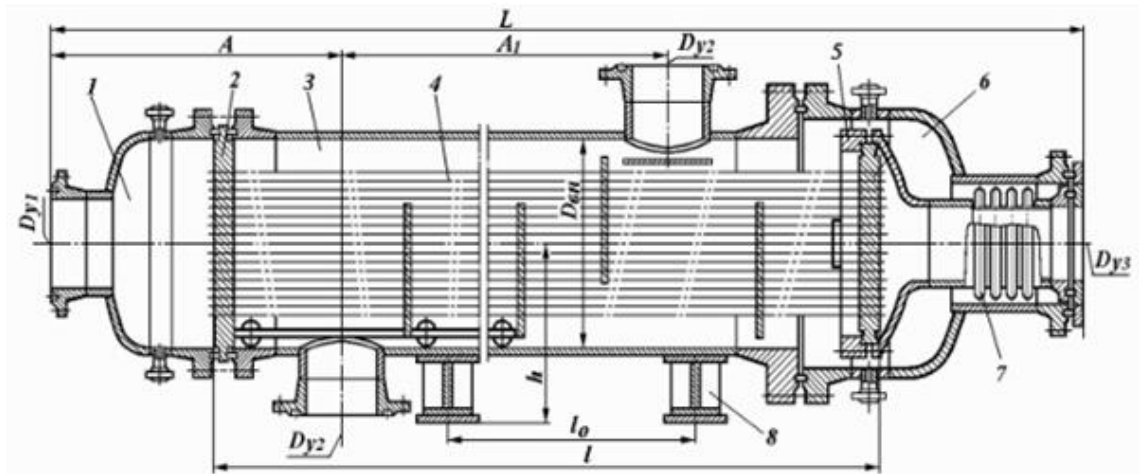


Рис. 4.3. Нежорсткий кожухотрубний теплообмінник. Версії з сільфонним компенсатором: 1 – роздавальна; 2 – трубна плита; 3 – корпус; 4 – труба; 5 – плаваюча головка; 6 – задня кришка; 7 – компенсаційний сільфон; 8 - опора.

На зовнішній поверхні трубної доки встановлено шар , що забезпечує жорсткість конструкції, а також сприяє інтенсифікації теплообміну в загальному просторі між трубами при поперечному руслі теплоносія по поверхні пучки труб. На кінці труби є опорна платформа з роликami, що полегшує монтаж і розбирання труби під час ремонтних робіт.

Для системи мікроклімату потрібно розробити геометричні візерунки горизонтальний потворний шкіри і лобкового волосся Використання води з теплообмінника для охолодження гарячого повітря влітку на вході в курник з умовною витратою $GM1$ з кінцевими температурами $t1''$ і початковою $t1'$, до $GM2$, з темп. SEQ $t2'$ до $t2$.

4.2. Розрахунок теплообмінного апарата нової конструкції для бокової системи вентиляції

Таблиця 4.1

Застосування рекуперативних теплообмінних апаратів в птахівництві

Теплоносій	Масова витрата G_m , кг/год	Температура теплоносія		Теплоємність C_p , кДж/(кг \times °C)	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м 2 \times °C)	Густина ρ , кг/м 3	Коефіцієнт кінематичної в'язкості ν , м 2 /с	Число Прандтля, Pr
		початкова t' , °C	кінцева t'' , °C					
Повітря	14620	40	21	1.005	0.0275	1.128	16.96×10^{-6}	0.699
Вода	4777	10	-	4.1878	0.57	1000	1.519×10^{-6}	11.377

Таблиця 4.2

Параметри теплообмінного апарата

Ширина ТА, м	Ширина міжтрубного проходу, м	Висота трубок ТА, м	Зовнішній діаметр труби, м	Внутрішній діаметр труби, м	Товщина труби, м	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{тр}$, Вт/(м 2 \times °C)	Кількість труб по глибині ТА, шт.
0,85	0,015	0,3	0,01	0,008	0,001	15	51

Тепловий розрахунок

Коефіцієнт динамічної в'язкості μ_1 , кг/м \cdot с:

$$\mu_1 = \nu_1 \cdot \rho_1 \quad (4.1)$$

$$\mu_1 = 16.96 \cdot 10^{-6} \cdot 1.128 = 1.91309 \cdot 10^{-5} \text{ (кг/м} \cdot \text{с)}$$

Кількість труб по ширині ТА, шт:

$$n_{\text{тр}} = \frac{(L_{\text{та}})}{(d_{\text{тр.зов}} + a)} \quad (4.2)$$

$$n_{\text{тр}} = \frac{(0.85)}{0.01 + 0.015} = 34 \text{ (шт)}$$

Гідравлічний діаметр на вході в ТА, м:

$$D_{\text{г}} = \frac{4 \cdot h \cdot a \cdot n_{\text{тр}}}{2 \cdot (h + a \cdot n_{\text{тр}})} \quad (4.3)$$

$$D_{\text{г}} = \frac{4 \cdot 0.3 \cdot 0.015 \cdot 34}{2 \cdot (0.3 + 0.015 \cdot 34)} = 0.37 \text{ (м)}$$

Кількість труб в одному колекторі ТА, шт:

$$N_{\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot n_{\text{трм}} \quad (4.4)$$

$$N_{\text{тр}} = 34 \cdot 51 = 1734 \text{ (шт)}$$

Обчислюємо об'ємні витрати першого (повітря) і другого (вода) теплоносіїв, м³/с:

повітря:

$$G_{1V} = \frac{G_{1m}}{\rho_1 \cdot 3600} \quad (4.5)$$

$$G_{1V} = \frac{14620}{1.128 \cdot 3600} = 3.6003 \text{ (м}^3\text{/с)}$$

вода:

$$G_{2V} = \frac{G_{2m}}{\rho_2 \cdot 3600} \quad (4.6)$$

$$G_{2V} = \frac{4777}{1000 \cdot 3600} = 1.32694 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{/с)}$$

Визначаємо кількість теплоти, переданої від повітря до води, кВт:

$$Q_1 = \frac{G_{1m}}{3600} \cdot C_{cp1} \cdot (T_1' - T_1'') \quad (4.7)$$

$$Q_1 = \frac{14620}{3600} \times 1.005 \cdot (40 - 21) = 77.55 \text{ (кВт)}$$

Розраховуємо T_2'' за виразом:

$$T_2'' = \frac{Q_1 \cdot 3600}{G_{2m} \cdot C_{p2}} + T_2' \quad (4.8)$$

$$T_2'' = \frac{77.55 \cdot 3600}{4777 \cdot 4.1878} + 10 = 23.95 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Площа перерізу міжтрубного проходу, м²:

$$F_{пер1} = h \cdot a \cdot n_{тр} \quad (4.9)$$

$$F_{пер1} = 0.3 \cdot 0.015 \cdot 34 = 0.15300 \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо швидкість руху повітря, м/с:

$$W_1 = \frac{G_{1v}}{F_{пер1}} \quad (4.10)$$

$$W_1 = \frac{3.6003}{0.15300} = 23.5312 \text{ (м/с)}$$

Знаходимо число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_{\text{тр.зов}}}{\nu_1} \quad (4.11)$$

$$Re_1 = \frac{23.5312 \cdot 0.01}{16.96 \cdot 10^{-6}} = 13874.5$$

Знаходимо інтенсивність турбулентності, %:

$$I_1 = 16 \cdot Re_1^{-0,25} \quad (4.12)$$

$$I_1 = 16 \cdot 13874.5^{-0,25} = 4.857 \%$$

Отже, розрахована величина числа Рейнольдса більше критичної, тобто режим руху повітря – турбулентний.

Розраховуємо число Нусельта (при турбулентному режимі руху газу):

$$Nu_1 = 0.18 \cdot Re_1^{0.6} \cdot Pr_1^{0.36} \quad (4.13)$$

$$Nu_1 = 0.18 \cdot 13874.5^{0.6} \cdot 0.699^{0.36} = 48.4$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі для повітря, Вт/м²°С:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{тр.зов}}} \quad (4.14)$$

$$\alpha_1 = \frac{48.4 \cdot 0.0275}{0.01} = 133 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Площа перерізу міжтрубного простору, м²:

$$F_{\text{пер2}} = N_{\text{тр}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр.вн}}^2}{4} \quad (4.15)$$

$$F_{\text{пер2}} = 1734 \cdot \frac{\pi \cdot 0.008^2}{4} = 0.08716 \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо швидкість руху другого теплоносія (вода), м/с:

$$W_2 = \frac{G_{2v}}{F_{\text{пер2}}} \quad (4.16)$$

$$W_2 = \frac{1.3269 \cdot 10^{-3}}{0.08716} = 0.01522, \text{ (м/с)}$$

Знаходимо числа Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_{\text{тр.вн}}}{\nu_2} \quad (4.17)$$

$$Re_2 = \frac{0.01522 \cdot 0.008}{1.519 \cdot 10^{-6}} = 80.2$$

Розрахована величина числа Рейнольдса менше критичної, тобто режим руху рідини – ламінарний.

Розраховуємо число Нусельта (при ламінарному режимі руху рідини):

$$Nu_2 = if(0 < Re_2 < 2300, 0.66 \cdot Re_2^{0.5} \cdot Pr_2^{0.43}, 0.021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.43}) \quad (4.18)$$

$$Nu_2 = 0.66 \cdot 80.2^{0.5} \cdot 11.337^{0.43} = 16.8$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі для води, Вт/м²·°С:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{\text{тр.вн}}} \quad (4.19)$$

$$\alpha_2 = \frac{16.8 \cdot 0.57}{0.008} = 1196.2 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°С)}$$

Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·°С:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.20)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{133} + \frac{0.001}{15} + \frac{1}{1196.2}} = 118.8 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°С)}$$

Діапазон максимальних температур в теплообмінному апараті, °С:

$$\Delta T_{\text{max}} = T_1' - T_2'' \quad (4.21)$$

$$\Delta T_{\text{max}} = 40 - 23.95 = 16.05 \text{ (°С)}$$

Діапазон мінімальних температур в теплообмінному апараті, °С:

$$\Delta T_{\text{min}} = T_1'' - T_2' \quad (4.22)$$

$$\Delta T_{\text{min}} = 21 - 10 = 11 \text{ (°С)}$$

Значення середньологарифмічної температури, °C:

$$\Delta T_{\text{лог}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}\right)} \quad (4.24)$$

$$\Delta T_{\text{лог}} = \frac{16.05 - 11}{\ln\left(\frac{16.05}{11}\right)} = 13.36 \text{ (°C)}$$

Визначаємо площу поверхні пучка, м²:

$$F_{\text{пуч}} = \frac{Q_1 \cdot 10^3}{k \cdot \Delta T_{\text{лог}}} \quad (4.25)$$

$$F_{\text{пуч}} = \frac{77.55 \cdot 10^3}{118.8 \cdot 13.36} = 48.86 \text{ (м}^2\text{)}$$

Обчислюємо довжину труб, м:

$$L_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{пуч}}}{N_{\text{тр}} \cdot \pi \cdot d_{\text{тр.зов}}} \quad (4.26)$$

$$L_{\text{тр}} = \frac{48.86}{1734 \cdot \pi \cdot 0.01} = 0.8969 \text{ (м)}$$

Обчислюємо кількість колекторів, шт:

$$N_k = \frac{L_{\text{тр}}}{h} \quad (4.27)$$

$$N_k = \frac{0.8969}{0.3} = 2.99 \text{ (шт)}$$

*Гідравлічний розрахунок**Повітря*

Коефіцієнт місцевих втрат: $\xi_{m1} = 5$;

Коефіцієнт тертя:

$$\xi_{T1} = if \left(0 < Re_1 < 2300, \frac{64}{Re_1}, 0.3164 \cdot Re_1^{-0.25} \right) \quad (4.28)$$

$$\xi_{T1} = 0.3164 \cdot 13874.5^{-0.25} = 0.02915$$

Місцеві втрати у звуженнях чи розширеннях, поворотах труб, Па:

$$\Delta p_{m1} = \xi_{m1} \frac{\rho_1 \cdot W_1^2}{2} \quad (4.29)$$

$$\Delta p_{m1} = 5 \cdot \frac{1.128 \cdot 23.5312^2}{2} = 1561.5 \text{ (Па)}$$

Втрати на тертя по довжині трубопроводу, Па:

$$\Delta p_{T1} = \xi_{T1} \frac{(0.06 + n_{Tpm} \cdot N_k \cdot d_{Tр.зОВ}) \cdot \rho_1 \cdot W_1^2}{2 \cdot d_{Tр.зОВ}} \quad (4.30)$$

$$\Delta p_{T1} = 0.02915 \cdot \frac{(0.06 + 34 \cdot 2.99 \cdot 0.01) \cdot 1.128 \cdot 23.5312^2}{2 \cdot 0.01} = 1442.7 \text{ (Па)}$$

Загальні гідравлічні втрати визначаються за формулою, Па:

$$\Delta p_1 = \Delta p_{m1} + \Delta p_{T1} \quad (4.31)$$

$$\Delta p_1 = 1561.5 + 1442.7 = 3004.2139 \text{ (Па)}$$

Вода

Коефіцієнт місцевих втрат: $\xi_{M2} = 13$;

Коефіцієнт тертя:

$$\xi_{T2} = \text{if} \left(0 < Re_2 < 2300, \frac{64}{Re_2}, 0.3164 \cdot Re_2^{-0.25} \right) \quad (4.32)$$

$$\xi_{T2} = \frac{64}{80.2} = 0.7982$$

Місцеві втрати у звуженнях чи розширеннях, поворотах руб, Па:

$$\Delta p_{M2} = \xi_{M2} \frac{\rho_2 \cdot W_2^2}{2} \quad (4.33)$$

$$\Delta p_{M2} = 13 \cdot \frac{1000 \cdot 0.01522^2}{2} = 1.5065 \text{ (Па)}$$

Втрати на тертя по довжині трубопроводу, Па:

$$\Delta p_{T2} = \xi_{T2} \cdot \frac{L_{\text{тр}} \cdot \rho_2 \cdot W_2^2}{2 \cdot d_{\text{тр.вн}}} \quad (4.34)$$

$$\Delta p_{T2} = 0.7982 \cdot \frac{0.8969 \cdot 1000 \cdot 0.01522^2}{2 \cdot 0.008} = 10.3701 \text{ (Па)}$$

Загальні гідравлічні втрати визначаються за формулою, Па:

$$\Delta p_2 = \Delta p_{M2} + \Delta p_{T2} \quad (4.35)$$

$$\Delta p_2 = 1.5065 + 10.3701 = 11.8767 \text{ (Па)}$$

Розрахунок двигуна

ККД вентилятора: $\eta_{B1} = 0.8$;

$Q_1 = 1036880$;

Кількість ТА, шт:

$$n_{\text{та}} = \frac{Q_1}{G_{1v} \cdot 3600} \quad (4.36)$$

$$n_{\text{та}} = \frac{1036880}{3.6003 \cdot 3600} = 80 \text{ (шт)}$$

Потужність двигуна вентилятора, кВт:

$$P_{H1} = \frac{G_{1v} \cdot \Delta p_1 \cdot 10^{-3}}{\eta_{B1}} \quad (4.37)$$

$$P_{H1} = \frac{3.6003 \cdot 3004.2139 \cdot 10^{-3}}{0.8} = 1,352 \text{ (кВт)}$$

Коефіцієнт корисної дії насоса: $\eta_{H2} = 0.9$;

Потужність двигуна насосу, Вт:

$$P_{H2} = \frac{n_{\text{та}} \cdot G_{2v} \cdot \Delta p_2}{\eta_{H2}} \quad (4.38)$$

$$P_{H2} = \frac{80 \cdot 1,32694 \cdot 10^{-3} \cdot 11,8767}{0.9} = 1,4009 \text{ (кВт)}$$

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В ПТАШНИКУ ПРИ БІЧНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ CFD

5.1. Методи досліджень

Досліджується система охолодження припливного повітря в пташнику. Розмір якого складає 120×21 м. Підлога виконана з двох шарів бетону товщиною 0,1 м, зверху і знизу, між якими знаходиться полістирол товщиною 0,05 м. У місцях на відстані 2 м від стін, товщину теплоізоляційного матеріалу збільшено до 0,1 м. Стіни виконані як тришарові, з обох сторін наявні два шари бетону товщиною 0,06 м, між якими знаходиться шар полістиролу товщиною 0,1 м. Для спрощення моделі, перекриття виконано як тришарове, яке із зовнішньої і внутрішньої сторони виконане з бетону, між якими знаходиться шар теплоізоляційного матеріалу izovat 30 товщиною 0,1 м.

Враховуючи «симетрію» граничних умов на бокових стінках пташника ми розглядаємо тільки половину пташника (див. рис. 5.1), що дає змогу зменшити використання комп'ютерних ресурсів.

У птахівничому приміщенні пропонується бокова система охолодження в літній період року при температурі зовнішнього повітря +40 °С. У припливні клапана, із зовнішньої сторони пташника, монтуються теплообмінні апарати. Їх кількість складає 40 шт для половини пташника з поперечними розмірами 0,85×0,3 м. В якості охолоджувача являється вода з підземних свердловин. Із попередніх досліджень авторів [22], які розробляли теплообмінні апарати для такої системи охолодження, представлено детальні дослідження. Аналізуючи результати, через такі теплообмінники, зовнішнє тепле повітря проходитиме через нього і буде охолоджуватись до +20 °С.

Витяжні вентилятори розташовуються на задній торцевій стінці, в кількості 5 шт, беручи із рекомендацій авторів дослідження [23], із загальною продуктивністю 42,815 кг/с.

Ця кількість повітря є достатньою для видалення надлишкової теплоти з пташника. Взято до уваги і припливні клапани, висота розташування яких від рівня перекриття складає 0,21 м. Кут нахилу спойлера над клапаном 73° . Довжина спойлера 0,2 м. Задіяно 40 клапанів для половини пташника. Клапани Wlotpowietrza 3000-VFG мають ширину 0,86 м, а висота відкривання їх складає 0,09 м.

На усіх зовнішніх стінах і перекритті задавалися граничні умови третього роду (див. рис. 5.1), при зовнішній температурі повітря $+40^\circ\text{C}$ і величині коефіцієнта тепловіддачі $10\text{ Вт/м}^2\text{К}$, який характерний для середніх швидкостей зовнішнього вітрового потоку. Припускаємо, що температура ґрунту, що прилягає до нижнього бетонного шару підлоги, складає $+10^\circ\text{C}$.

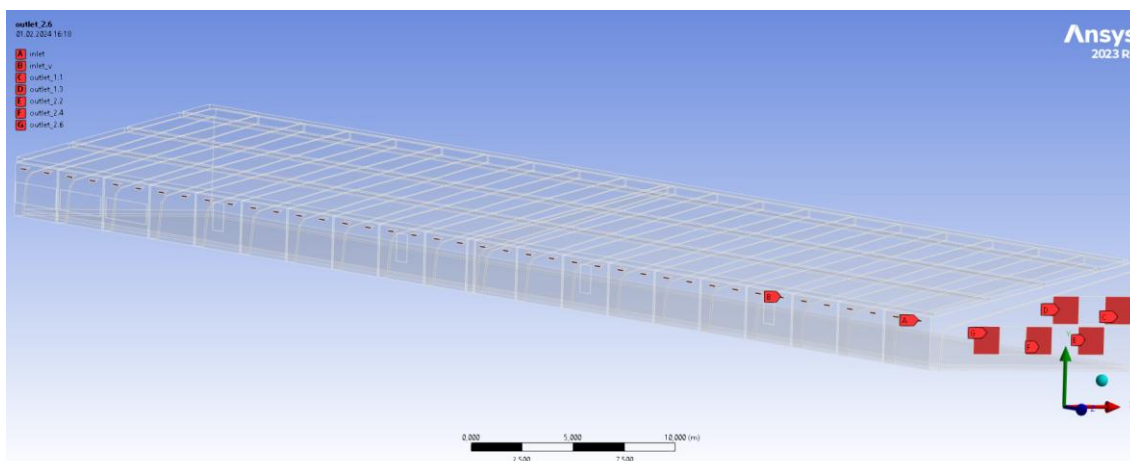
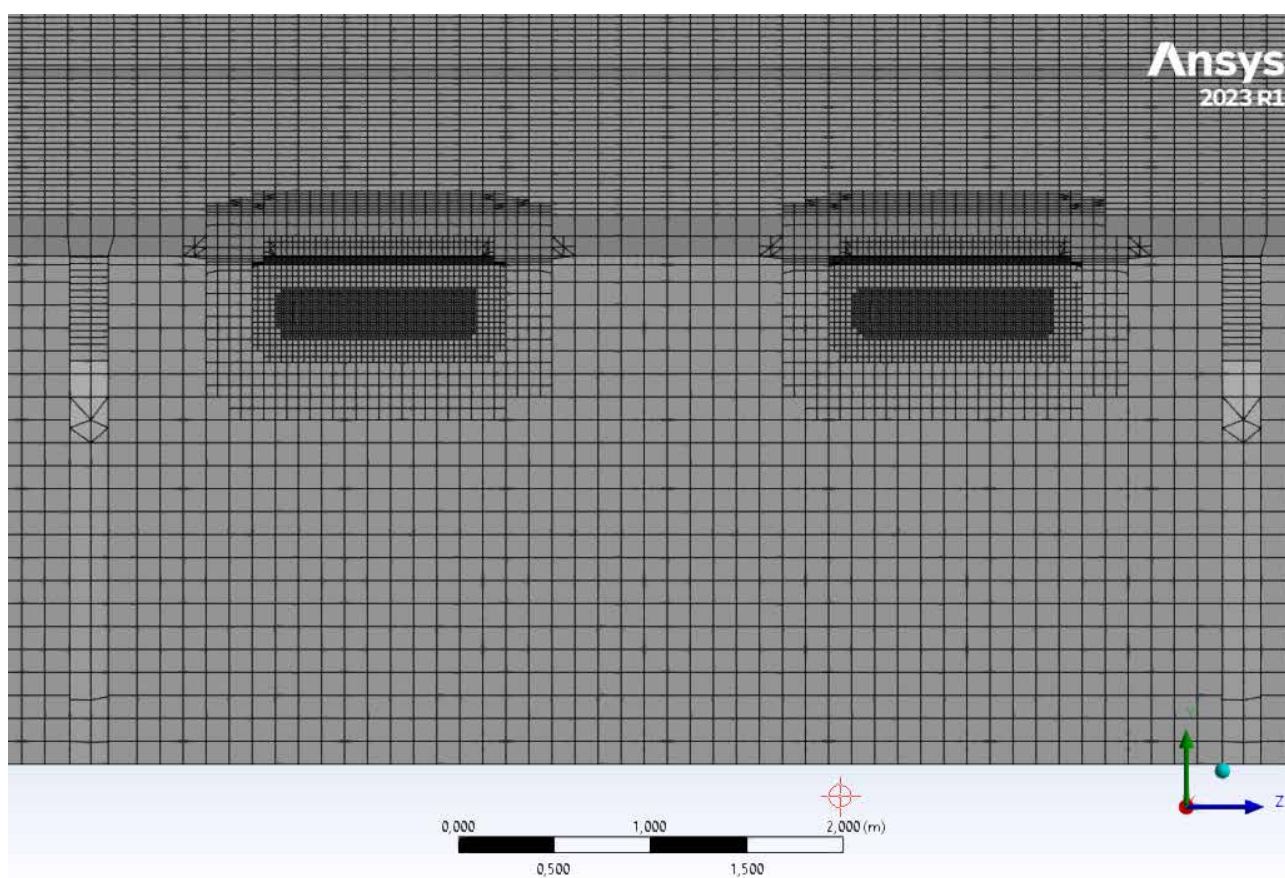


Рис. 5.1. Геометрія 3D пташника із зазначенням граничних умов

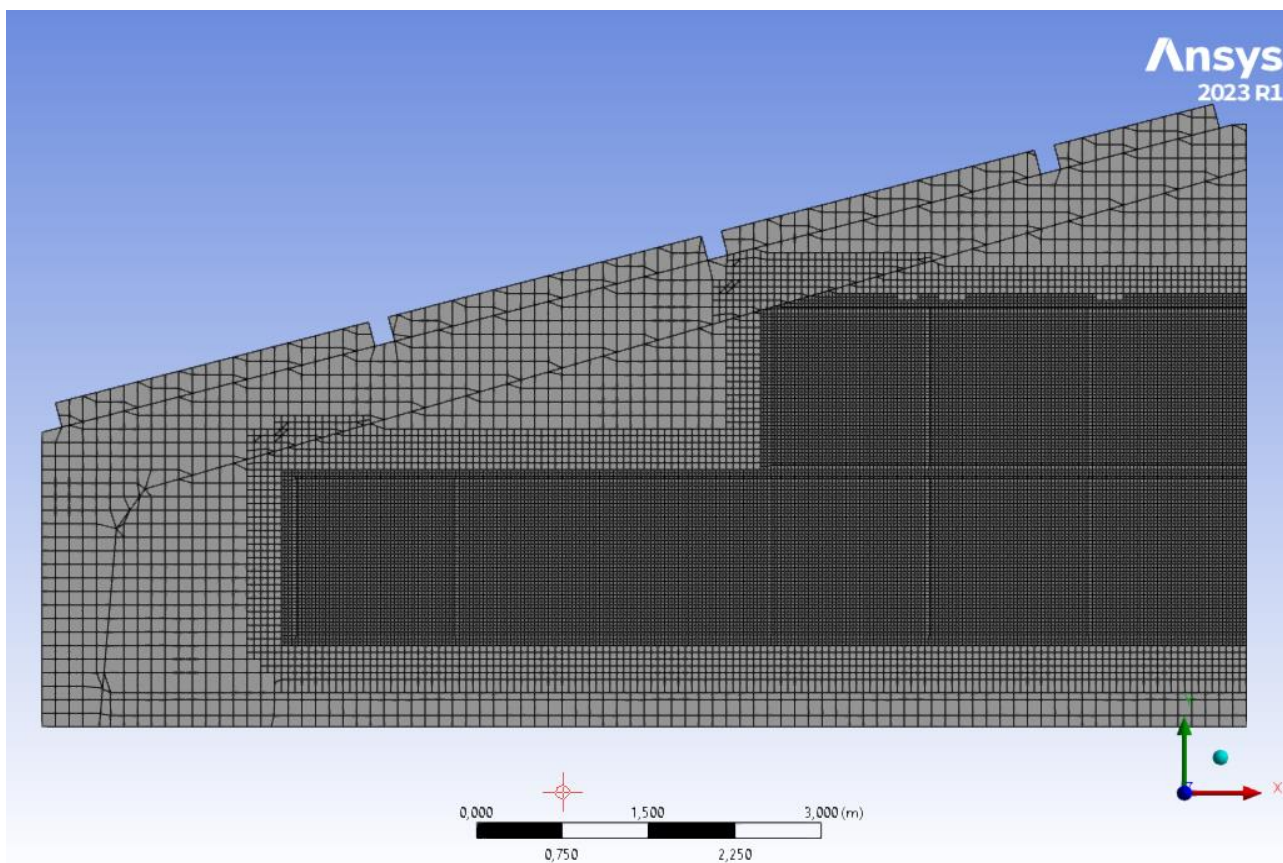
Геометрію пташника виконано в ANSYS Design Modeler 2023 R1 і виставлено граничні умови. Після чого геометрію передано в ANSYS Meshing 2023 R1 для побудови сітки. Побудова сітки виконана за допомогою методу CutCell. Мінімальний розмір грані – 0,015 м. Максимальний розмір грані – 0,12 м. Для припливних клапанів та витяжних вентиляторів сітку згущували з

мінімальними розмірами елемента 0,01 м та 0,04 м відповідно. Згущення сітки виконано для більш точніших результатів при моделювання на вході та виході з пташника. Як результат, показник якості сітки *orthogonal quality* складає 0,214, кількість елементів 4485116 шт, а кількість вузлів 4854992 шт. Результати побудованої сітки можна побачити на рис. 5.2.

Чисельне моделювання проводилось безпосередньо в ANSYS Fluent 2023 R1. У моделі застосовувались рівняння Navier-Stokes, стандартна модель турбулентності *k-ε* і модель випромінювання *Discrete Ordinates*.



а



б

Рис. 5.2. Сітка в повітряному середовищі пташника:

а – бокова стінка; б – задня торцева стінка

5.2. Результати CFD моделювання

На рис. 5.4-5.10 показано результати чисельного моделювання пташника на чотирьох ділянках (рис. 5.3) по довжині приміщення – 10,25 м, 43,25 м, 74,75 м і 109,25 по осі x . Перша і друга ділянки – середина 4-го припливного клапана і 15-го відповідно. Третя – між 25-м та 26-м припливними клапанами. Четверта ділянка – на середині 37-го припливного клапана. По довжині пташника розташовано 40 припливних клапани, із теплообмінними апаратами.

На ділянках 1, 2 та 4 відображено лінії потоку в пташнику (див. рис. 5.4а, 5.4б, 5.4г, 5.5а, 5.5б, 5.5г). Спостерігаємо, що клапани та спойлери розташовані не достатньо вдало. Потік повітря виходить з клапанів зі швидкістю 11,485 м/с. Досягаючи, практично, середини пташника і направляється вниз, втрачаючи швидкість, до птиці. Між стрімким потоком повітря і птицею створюється

великий вихор, який забезпечує подачу свіжого повітря птиці. У верхній частині пташника, по середній лінії, створюється малий вихор повітря через специфічну конструкцію пташника. А також відбувається поділ повітряного потоку, через інтенсивну його подачу. Що супроводжує турбулентність потоку повітря, на цих ділянках, та інтенсивне перемішування свіжого повітря із відпрацьованим. У певних точках, в районі входу у припливних клапанів, максимальна швидкість повітря досягає до 11,62 м/с. Тиск на вході в припливні клапани досягає 78,298 Па.

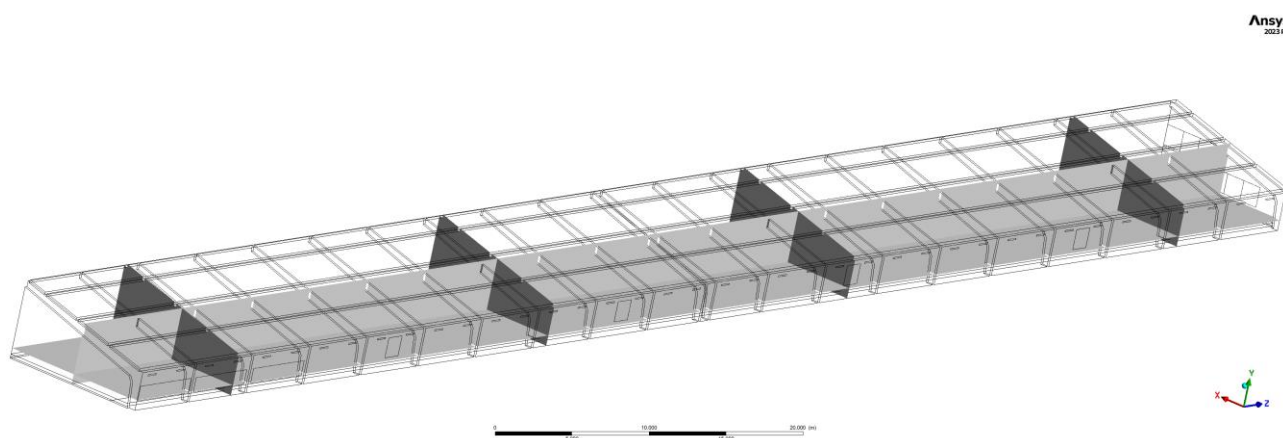
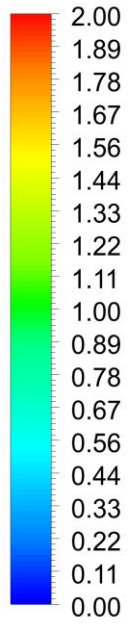


Рис. 5.3. Перерізи виведених результатів чисельного моделювання

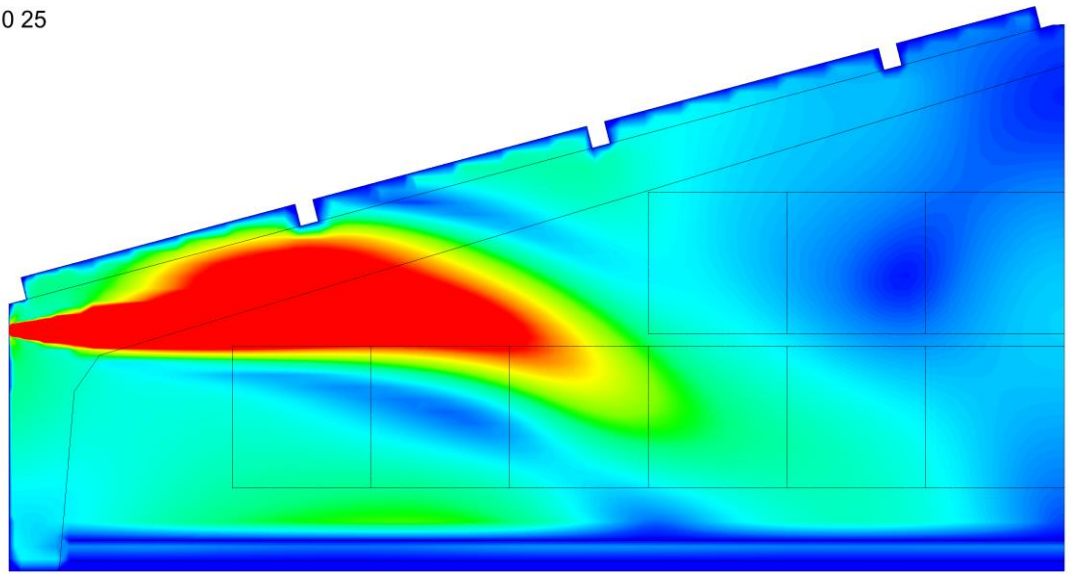
В свою чергу, між 25-м та 26-м припливними клапанами (див. рис. 5.4в, 5.5в), швидкість повітря досягає 1,3 м/с. Повітря рівномірно видаляється із пташника.

Швидкість повітря на трьох вентиляторах які розташовані у нижній лінії складає 5,148 м/с, а тиск -4,045 Па, однак на верхніх двох вентиляторах швидкість складає 4,871 м/с, а тиск -3,575 Па (рис. 5.7). Така поведінка говорить про те, що важче охолоджене повітря базується ближче до птиці, а більш нагріте піднімається вгору.

Velocity
Contour xy 10 25

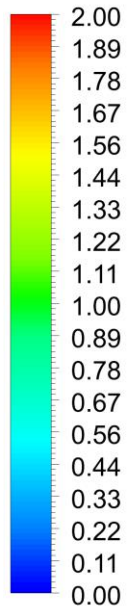


[m s⁻¹]

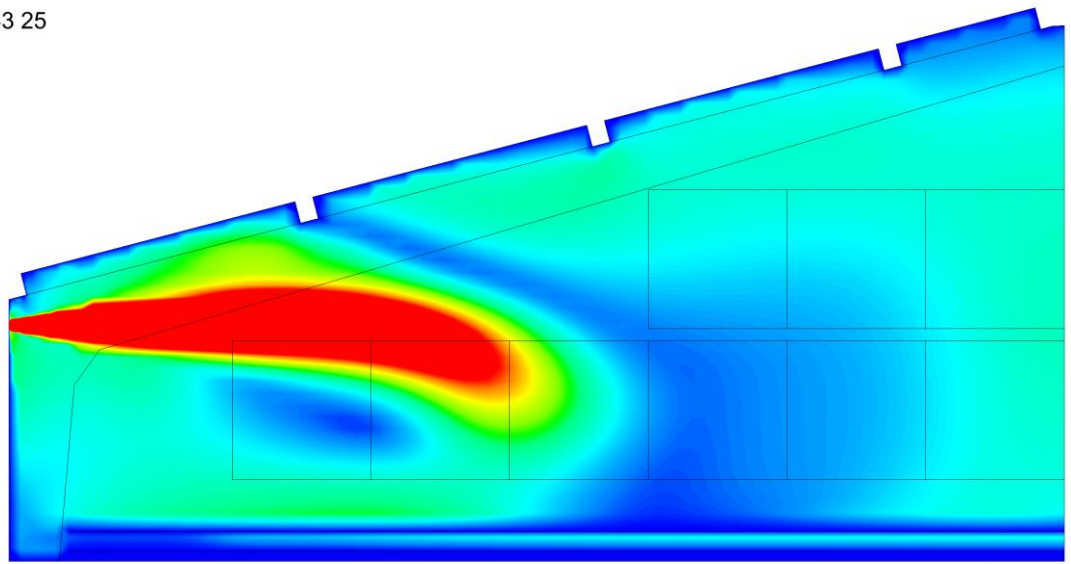


a

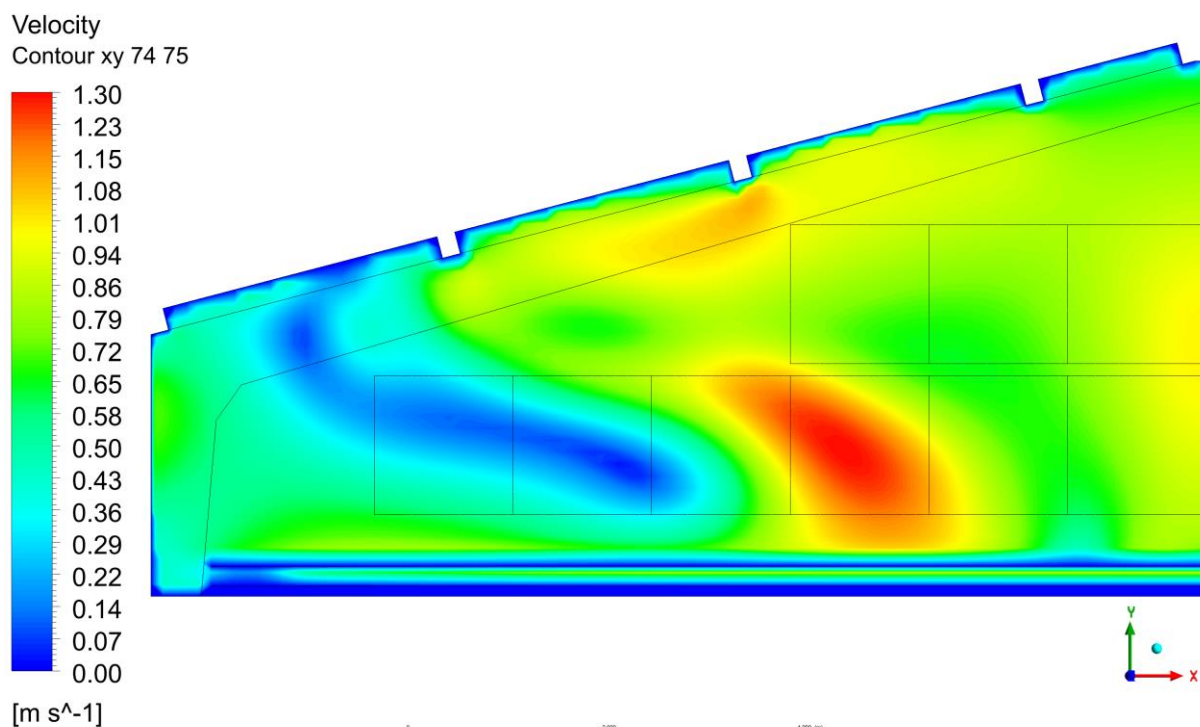
Velocity
Contour xy 43 25



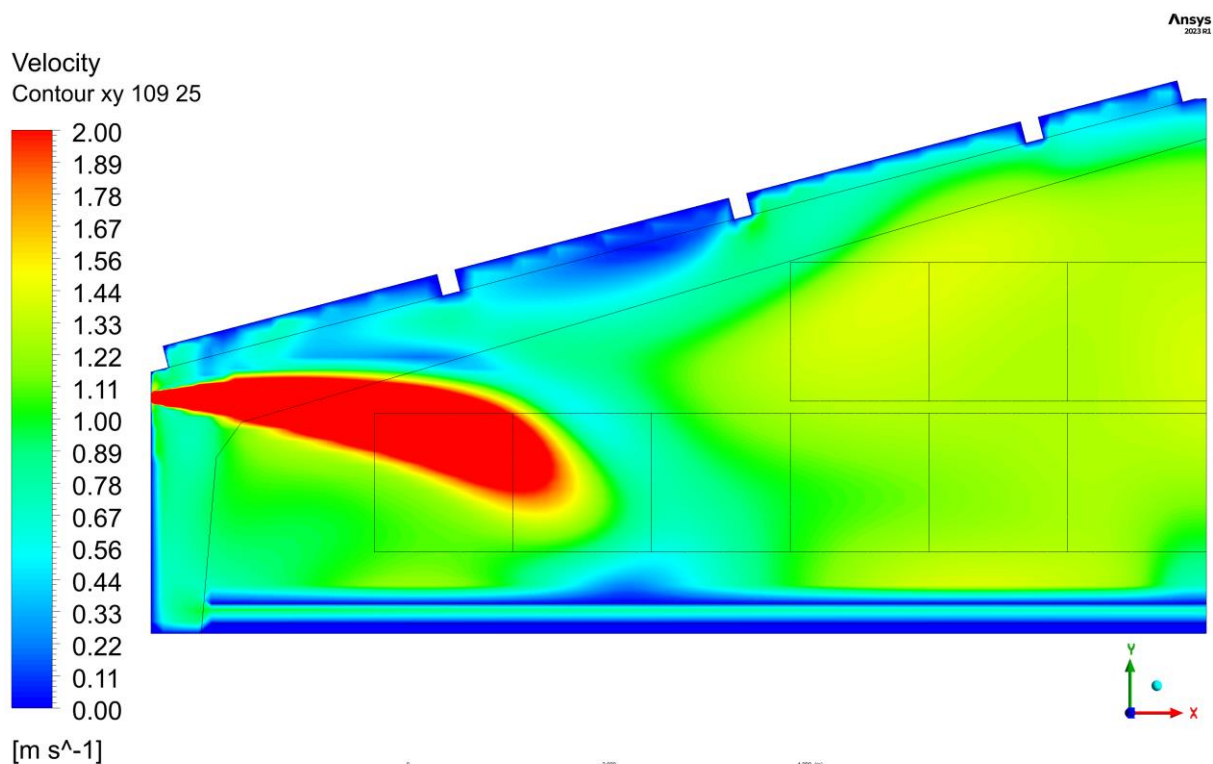
[m s⁻¹]



b

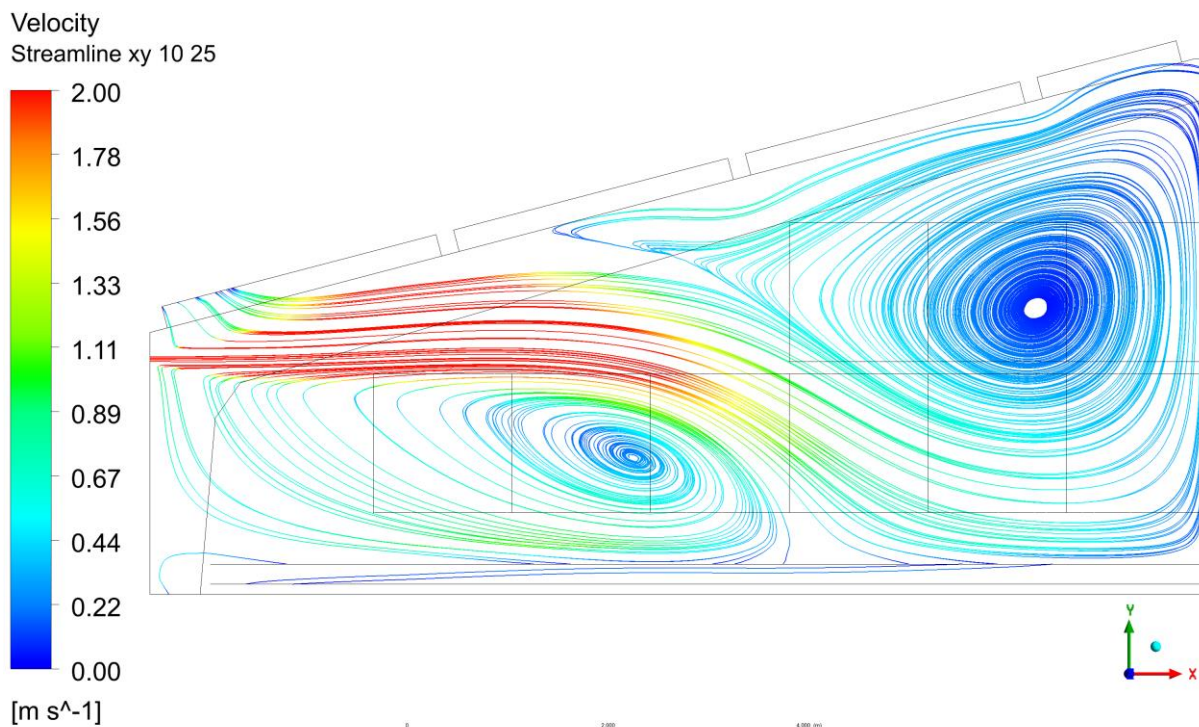


B

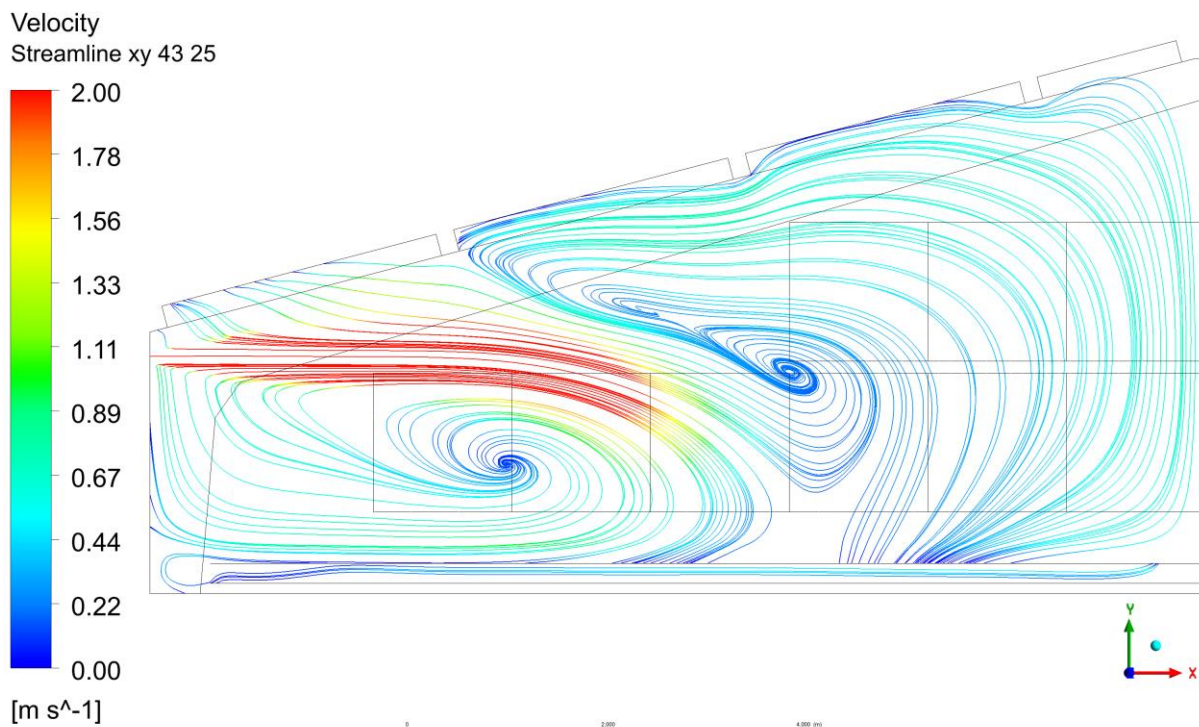


Г

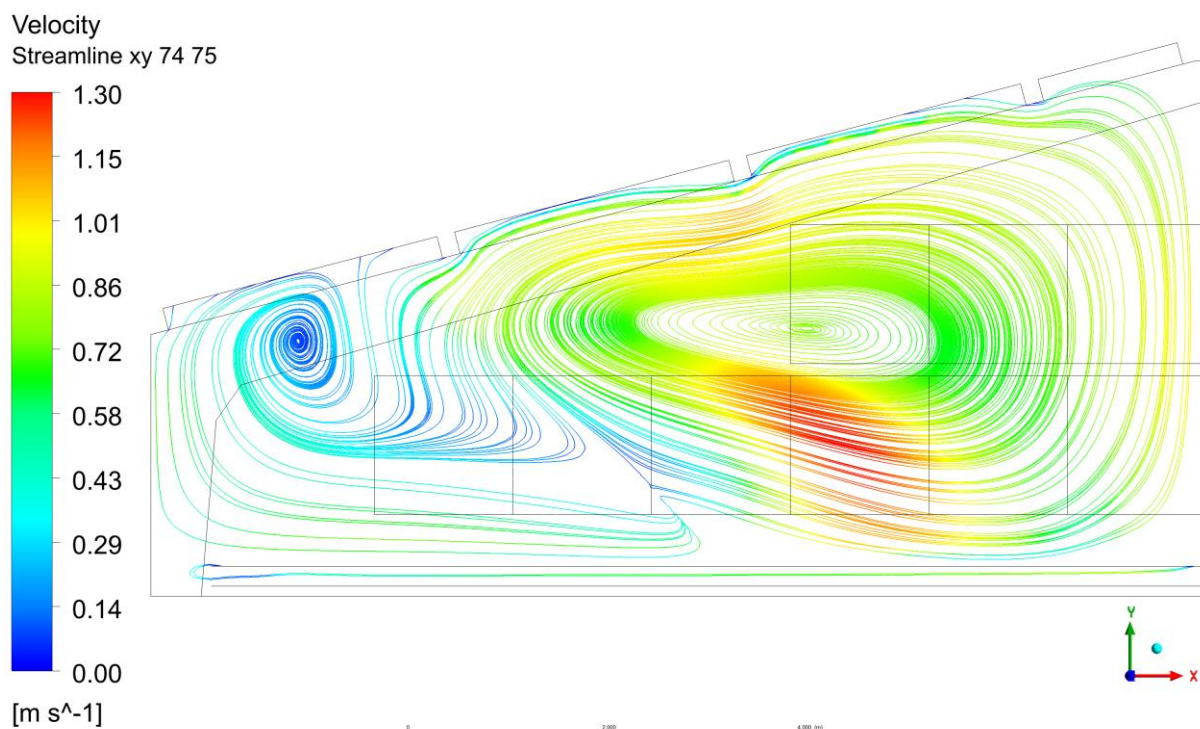
Рис. 5.4. Поле швидкостей (м/с) у приміщенні пташника по осі x у на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.



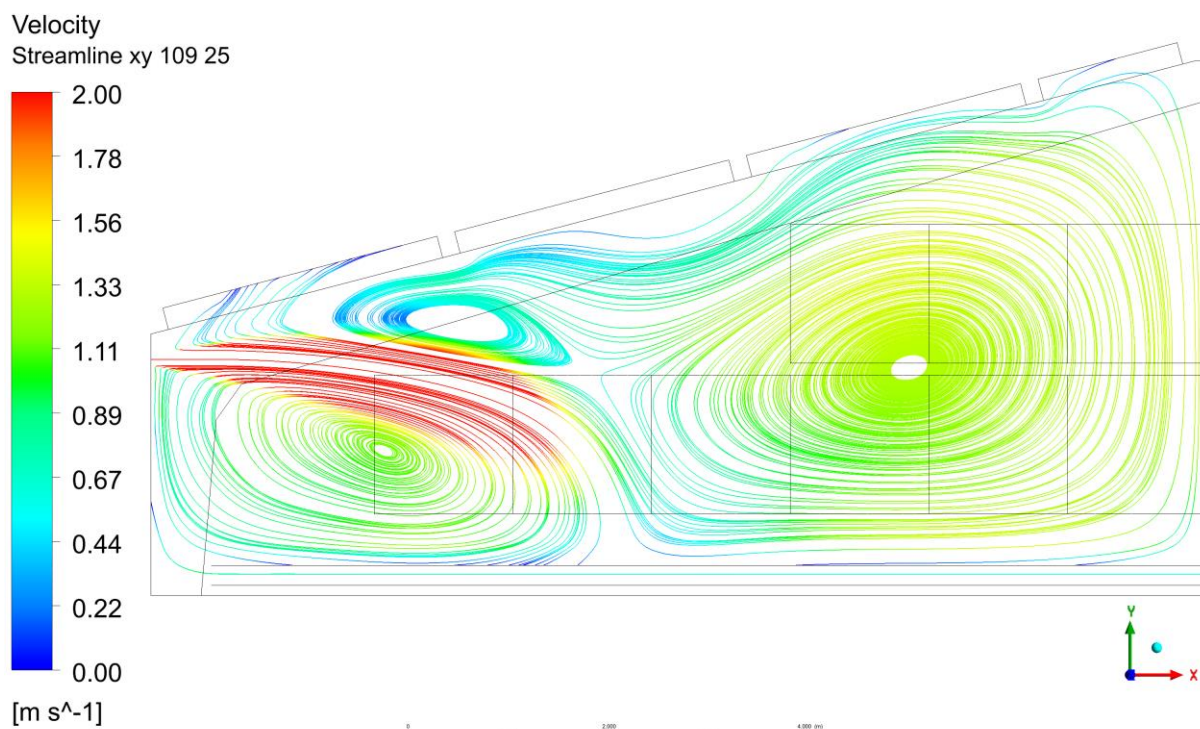
a



b



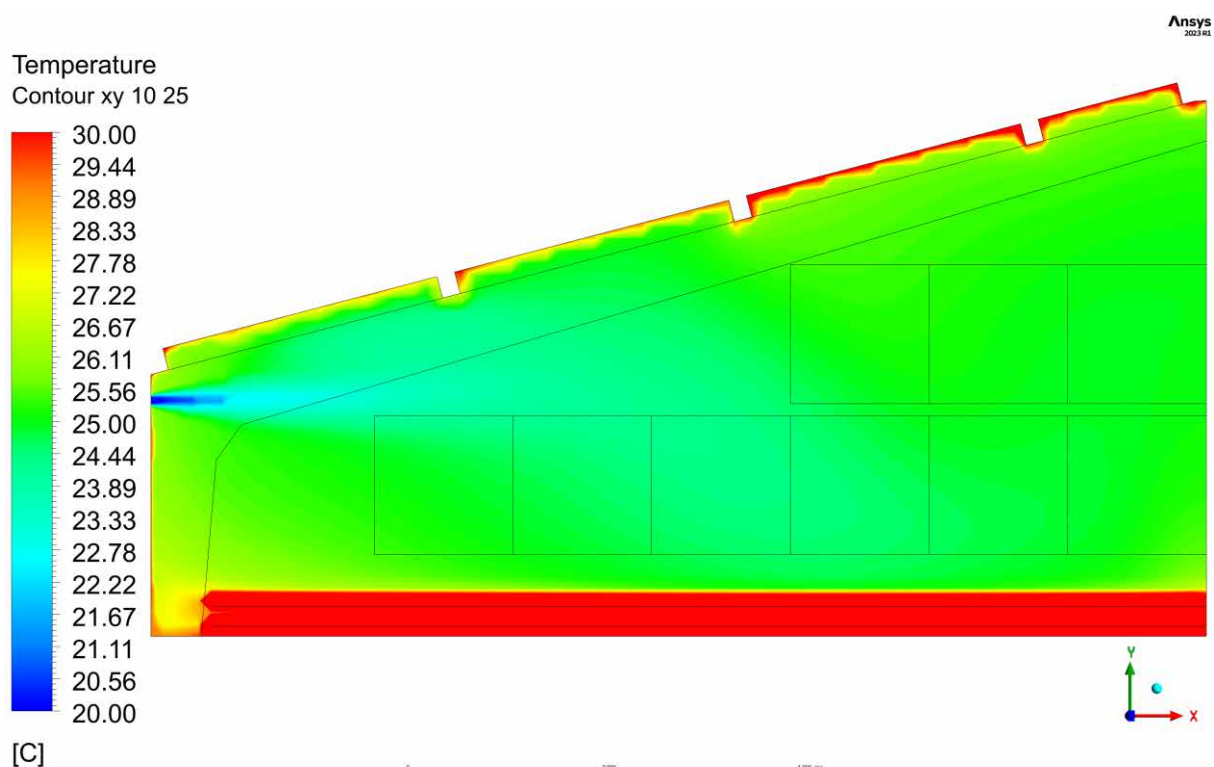
В



Г

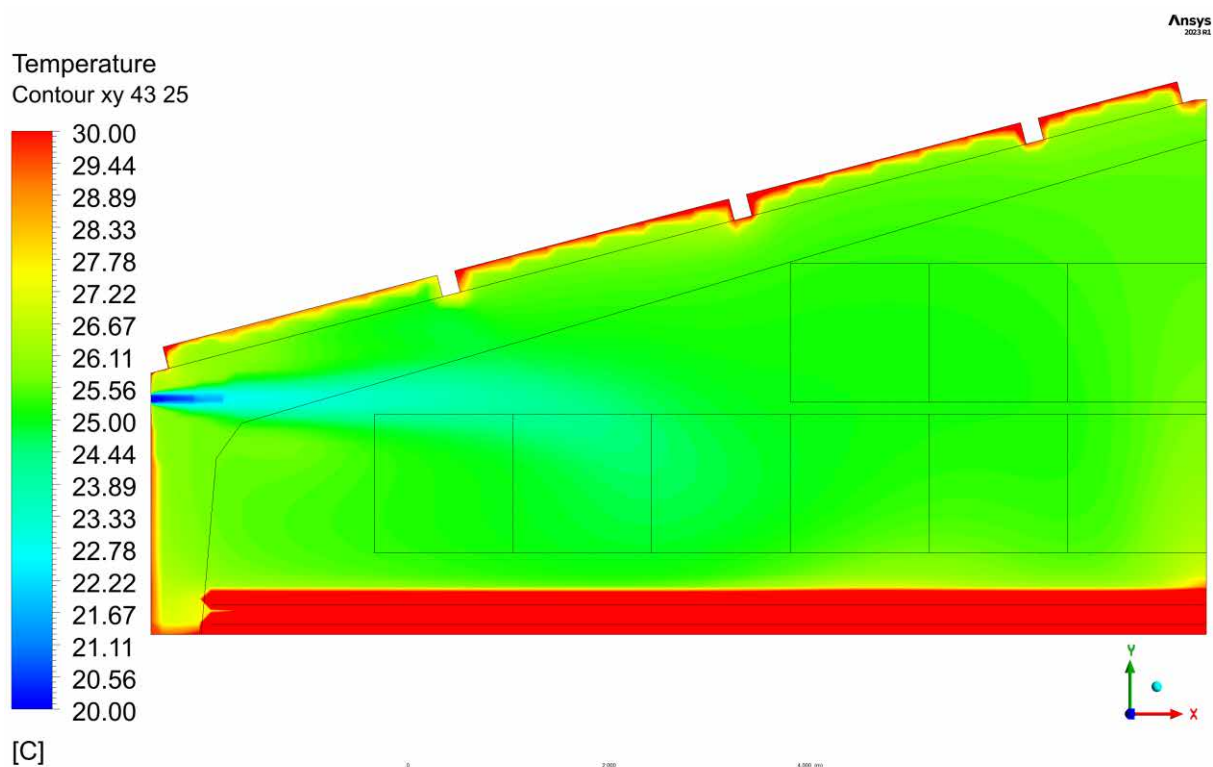
Рис. 5.5. Лінії потоку (м/с) у приміщенні пташника по осі xy на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

На рис. 5.6 представлено розподіл температур у різних перерізах в пташнику. Як бачимо, охолоджене повітря з теплообмінних апаратів температурою $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5.6а, б, г), направляється від клапанів в пташник. Проходячи близько 1,5 м нагрівається і холодний потік розосереджується по приміщенні. Середня температура на цих ділянках складає в межах від $+24,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+26,67\text{ }^{\circ}\text{C}$. Враховуючи велику довжину пташника, поблизу стінки 1,5 м (рис. 5.6г) і 0,5 м (рис. 5.6а, б, в), відбувається температурна застійна зона, яка коливається від $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$. У моделі приведені припущення, що птиця не розміщена на відстані 0,6 м від стіни. Таким чином, лише дуже мала кількість птиці буде відчувати певний дискомфорт (рис. 5.6г). Поблизу перекриття на не великій відстані, близько 0,15 м, температура коливається від $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці підвищені температури супроводжуються через високу температуру зовнішнього повітря ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) та інтенсивність сонячного випромінювання. На рис. 5.6в представлено температурне поле між 25-м та 26-м припливними клапанами.

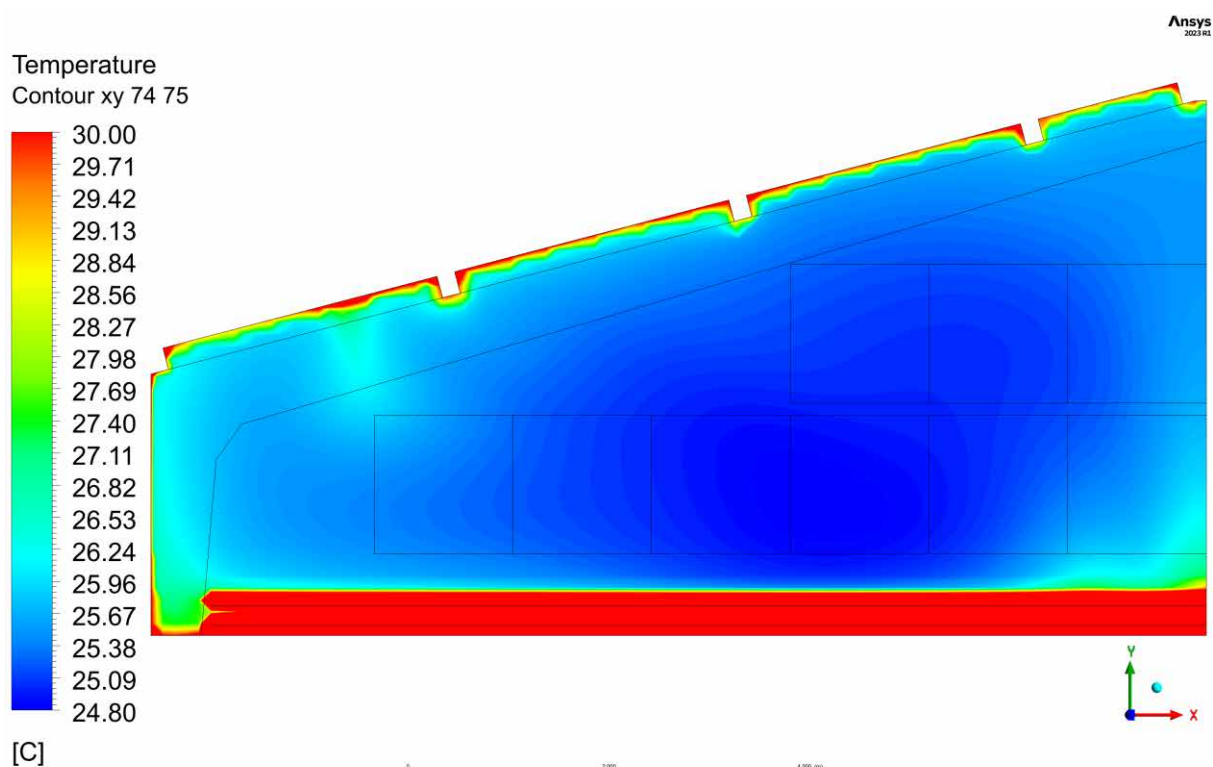


a

Температура на цій ділянці дещо нижча, від $+24,8$ °C до $+25,96$ °C. Це супроводжене через те, що відсутня подача охолодженого повітря на цій ділянці.



б



в

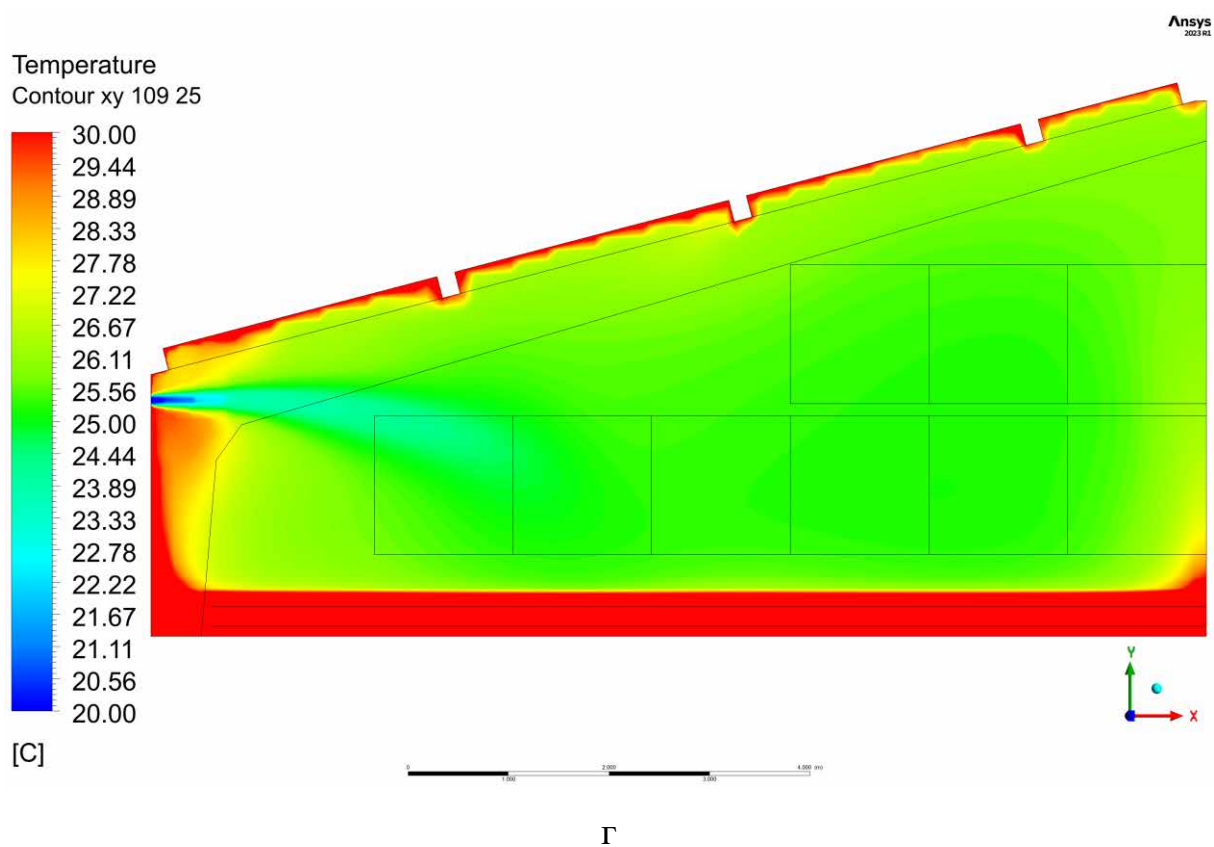
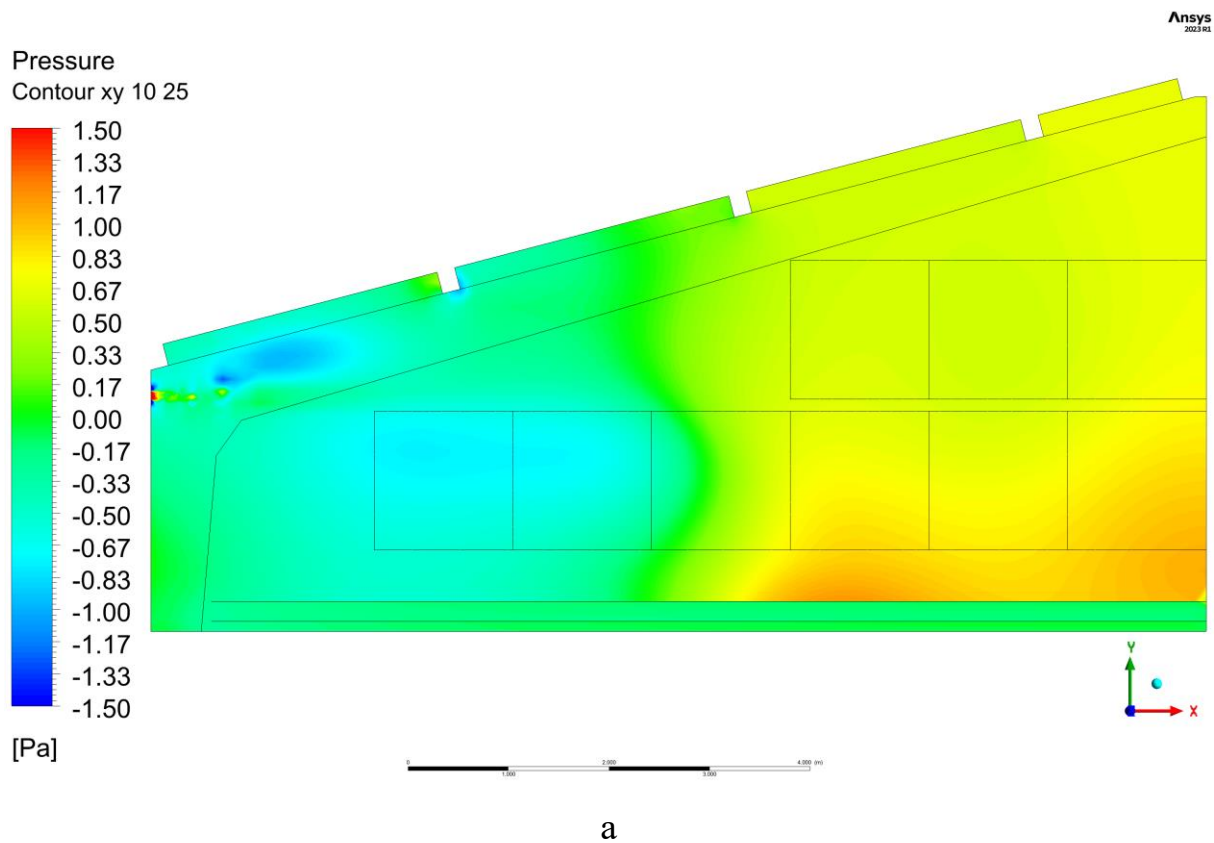
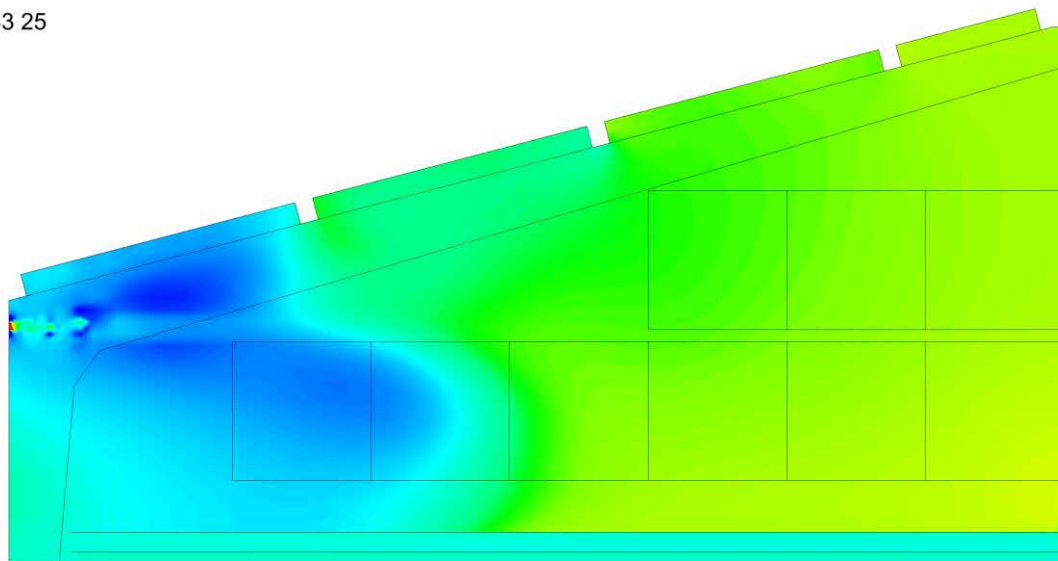
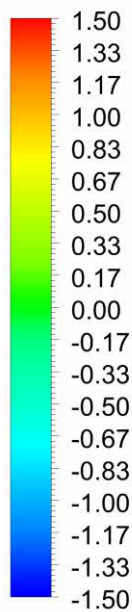


Рис. 5.6. Поле температур ($^{\circ}\text{C}$) у приміщенні пташника по осі xy на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.



Pressure
Contour xy 43 25

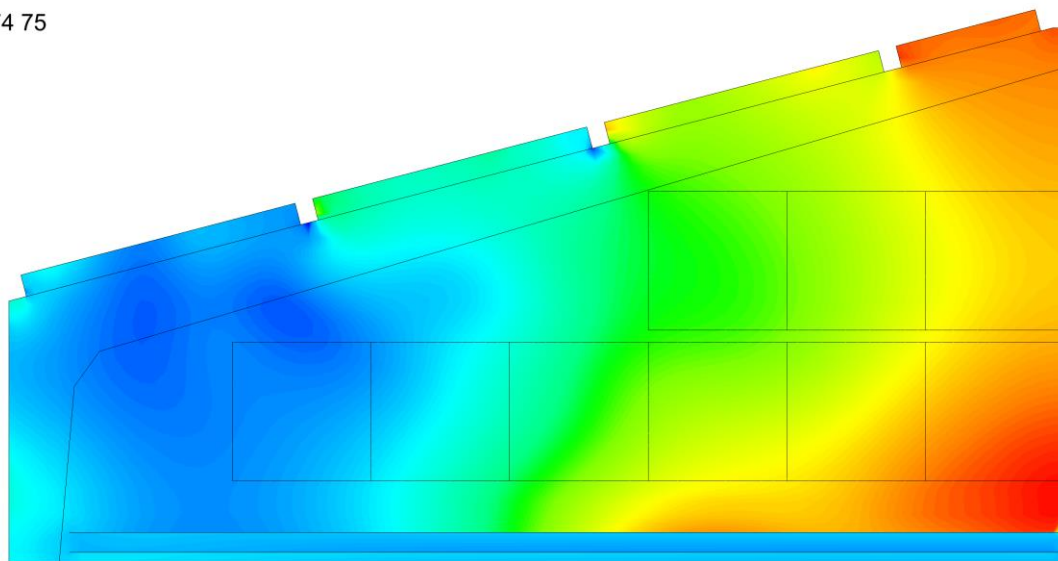
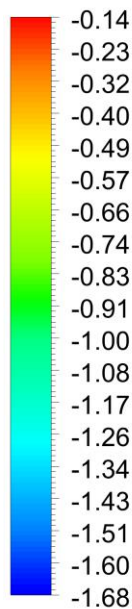


[Pa]



6

Pressure
Contour xy 74 75



[Pa]



B

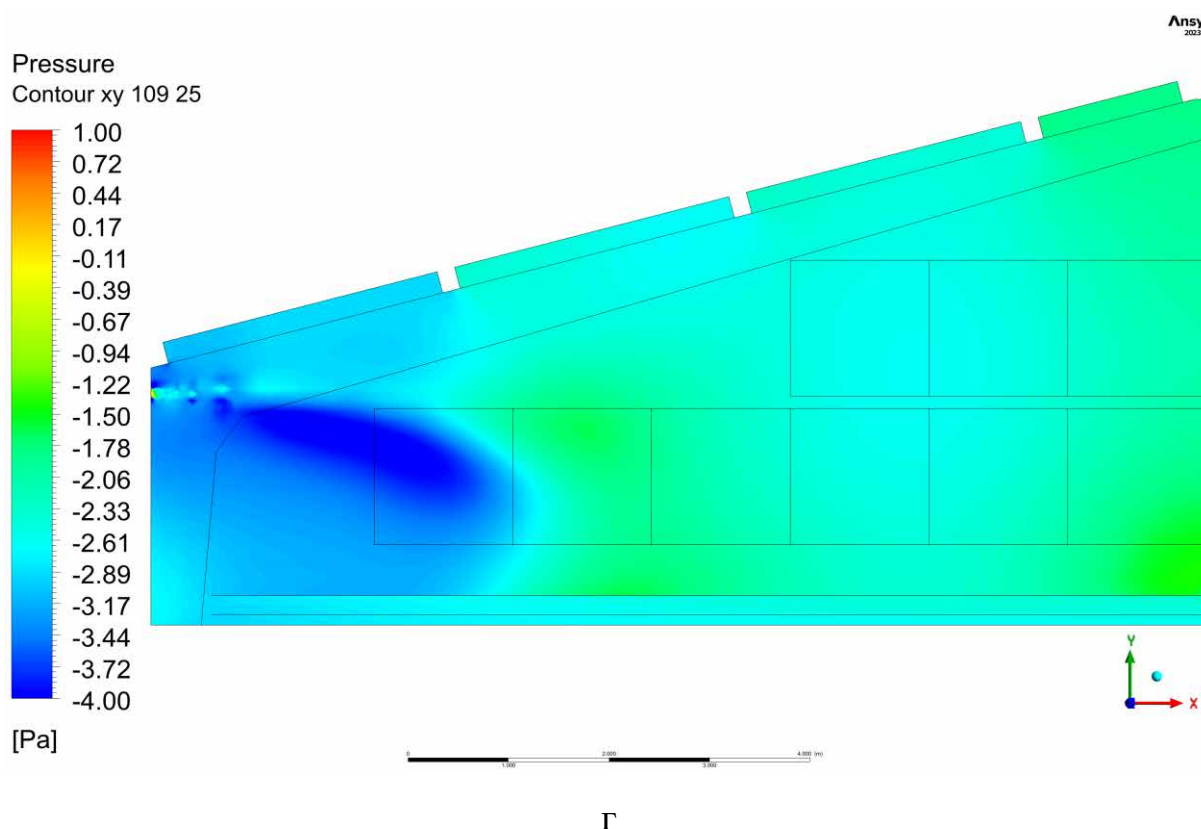
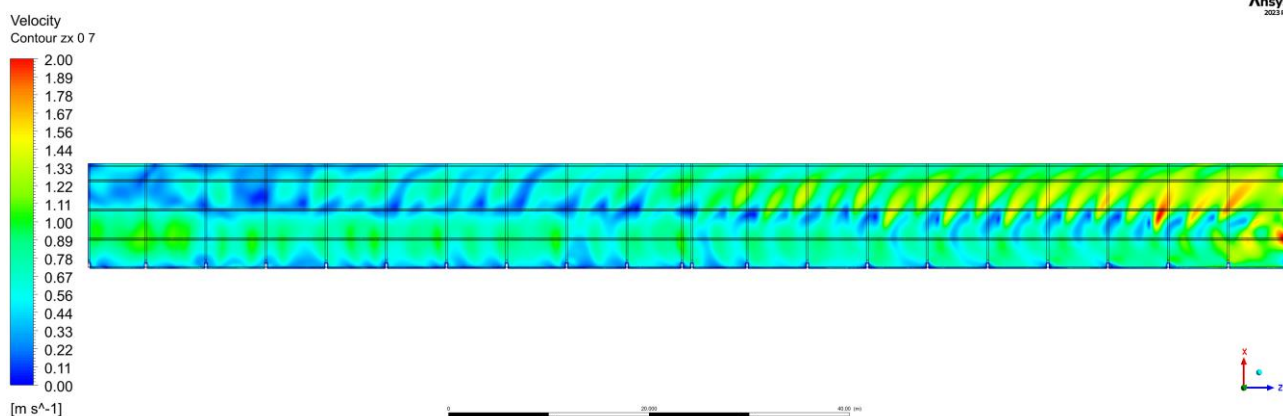
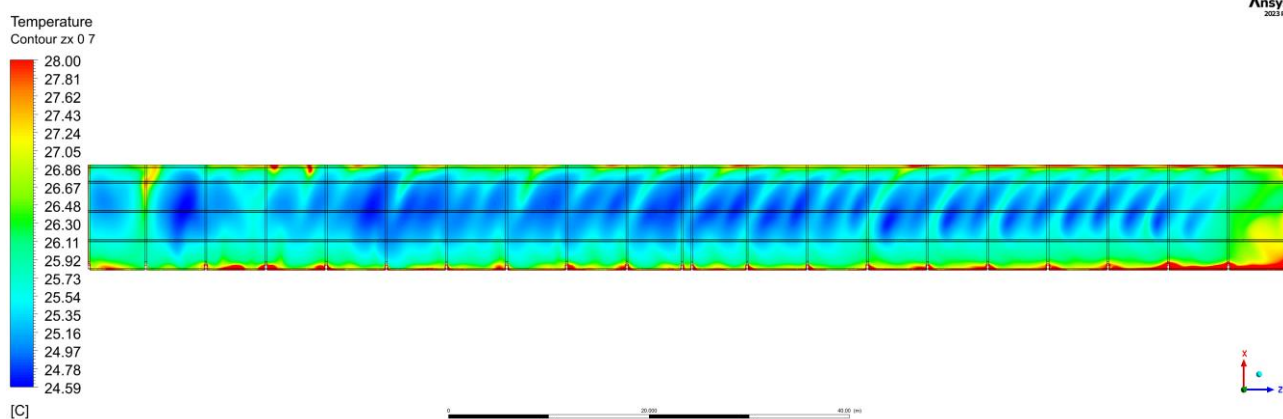


Рис. 5.7. Поле тисків (Па) у приміщенні пташника по осі x у на відстані від передньої торцевої стінки: а – 10,25 м; б – 43,25 м; в – 74,75 м; г – 109,25 м.

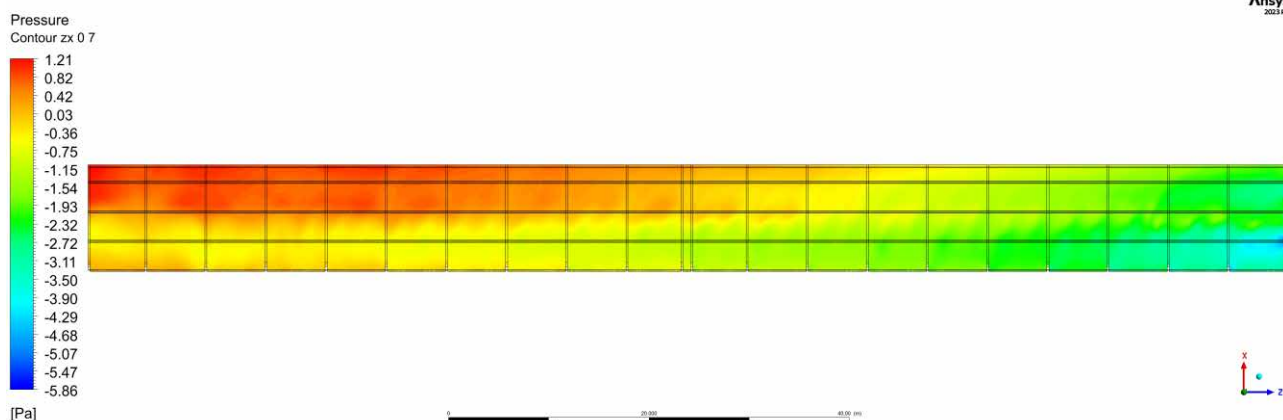
На рис. 5.8 представлено поле швидкостей (рис. 5.8а) та поле температур (рис. 5.8б) на висоті 0,7 м від рівня підлоги. Дані результати є найбільш цікавими та важливими, так як птиця знаходиться на підлоговому утриманні. Враховуючи норми технічного утримання птиці, швидкість повітря поблизу птиці не повинно перевищувати 2 м/с, тому результати на рис. 5.5а показано в межах від 0 м/с до 2 м/с. З огляду на результати представлені на рис 5.3 та високі швидкості повітря на вході у припливних клапанів, які досягають 11,62 м/с, лише у малих зонах швидкість повітря перевищує 2 м/с. Усереднена швидкість повітря на ділянці (див. рис. 5.8а) складає 0,72447 м/с, а тиск -0,385 Па (див. рис. 5.8в). Ці результати показують достатню ефективність системи вентиляції в пташнику.



а



б



в

Рис. 5.8. Поле швидкостей, м/с (а), поле температур, °С (б) і поле тисків, Па (в) у приміщенні пташника по осі zx на висоті 0,7 м від рівня підлоги

Температура повітря у жаркий період року поблизу птиці не повинна перевищувати +28 °С. З огляду результатів чисельного моделювання (див. рис.

5.8б), температура повітря, яка перевищує $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$, займає площу не більше 0,46%. Це показує хорошу ефективність системи охолодження пташника. По середині пташника спостерігаються дещо нижчі температури повітря, які починаються з $+24,59\text{ }^{\circ}\text{C}$. Усереднена температура по всій площі пташника на висоті 0,7 м від рівня підлоги складає $+25,6987\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5.9-5.10 показано розподіл швидкостей повітря в 3D пташнику у межах від 0 до 2 м/с.

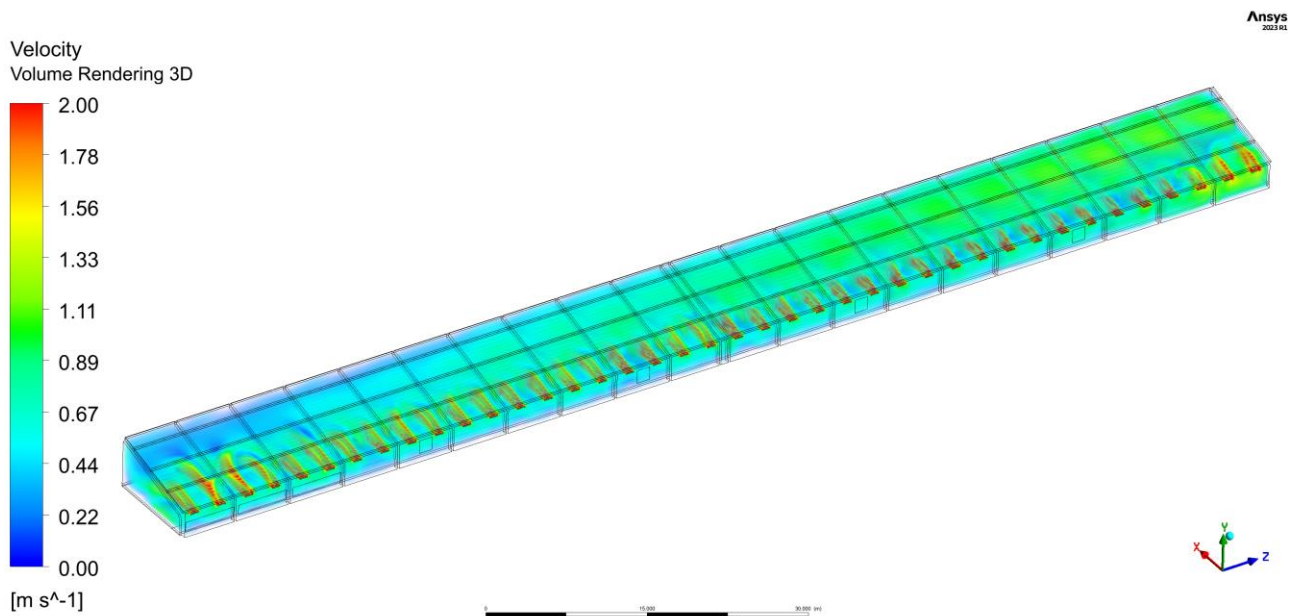


Рис. 5.9. Візуалізація швидкості повітря пташника в межах від 0 до 2 м/с

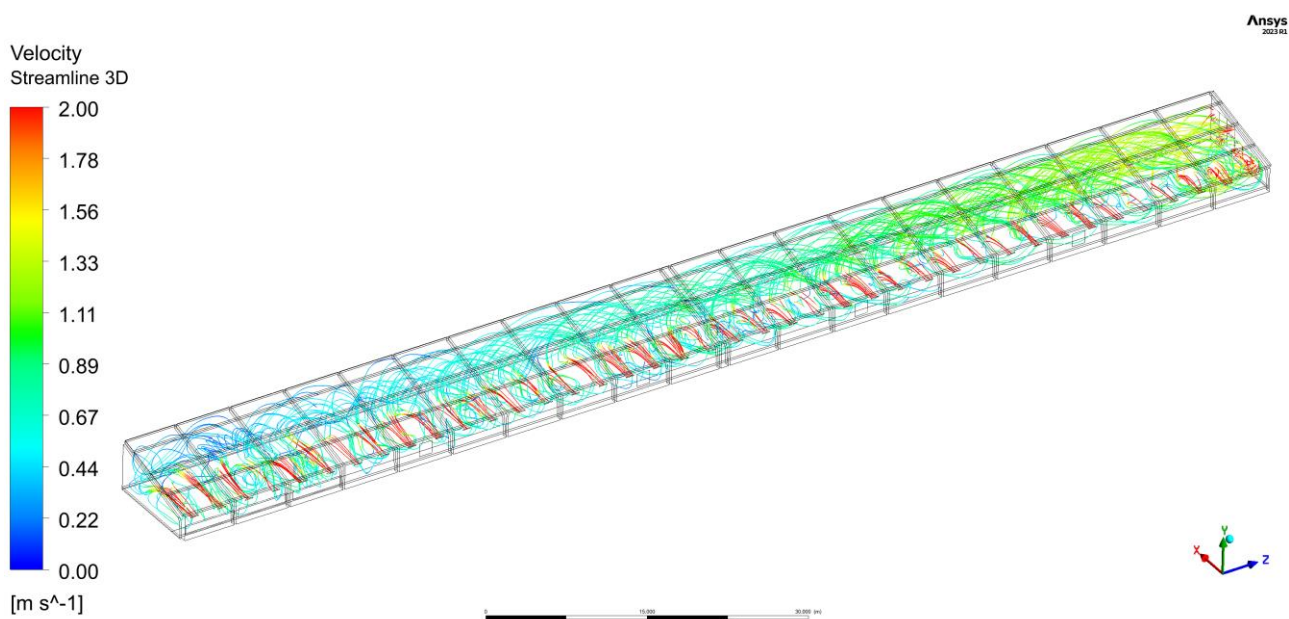


Рис. 5.10. Лінії потоку повітря пташника в межах від 0 до 2 м/с

Як бачимо, клапани працюють ефективно, подаючи свіже охолоджене повітря практично до центру пташника. Близько із середини пташника, його загальної довжини, повітря із клапанів уже не так інтенсивно подає. Спостерігається певне затухання, це супроводжується через наближення повітря до витяжних вентиляторів. Як уже сказано вище, нижні три вентилятори зтягують більшу частину охолодженого повітря. Таким чином, клапани не мають змоги подавати повітря до центру пташника.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінника із компактним розташуванням труб малого діаметра в трубних пучках для охолодження повітря у систем мікроклімату пташників.

2. Проведено розрахунок системи охолодження пташника в теплий період року. Холодильних установок необхідно із загальною потужністю 165842,1 Вт, при зовнішній температурі +40 °С.

3. Проведено розрахунок годинного об'єм витяжного повітря у теплий період року при температурі зовнішнього повітря +40 °С. Без системи охолодження необхідно 901451 м³/год. Для охолодження внутрішнього середовища пташника з використанням теплообмінного обладнання необхідно забезпечити повітрообмін в кількості 289705 м³/год. Температура на виході із теплообмінників повинна складати +20 °С. Обрано вентилятори типу ВО-12,5 в кількості 8 од. Коефіцієнт запасу вентиляційного обладнання складає 10,46 %.

4. Розраховано кожухотрубний теплообмінний апарат нової конструкції. Він розроблявся для монтажу у входні клапани припливного повітря із зовнішньої стінки пташника. Розміри теплообмінника складають 0,85×0,3 м в кількості 80 шт. Знайдено, що потужність такого теплообмінника – 77,5 кВт. Загальні втрати тиску по повітрі складають 3004 Па, по воді 11,9 Па. Потужність двигуна вентиляторів повинна складати не менше 1,352 кВт, а насоса – 1,4 кВт.

5. Результатом чисельного моделювання було досліджено систему охолодження у жаркий період року з температурою зовнішнього повітря +40 °С в 3D для половини пташника. Запропоновано нову систему охолодження пташників за допомогою теплообмінного обладнання, на виході температура якого буде складати +20 °С. В якості охолоджувача пропонується вода з підземних свердловин.

6. Розроблено математичну модель аеродинаміки і теплопереносу в пташнику. В результаті чисельного моделювання отримано розподіли температур, швидкостей та тисків в приміщенні пташника. В результаті

проведеного аналізу поля температур в пташнику показано, що на окремих ділянках температура в середньому складає від $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+27,22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, враховуючи отримані розподіли температур і швидкостей від рівня підлоги до позначки 0,7 м, можна зробити висновок, що при запропонованій системі охолодження дискомфорт відчуватиме не більше 0,46% від загальної кількості птиці. Усереднена швидкість повітря складає 0,72447 м/с, а температура $+25,6987\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає нормованим показникам.

7. Перевагою запропонованої системи охолодження припливного повітря у порівнянні з існуючими полягає в тому, що розподіли температур повітря в пташнику близькі до нормованих і не перевищують $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ у літній період року. Наступною перевагою є зменшення відносної вологості повітря в пташнику, оскільки використання касет випарного охолодження або розпилення води форсунками призводить до перевищення нормованих показників вологості повітря. Це дає змогу покращити параметри мікроклімату та підвищити продуктивність птахофабрики в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог підприємств України ТОП-портал для реклами бізнесу в інтернеті: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ua-region.com.ua/35878908> (дата звернення 17.05.2023).
2. Бізнес-Гід: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vinnicka-ptahofabrika.business-guide.com.ua/> (дата звернення 17.05.2023).
3. Миронівський хлібопродукт: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mhp.com.ua/uk/tov-vinnicka-ptahofabrika-prat-mhp> (дата звернення 17.05.2023).
4. Hoff S. J. (2018). HVAC System. London : “Intech Open Limited”, 2018. 170 с.
5. Liang Y., Tabler G. T., Dridi S. Sprinkler technology improves broiler production sustainability: from stress alleviation to water usage conservation: A mini review. *Front Veterinary Sci*, 2020. Т. 7. С. 689.
6. Investigating applicability of evaporative cooling systems for thermal comfort of poultry birds in Pakistan / Н. М. U. Raza та ін. *Applied Sciences*. 2020. Т. 10, № 13. 4445. <https://doi.org/10.3390/app10134445>.
7. The effect of heat stress on ovarian function of laying hens / I. Rozenboim та ін. *Poultry Science*, 2007. Т. 86, № 8. С. 1760-1765. <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1760>.
8. Kristensen H. H., Wathes, C. M. Ammonia and poultry welfare : a review. *World's Poultry Science Journal*. 2000. Т. 56, № 3. С. 235–245. <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>.
9. James O. Donald. Technology of microclimate of broiler house. *Aviagen Brands*. Huntsville, USA. 2012.
10. Czarick, M., Fairchild. B. Plastic cooling pads are found to be less efficient comparing to paper cool pads, Poultry Housing Tips. *College of Agricultural and Environmental Sciences*. 2014. Т. 24, № 8. С. 64–69.

11. New control strategy against temperature sudden-drop in the initial stage of pad cooling process in poultry houses / X. Hui та ін. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Т. 11, № 1. С. 66–73. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.2479>.

12. 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers / K. Kim та ін. *Biosystems Engineering*. 2008. Т. 100, № 2. С. 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.03.006>.

13. Підприємства птахівництва: відомчі норми технологічного проектування: ВНТП-АПК-04.05//К.- 2005.- 90 с.

14. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник. – К., 2008. – 330 с

15. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель: ДБН В.2.6–31:2021. – [Чинні від 2022–01–31] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2022. – 23 с. – (Державні будівельні норми України).

16. Горобець В.Г., Троханяк В.І. Енергоефективна система підтримання мікроклімату у птахівничих приміщеннях: [Монографія]. – К.: «ЦП «Компринт», 2017. – 193 с

17. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва / І.І. Мартиненко, Б.Л. Головінський, В.П. Лисенко, О.І. Мартиненко, В.М. Решетюк, за ред. І.І. Мартиненка – К.: Урожай, 1995.- 224с.

18. Мельник В.А. Застосування енергозберігаючих джерел і режимів освітлення в птахівництві // Енергозберігаючі технології та автоматизація.- 2004.- №3 (43) .- С.69.

19. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: [підручник] / [Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П. та ін.]; під ред. Мартиненко І.І. – К., 2008. – 330 с.

20. Чепурний М. М. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навчальний посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.

21. Курсове і дипломне проектування. [Навчальний посібник] / [П.С. Кащенко, О.І. Біленко, О.А. Устименко та ін.]. – Київ. «Аграрна освіта», 2008. – 502 с., с. 85.

22. Research of thermal and hydrodynamic flows of heat exchangers for different air cooling systems in poultry houses / V. Trokhaniak та ін. *Machinery & Energetics*. 2023. Т. 14, № 1. С. 68-78. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.68>.

23. Usage of CFD for research on lateral ventilation system in poultry house / V. Trokhaniak та ін. *Engineering for Rural Development*. 2023. Т. 22. С. 582-587. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF120>.