

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

УДК 621.311.1:631.37:628.8:631.227

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор Інституту енергетики  
автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри електротехніки,  
електромеханіки та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./  
вчене звання, науковий ступінь                      підпис

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.  
число                      місяць                      рік

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 р.  
число                      місяць                      рік

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **„ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА  
НА 45000 ГОЛІВ”**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_  
д.т.н., професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Кривонос В.Є.**  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Окушко О.В.**  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
к.т.н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Троханяк В.І.**  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Баліцький А.С.**  
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки та**  
**електротехнологій**  
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ /**ОКУШКО О.В.**/  
(підпис)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
**СТУДЕНТУ**

**Баліцькому Артуру Сергійовичу**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Підвищення енергоефективності електрообладнання системи мікроклімату пташника на 45000 голів”

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 № 1665”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15. 05. 2025

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація електрообладнання, нормативно – правова література .

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Нормативно - правова база енергоефективності.
2. Теоретичні дослідження мікроклімату пташника.
3. Чисельне моделювання системи вентиляції пташника.
4. Електротехнічні дослідження системи мікроклімату пташника.
5. Охорона праці.

Дата видачі завдання 26.09.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ **Окушко О.В.**  
(підпис) (ПІБ)  
\_\_\_\_\_ **Троханяк В.І.**  
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ **Баліцький А.С.**  
(підпис) (ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 74 сторінках , таблиць 12, рисунків 17, кількість використаної літератури - 52 джерела.

Мета роботи - створення енергоефективної системи підтримання мікроклімату в пташнику за рахунок удосконалення розташування витяжного обладнання бічної системи вентиляції.

Об'єкт дослідження – система мікроклімату птахівничого приміщення з підлоговим утримуванням.

Предмет дослідження – взаємозв'язки режимних параметрів енергоефективної системи мікроклімату пташника.

Методи дослідження та апаратура – чисельне моделювання програмного забезпечення ANSYS FLUENT, методи математичної статистики, застосування сучасних приладів та методів вимірювання і обробки результатів за допомогою програмного пакету MathCAD.

У даній роботі було здійснено аналіз нормативно правового забезпечення енергоефективності України, зокрема у птахівництві. Розглянуто перспективи розвитку енергоефективності в Україні.

Було проведено теоретичні та експериментальні дослідження системи мікроклімату пташника у теплий та холодний періоди року.

Проведено чисельне моделювання бічної системи вентиляції пташника. Запропоновані рішення можуть бути використанні при розробці нових систем вентиляції, для підтримання нормованого мікроклімату у птахівництві.

Виконано розрахунок та вибір електроприводу вентиляційного обладнання. Проведено побудову механічної характеристики електродвигуна з урахуванням режимів пуску, номінального навантаження, мінімального моменту та критичного моменту.

Проаналізовано систему охорони праці та заходи забезпечення екологічної безпеки підприємства.

Ключові слова : пташник, мікроклімат, енергоефективність, вентиляція, чисельне моделювання.

За темою роботи автором опубліковано:

Троханяк В.І., Шеліманова О.В., Тарасенко С.Є., Баліцький, А.С. (2023). Дослідження бічної системи вентиляції в пташнику за допомогою CFD. Енергетика: економіка, технології, екологія, № 4, 47-56. Режим доступу: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2023.290893>

Баліцький А.С. Підвищення енергоефективності електрообладнання системи мікроклімату пташника на 45 000 голів. 77-а науково-практична конференція студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК» 25 квітня 2024 року. Київ, Україна. С. 70. Режим доступу до ресурсу: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u37/tezi\\_stud\\_konf\\_2024.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u37/tezi_stud_konf_2024.pdf)

Троханяк В.І., Баліцький А.С. Дослідження бічної системи вентиляції пташника за допомогою CFD. XI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» 6-7 листопада 2024 р. Київ, Україна. С. 238-239. Режим доступу: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/zbirnik\\_2024\\_1.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/zbirnik_2024_1.pdf)

## ABSTRACT

Master's qualification work is set out on 74 pages, tables 12, figures 15, the number of literature used - 51 source.

The purpose of the work is to create an energy efficient system of maintaining the microclimate in the poultry house by improving the location of the exhaust equipment of the lateral ventilation system.

The object of the study is a system of microclimate of a poultry room with floor holding.

The subject of the study is the interconnection of the mode parameters of the energy efficiency system of the poultry microclimate.

Research methods and equipment - numerical modeling of the Ansys Fluent software, mathematical statistics methods, the use of modern devices and methods of measuring and processing results using Mathcad software package.

This work analyzed the normative legal support of Ukraine's energy efficiency, in particular in poultry. Prospects are considered.

Theoretical and experimental studies of the poultry microclimate system were conducted in the warm and cold seasons.

Numerically modeling of the lateral ventilation system. The proposed solutions can be used in the development of new ventilation systems, to maintain a normalized microclimate in poultry.

The calculation and choice of electric drive of ventilation equipment were made. The mechanical characteristics of the motor, taking into account the start-up modes, nominal load, minimum moment and critical moment, were constructed.

The system of labor protection and measures to ensure environmental safety of the enterprise is analyzed.

Keywords: poultry house, microclimate, energy efficiency, ventilation, numerical modeling.

On the topic of work by the author is published:

Trokhanyak V.I., Shelimanova O.V., Tarasenko S.E., Balitsky, A.S. (2023). Investigation of the lateral ventilation system in the poultry house using CFD. Energy: economics, technologies, ecology, № 4, 47-56. Access mode: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2023.290893>

Balitsky A.S. Increasing the energy efficiency of electrical equipment of the poultry microclimate system by 45,000 heads. 77-A Scientific and Practical Conference of Students "Energy Support, Electrotechnology, Electrical Engineering and Intellectual Management Systems in APC" on April 25, 2024. Kyiv, Ukraine. P. 70. Access mode: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u37/tezi\\_stud\\_konf\\_2024](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u37/tezi_stud_konf_2024)

Trokhanyak V.I., Balitsky A.S. Investigation of the lateral ventilation system with CFD. XI International Scientific and Technical Conference "Problems of Modern Energy and Automation in the Nature Management System" on November 6-7, 2024 Kyiv, Ukraine. P. 238-239. Access mode: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/zbirnik\\_2024\\_1.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/zbirnik_2024_1.pdf)

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 НОРМАТИВНО – ПРАВОВА БАЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	9
1.1 Законодавче забезпечення енергоефективності України	9
1.2 Тенденції розвитку енергоефективності України	13
1.3 Законодавче забезпечення енергоефективних заходів у птахівництві	16
1.4 Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА	19
2.1 Огляд системи вентиляції	19
2.2 Розрахунок повітрообміну птахоферми	22
2.2.1. Розрахунок в холодний період року	25
2.2.2. Розрахунок в теплий період року.	26
2.3 Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКА	30
3.1 Огляд літератури	30
3.2 Матеріали та методи досліджень	32
3.3 Результати досліджень	36
3.4 Висновки до розділу 3	43
РОЗДІЛ 4 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПТАШНИКА	44
4.1 Розрахунок та вибір електроприводу	44
4.1.1. Вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання	45
4.1.2. Розрахунок і побудова механічної характеристики електродвигуна	46
4.1.3 Розрахунок і побудова механічної характеристики робочої машини	49
4.1.4 Визначення тривалості пуску електродвигуна	51
4.2 Схема керування електродвигуном	54
4.3 Висновки до розділу 4	58
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
5.1 Безпека життєдіяльності на підприємстві	59
5.2 Екологічний вплив на навколишнє середовище	60
5.3 Висновки до розділу 5	65
ВИСНОВКИ	66

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

## ВСТУП

У процесі тривалого утримання птиці в закритих приміщеннях з обмеженим простором для руху та високою щільністю посадки, пріоритетним завданням стає забезпечення сприятливого мікроклімату. Це необхідно для підтримання здоров'я птиці, збереження її продуктивності. Залежно від температурних умов навколишнього середовища, повітря, яке подається у вентиляційну систему, умовно поділяють на три періоди: холодний, перехідний та теплий.

Існує потреба у впровадженні нових методів і підходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування птахофабрик шляхом оптимізації мікроклімату у пташниках. Основним завданням є забезпечення ефективного регулювання температури повітря, яке подається до приміщень, зокрема в умовах літньої спеки та зимового холоду. Актуальність цієї проблеми зумовлена недосконалістю наявних систем мікроклімату, які не забезпечують належних умов утримання птиці за підвищених температур і вологості влітку. Крім того, сучасні системи електропостачання супроводжуються високими енерговитратами, що значно впливає на економічну ефективність підтримання стабільного мікроклімату в пташниках.

Основною задачею є пошук нових підходів та принципів задля вирішення проблеми охолодження та нагрівання припливного повітря птахівничих приміщень у літній і зимовий період.

Головною метою роботи є створення енергоефективної системи підтримання мікроклімату в птахівничих приміщеннях за рахунок удосконалення розташування витяжного обладнання бічної системи вентиляції.

## РОЗДІЛ 1

### НОРМАТИВНО – ПРАВОВА БАЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

#### 1.1 Законодавче забезпечення енергоефективності України

Удосконалення енергетичної законодавчої бази України є ключовим пріоритетом і важливим напрямом у реалізації енергетичної стратегії держави. Енергетичне право є важливим інструментом державної політики енергозбереження, що відображає соціальну спрямованість держави на раціональне та економне використання енергії та природних ресурсів у національному господарстві, використовуючи технічні, економічні та правові методи впливу [1, ст.21]. Структура правового забезпечення складається з:

- правового регулювання;
- організаційно – функціонального забезпечення;
- юридичної відповідальності [1, ст.22].

Будь-які економічні, інституційні та інші зміни сфери енергозбереження мають базуватися виключно на положеннях законів України. Саме вони мають бути базою правового регулювання енерго-відносин. Регулювання має бути чітким та детальним, що зробить прозорим застосування законодавства та зменшить прийняття підзаконних нормативно-правових актів [1, ст.22].

Розвиток правового регулювання має стати основним напрямом міжнародної співпраці та появи багатосторонніх угод, які допоможуть реалізувати цілі енергетичної стратегії та забезпечення національних інтересів України [1, ст.24].

Питання енергоефективності було підняте із набуттям незалежності нашої держави. З метою подолання енергетичної кризи, зменшення залежності від імпорту енергоресурсів та у відповідь на падіння продуктивності підприємств, було прийнято ряд постанов, спрямованих на скорочення енергоспоживання в промисловості та аграрному секторі.

Законодавство сфери енергозбереження, як галузь національного законодавства була започаткована прийняттям Закону України «Про енергозбереження» (№ 74/94-ВР від 1 липня 1994 р.) [2], він визначає основи енергобезпеки та зобов'язує впроваджувати енергоощадні технології. Проте як і більшість законів того часу, не рахується законом прямої дії і частина цих норм мають декларативний характер. Таким чином, основний інструмент правового регулювання та державного впливу на сферу енергозбереження протягом останніх років – це підзаконні нормативно-правові акти, а саме: укази Президента України, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України та накази Держенергоефективності [1, ст.25].

На сьогодні у сфері енергозбереження діє велика кількість нормативно-правових актів, система стандартів та значна кількість нормативно-методичних документів [3, ст.22].

Особливу увагу питанню енергоефективності приділили у 2014 році, коли Україна взяла курс на євроінтеграцію. Це передбачило імплементацію багатьох європейських директив. Як результат, прийняття у 2017 році Закону України «Про енергоефективність будівель» [4], а у 2021 році було схвалено Закон України «Про енергетичну ефективність» [5], який став рамковим нормативним актом, що адаптує українське законодавство до вимог Європейського Союзу відповідно до Директиви (ЄС) 2018/2002 [6]. Він регламентував такі обов'язкові процедури :

- енергоаудити;
- створення національного плану енергоефективності;
- впровадження енергоменеджменту;
- стимулювання використанню відновлюваних джерел енергії.

Також варто зазначити і інші не менш важливі закони що стосуються енергоефективності.

- Закон України "Про енергетичну ефективність будівель" (№2118-VIII від 22.06.2017) [4]. Забезпечує прозорість енергоспоживання для користувачів і стимулює інвестування в енергоефективні технології в

будівництві. Закон також встановлює вимоги до проектування, реконструкції та експлуатації будівель з урахуванням енергетичних характеристик, що має на меті зниження споживання енергії та витрат на її забезпечення.

- Закон України "Про альтернативні джерела енергії" (№555-IV від 20.02.2003) [7]. Він сприяє розвитку альтернативних (відновлюваних) джерел енергії як складової частини енергоефективної політики. Закон визначає правові засади підтримки виробництва та використання "чистої енергії", зокрема шляхом встановлення пріоритетного доступу до електромереж, тарифної підтримки та державного стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику.

- Закон України "Про альтернативні види палива" (№1391-XIV від 14.01.2000) [8]. Даний закон визначає організаційні та технічні засади виробництва та використання альтернативних видів палива, до яких належать біопаливо, біогаз, тверде біомасове паливо тощо. Особлива увага приділяється питанням сертифікації, екологічної безпеки використання таких ресурсів, а також механізмам державної підтримки виробництва альтернативного палива. Закон є важливим елементом загальної стратегії з декарбонізації паливно-енергетичного сектору.

- Закон України "Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації" (№ 327-VIII від 09.04.2015) [9]. Цей закон створив правові та економічні засади для впровадження енергосервісу в Україні, що дозволяє бюджетним установам здійснювати енергомодернізацію без залучення додаткових бюджетних коштів. Це сприяє підвищенню енергоефективності, зниженню витрат на енергоресурси та залученню приватних інвестицій у сферу енергозбереження.

Згідно асоціації з Європейським Союзом та членства в Енергетичному Співтоваристві, наша держава зобов'язалась імплементувати європейські директиви до свого законодавства.

- Директива 2018/2002/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 11 грудня 2018 року [6], якою вносяться зміни до директиви 2012/27/ЄС.

Основними елементами є: запровадження національних цілей енергоефективності, визначення вимог до енергетичних аудитів та енергоменеджменту, створення фонду енергоефективності та регулювання діяльності енергосервісних компаній.

- Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року [10], згідно даної директиви було введено систему енергетичної сертифікації будівель, встановлено мінімальні вимоги енергоефективності нових та реконструйованих будівель, розробляються вимоги щодо будівель з майже нульовим споживанням, та обов'язкову сертифікацію державних будівель.

- Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/125/ЄС від 21 жовтня 2009 року [11], імплементація даної директиви ще триває, і наше законодавство зобов'язується: гармонізувати технічні регламенти згідно європейських, створити бази ефективності продукції, адаптація стандартів для окремих груп товарів.

- Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2017/1369 від 4 липня 2017 року [12], він встановлює обов'язкове маркування побутової техніки, перехід України до європейської системи маркування (A-G), та створення власної бази як аналог європейського реєстру EPREL.

Імплементації європейських директив у наше законодавство, з урахуванням статусу, див. табл.1.1.

Ці нормативні акти в сукупності з розпорядженнями та постановами Кабінету Міністрів України здійснили прямий або посереднього впливу змогли інтегрувати систему державного контролю сфери енергозбереження. Впровадити систему енергоаудиту, енергоменеджменту, систему державної експертизи та національні стандарти. Також вони дають змогу введення санкцій за порушення законодавства у даній сфері. Вдосконалення нормативної бази було спрямовано на: внесення до Кодексу України про адміністративні правопорушення відповідальності за порушення законодавства у сфері

енергозбереження [13], впровадження системи енергетичного менеджменту згідно постанови № 1460 від 23 грудня 2021 року [14].

Таблиця 1.1

### Відповідність директив ЄС та українських нормативно-правових актів

Директива Європейського Союзу	Український нормативно-правовий акт	Статус імплементації
Директива 2018/2002/ЄС	Закон України «Про енергетичну ефективність» 2021 р.	Часткова імплементація
Директива 2010/31/ЄС	Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» 2017 р.	Чинна
Директива 2009/125/ЄС	Законопроект + технічні регламенти окремих секторів	В процесі
Регламент 2017/1369	Постанова № 164 «Технічний регламент» 2022 р., Закон "Про енергетичну ефективність" 2021 р.	Чинна

Задля підтримки розвитку альтернативних та відновлювальних джерел енергії було прийнято Постанову №1505 Про Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики [15].

## 1.2 Тенденції розвитку енергоефективності України

Щодо майбутньої стратегії України ми маємо схваленні Розпорядження від 21 квітня 2023 року № 373-р, «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року [16], та Розпорядження від 13 серпня 2024 року №761-р, «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання» [17].

Відповідно до цього плану, частка відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії у 2030 році становитиме 27%, а саме: в системах теплопостачання та холодопостачання – 33 %; у виробництві електроенергії – 29 %; у транспортному секторі – 17 %.

Основними цілями є: – скорочення викидів парникових газів на 65% у порівнянні з рівнем 1990 року; – досягнення 27% частки відновлюваних джерел енергії у загальному кінцевому енергоспоживанні; – поглиблення диверсифікації джерел і шляхів постачання енергоресурсів – не більше 30% від одного постачальника; – первинне споживання енергії не більше 72,224 млн тонн нафтового еквівалента, кінцеве споживання енергії 42,168 млн [18].

Енергетична стратегія України до 2050 року має на меті забезпечення сталого розвитку національної економіки шляхом забезпечення доступу до надійних, стійких та сучасних джерел енергії [19].

До 2050 року передбачається трансформація енергетичного сектору в напрямі досягнення максимальної кліматичної нейтральності. Це передбачає забезпечення споживачів чистою енергією, ліквідацію енергетичної бідності, розвиток інноваційної та децентралізованої енергосистеми, а також ефективне функціонування внутрішніх енергетичних ринків із подальшою їх інтеграцією до міжнародного енергетичного простору.

Енергетична стратегія базуватиметься на цільових показниках розвитку економіки у відповідності до Національної економічної стратегії на період до 2030 року. А також на міжнародних зобов'язаннях, взятих Україною – в першу чергу, в рамках Угоди про Асоціацію України з ЄС та Паризької кліматичної угоди [19].

Цілями Енергетичної стратегії України 2050 є:

- Досягти максимального рівня кліматичної нейтральності;
- Максимальне скорочення використання вугілля в енергетичному секторі;
- Оновлення та модернізація енергетичної інфраструктури;
- Підвищення ефективності використання ресурсів в енергетичному секторі;

- Всебічна інтеграція з ринками Європейського Союзу та ефективне функціонування внутрішніх ринків;
- Забезпечення енергетичного сектору власними ресурсами з урахуванням економічної доцільності;
- Розвиток альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі [19].

Розпорядженням Кабінету Міністрів України вже було розроблено план заходів з реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Він включає в себе заходи реалізації усіх підрозділів Енергетичної стратегії. У цьому плані чітко визначені кроки, що необхідні для реалізації цього плану, призначено відповідальні органи за виконання цих заходів, чіткі терміни виконання, визначено індикатори виконання даних заходів та необхідне фінансування. До прикладу у табл. 1.2 наведено план для 2 заходів саме підрозділу енергоефективності.

Таблиця 1.2

**План заходів реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2050 року**

Найменування заходу	Кроки, необхідні для реалізації заходу	Відповідальні за виконання	Строк виконання	Індикатор виконання	Фінансування заходу
Відновлення та реконструкції будівель і енергетичної інфраструктури	Розробка національної комплексної програми відновлення та реконструкції будівель і енергетичної інфраструктури	Мінінфраструктури Міненерго	до 2025 року	Прийнято розпорядження Кабінету Міністрів України	Не потребує
Сприяння підвищенню енергоефективності для малих та середніх підприємств	Запуск програми фінансової підтримки для підвищення енергоефективності для малих та середніх підприємств	Мінінфраструктури Міненерго Держенергоефективності	до 2032 року	Прийнято постанову Кабінету Міністрів України	Буде визначено додатково

### **1.3 Законодавче забезпечення енергоефективних заходів у птахівництві**

Розвиток агропромислового комплексу України в сучасних умовах залежить не лише від підвищення енергоефективності, а й від оптимального використання ресурсів. Здатність досягти високої продуктивності з мінімальними витратами ресурсів - є запорукою ефективного функціонування агропромислового комплексу, в тому числі й в птахівництві. В умовах зростання цін на енергоносії та стратегії нашої країни у намаганні досягти кліматичної нейтральності, це питання набуває особливого ставлення. Вкрай необхідним є впроваджувати сучасні технології, дотримуватися стандартів, та звісно підтримка держави на законодавчому рівні. Фундаментом цього є нормативно правове забезпечення.

Розглянемо основні підзаконні акти та норми що стосуються енергоефективності у птахівництві.

- ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [20]. Використання даної будівельної норми є обов'язковою частиною при проектуванні чи реконструкції пташника. Оскільки у пташниках критично важливим завданням є дотримання оптимальних параметрів мікроклімату. Він встановлює мінімальні значення опору тепловіддачі, вимагає врахування тепловтрат при проектуванні, обов'язкову оцінку класу енергоефективності, як результат все це напряду впливає на продуктивність птиці та енергоефективність підприємства.

- ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування" [21]. Ці Норми встановлюють вимоги проектування до систем опалення і внутрішнього теплопостачання, загальнообмінної та аварійної вентиляції, повітряного опалення, кондиціонування й охолодження повітря будівель і споруд з метою забезпечення нормованих санітарно-епідеміологічних параметрів мікроклімату приміщень, виконання вимог безпеки та охорони навколишнього середовища, раціонального використання енергетичних

ресурсів під час експлуатації. Їх застосовують при новому будівництві, реконструкції, термомодернізації, капітальному ремонті та технічному переоснащенні існуючих систем.

- ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту» [22].

Оскільки птахівництво є однією з найбільш енергоємних галузей, впровадження даного стандарту дозволяє: оптимізувати енергоспоживання через системний підхід до управління енергією, зменшити її витрати, сприяє підвищенню конкурентоспроможності, та покращенню екологічних показників.

- ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» [23]. Ці державні санітарні правила чітко встановлюють відстань розташування птахофабрик до житлових забудов. Вони також несуть певні вимоги щодо водопостачання та каналізаційних систем.

- Також варто відзначити державні програми підтримки енергоефективності. До прикладу Фонд енергоефективності. Його було утворено з метою підтримки ініціатив щодо енергоефективності, впровадження інструментів стимулювання і підтримки здійснення заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності будівель та енергозбереження з урахуванням національного плану щодо енергетичної ефективності, зменшення викидів двоокису вуглецю з метою виконання Паризької угоди, впровадження *acquis communautaire* Європейського Союзу та Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, забезпечення дотримання Україною міжнародних зобов'язань у сфері енергоефективності [24].

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

У результаті аналізу чинної нормативно-правової бази у сфері енергоефективності можна зробити висновок, що законодавча система України поступово розвивається та трансформується відповідно до сучасних вимог сталого розвитку та європейських стандартів. Євроінтеграційний курс забезпечив імплементацію ключових європейських директив.

Законодавчі акти визначають правові механізми впровадження енергозбереження, стимулювання використання відновлюваних джерел енергії, проведення енергоаудитів та енергоменеджменту.

Головними викликами залишаються повна імплементація європейських директив, створення ефективних механізмів контролю та розробка галузевих стандартів.

Існуюча нормативно-правова база створює передумови для реалізації енергоефективних заходів у птахівництві, однак потребує подальшого вдосконалення та впровадження ефективних механізмів контролю.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ПТАШНИКА

#### 2.1 Огляд системи вентиляції

Створення оптимального мікроклімату в пташниках забезпечує повноцінну реалізацію фізіологічних можливостей птиці та сприяє досягненню її максимальної продуктивності. Для цього встановлено нормативні показники оптимальних або допустимих параметрів мікроклімату, які включають: об'єм свіжого повітря, що подається в пташник у холодний і теплий періоди року; температуру, вологість та швидкість руху повітря; рівні концентрації шкідливих газів, пилу і мікробного забруднення; інтенсивність шуму; показники освітленості та тривалість світлового режиму [25, ст.608].

Оптимальний мікроклімат у пташнику являє собою сукупність зовнішніх чинників, які забезпечують найкращі умови для життєдіяльності та продуктивності птиці. Порушення цих умов викликає значні фізіологічні зміни в організмі, що негативно впливає на загальну ефективність вирощування та зменшує продуктивність птахів.

У процесі вирощування, птиця виділяє значну кількість тепла, а разом з тим – вуглекислий газ, аміак і сірководень, які потрапляють у повітря приміщення, та вражають їх імунітет. У результаті в пташнику накопичується надлишкове тепло та волога, а також зростає рівень концентрації шкідливих газів. Коли температура повітря, нижче оптимального рівня, частина спожитого корму витрачається не на ріст чи продуктивність, а на підтримку теплового балансу в організмі. У свою чергу, при підвищеній температурі у птиці знижується апетит, що негативно впливає на її розвиток. Крім того, підвищена вологість повітря створює сприятливі умови для розвитку простудних захворювань, псує стан підстилки, та може призводити до корозії обладнання, прискореного зносу та навіть пошкодження металевих і дерев'яних конструкцій пташника. А поєднання підвищених температури та вологості, можуть

спричинити навіть тепловий удар для птиці. У перші тижні життя температура повітря має найбільш негативний вплив на птицю. У цей період необхідно особливо ретельно контролювати необхідні параметри температури, табл.2.1.

Оптимальна відносна вологість для бройлера складає 60 – 70%. Верхня межа близько 65 – 70% найбільш важлива у перші дні вирощування, це пов'язано з тим, що висока температура, яка необхідна молодняку, висушує повітря.

Таблиця 2.1

**Рекомендовані параметри температури та вологості у пташнику при вирощуванні бройлерів**

Вік птиці, днів	Температура приміщення, °С	Відносна вологість повітря, %
1-7	33-30	75-70
8-16	29-27	70-65
17-25	25-23	65-60
26-35	22-21	60
36-42	20	60

Надалі, вологість може трохи змінюватися, пропорційно зростанню птиці, не нижче 55 – 60%. У свою чергу, підвищена вологість (понад 75%) сприяє розвитку грибку, патогенної мікрофлори, збільшенню концентрації аміаку, а також погіршує стан підстилки. Як наслідок, зниження імунітету, незадовільні гігієнічні норми приміщення та розлад дихання птиці. Вологість повітря менше 50% викликає висушування слизових оболонок дихальних шляхів птиці, підвищуюючи ризик респіраторних захворювань. Також низька вологість підвищує забрудненість повітря пилом, що також впливає на продуктивність та здоров'я птахів.

Вологість надходить у пташник в результаті дихання та випаровування з поверхні птиці, випаровування вологи з посліду та підстилки, при роботі системи поїння (особливо при протіканні), та у процесі зволоження повітря за допомогою форсунок. До прикладу, 500 бройлерів виділяють вологи близько

114 л на добу, 24 л. на добу в результаті дихання птиці, з посліду та підстилки близько 74 л/добу. Це близько 85% від усієї вологи яка виділяється.

У пташниках повітрообмін здійснюється вентиляційними системами, рис. 2.1, які забезпечують необхідну швидкість руху повітря відповідно до встановлених норм. Вентиляція є ключовим елементом регулювання мікроклімату, підтримуючи належну якість повітря та створюючи температурні умови, комфортні для птиці. Завдяки вентиляції до приміщення надходить свіже повітря, а також ефективно виводяться надлишкова волога, шкідливі гази та продукти обміну, що можуть накопичуватися в повітряному середовищі пташника [26, ст. 123-126].

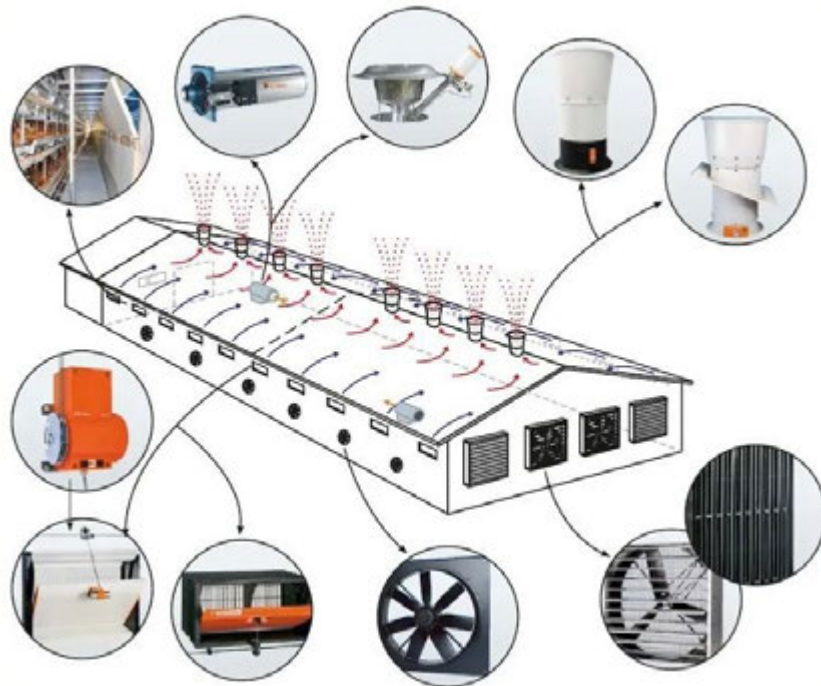


Рис 2.1 Комплексна система забезпечення мікроклімату у пташнику

На даний час, сучасними технологіями передбачено різні типи вентиляції, їх можна поділити на: природну, механічну та комбіновані системи. Пташники з природною вентиляцією працюють за рахунок припливу свіжого повітря через регульовані входні жалюзі та видалення використаного повітря через вікна, розташовані у верхній частині приміщення. Проте ця система є малоефективна при екстремальних температурах чи скупченні великого поголів'я птиці.

Механічна система визначає більші виробничі показники, дає змогу точного контролю параметрів мікроклімату, та є економічно вигіднішою. Залежно від розміщення вентиляційного обладнання та руху повітряних потоків, така вентиляція може бути: поперечною, повздовжньою, вертикальною, тунельною чи бічною.

У даній роботі ми розглядаємо саме бічну систему вентиляції. Основною перевагою даної системи є – рівномірний розподіл повітря по всьому об'єму приміщення. Ця система працює по принципу, де повітря надходить через спеціальні клапани, які розташовані по довжині бічних стін, а видалене повітря виходить через витяжні вентилятори. Це допомагає уникнути обдуванню птиці, та зменшенню застійних зон у пташнику.

До основних характеристик бічної системи вентиляції входять:

- постачання свіжого повітря – необхідна умова забезпечення достатнього рівню кисню;
- контролювання температури – дозволяє регулювання потоку повітря, яке входить;
- регулювання вологості – відводить зайву вологу, утворену від дихання птахів та інших джерел, тим самим зпобігає утворенню конденсату та плісняви;
- усунення запахів та шкідливих речовин – що забезпечує свіже та безпечне середовище для птахів;
- забезпечення рівномірного розподілу повітря - забезпечує рівномірний обмін повітря та уникнення затхлості.

## **2.2 Розрахунок повітрообміну птахоферми**

Об'єм припливного повітря визначають з розрахунку розчинення вуглекислого газу до допустимої концентрації і гранично допустимого вмісту водяних парів. При такому повітрообміні проходить поглинання і інших

шкідливих виділень (аміаку, пилу), що міститься в приміщенні у значно менших кількостях [27, ст. 24].

Годинний об'єм припливного повітря ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), необхідного для пониження концентрації  $\text{CO}_2$ , визначають за формулою [27, ст. 24-25]:

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{c \cdot n \cdot m \cdot k_t}{c_1 - c_2}, \#(2.1)$$

де  $c$  – кількість  $\text{CO}_2$ , що виділяється однією птицею,  $c=1.44$  л/год;

$c_1$  – гранично допустима кількість  $\text{CO}_2$  у повітрі приміщення [27],  $c_1=1.8$  л/м<sup>3</sup>;  $c_2$  – концентрація  $\text{CO}_2$  у зовнішньому повітрі,  $c_2 = 0.3 \dots 0.4$  л/м<sup>3</sup>;

$m$  – маса птиці;

$n$  – кількість птиць в приміщенні;

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

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

$$Q_w = \frac{W}{(d_b - d_3) \cdot \rho}, \#(2.2)$$

де,  $d_b$ ,  $d_n$  – вологовміст внутрішнього і зовнішнього припливного повітря, за допустимої відносної вологості для птиці, який визначається за допомогою Н-d діаграми:  $d_b = 9.1$ ;  $d_3 = 0.5$ .

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

$$\rho = \frac{346 \cdot p}{273 + t_{\text{вн}} \cdot 99.3}, \#(2.3)$$

де  $p$  – розрахунковий барометричний тиск в даному районі,  $p = 98$  кПа;

розрахунковий барометричний тиск для України, 99.3 кПа;

$t_{\text{вн}}$  – температура повітря в приміщенні.

Визначення сумарного волого виділення в пташнику за формулою (г/год):

$$W = W_{\text{пт}} + W_{\text{вип}} + W_{\text{пос}}, \#(2.4)$$

Виділення вологи з птиці:

$$W_{пт} = n \cdot m \cdot w \cdot k_t, \#(2.5)$$

де  $w$  – виділення водяної пари однією твариною,  $w=3.75$  (г/год).

Волога, що випаровується з мокрих поверхонь приміщення (г/год):

$$W_{вип} = 0.1 \cdot W_{пт}, \#(2.6)$$

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

$$W_{пос} = \frac{n \cdot P_{пос} \cdot Z}{24}, \#(2.7)$$

де  $P_{пос}$  – середньодобовий вихід посліду від однієї птиці, для курей м'ясної породи;

$Z$  – коефіцієнт, який враховує сушіння посліду, для курей м'ясної пород,  $Z=0.7$ ;

Годинний об'єм витяжного повітря ( $m^3/год$ ), необхідного для видалення надлишкової теплоти:

$$Q_T = \frac{3.6 \cdot (\Phi_{пт} + \Phi_{ог}) \cdot (1 + a \cdot t_{вн})}{c_p \cdot \rho \cdot (t_{зов} - t_{вн})}, \#(2.8)$$

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

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

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

$t_{зов}$  – температура повітря зовні;

$c_p$  – питома об'ємна теплоємність повітря при температурі  $0^\circ C$  і нормальному тиску,  $c_p = 1.0056$  (кДж/(кг·К)).

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, для газів,  $K^{-1}$ :

$$a = \frac{1}{273 + t_{вн}}, \#(2.9)$$

Об'єм будівлі,  $m^3$ , визначається:

в залежності від форми конструкції пташника, ставимо значення 0 або 1. 0

– форма прямокутного паралелепіпеда, 1 – традиційна форма.

$$V_{п} = if \left\{ -0.9 < Тип < 0.9, M_{п} \cdot L_{п} \cdot H_{п}, \left( M_{п} \cdot H_{п} + \frac{M_{п} \cdot h_{п}}{2} \right) \cdot L_{п} \right\}, \#(2.10)$$

$L_{\text{п}}$  – довжина приміщення;

$M_{\text{п}}$  – ширина приміщення;

$H_{\text{п}}$  – висота приміщення;

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

Тепловий потік вільної теплоти птиці, кДж/год, визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{пт}} = q_{\text{пт}} \cdot n \cdot m \cdot k_t, \#(2.11)$$

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

Втрати теплоти через зовнішні огорожі, кДж/год, визначаються за формулою:

$$\Phi_{\text{ог}} = V_{\text{п}} \cdot q_0 \cdot (t_{\text{зов}} - t_{\text{вн}}), \#(2.12)$$

$q_0$  – теплова характеристика приміщення, кДж/м<sup>3</sup>·°С·год. Для утеплених тваринницьких приміщень  $q_0 = 2,1-2,9$ , для не утеплених  $q_0 = 2,9-5,1$ .

Припливна механічна вентиляція здійснюється за допомогою відцентрових вентиляторів. Подачу вентиляторів  $Q_{\text{в}}$  (м<sup>3</sup>/год) приймають в залежності від розрахункового повітрообміну з врахуванням поправочного коефіцієнта на втрати повітря в повітропроводах:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{CO}_2} \cdot 1.15, \#(2.13)$$

коефіцієнт на втрати повітря в повітропроводах (1.1...1.15);

### 2.2.1. Розрахунок в холодний період року

Годинний об'єм припливного повітря (м<sup>3</sup>/год), необхідного для пониження концентрації CO<sub>2</sub>:

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{1.44 \cdot 45000 \cdot 3 \cdot 1}{1.8 - 0.3} = 129600, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Годинний об'єм витяжного повітря (м<sup>3</sup>/год), необхідного для видалення пари:

$$Q_{\text{w}} = \frac{937500}{(9.1 - 0.5) \cdot 1.177} = 92618, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Розрахунок густини повітря при температурі приміщення, (кг/м<sup>3</sup>):

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

Визначення сумарного волого виділення в пташнику, (г/год):

$$W = 506250 + 50625 + 380625 = 937500, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

Виділення вологи з птиці, (г/год):

$$W_{\text{пт}} = 45000 \cdot 3 \cdot 3.75 \cdot 1 = 506250, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

Волога, що випаровується з мокрих поверхонь приміщення, (г/год):

$$W_{\text{вип}} = 0.1 \cdot W_{\text{пт}} = 0.1 \cdot 506250 = 50625, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

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

$$W_{\text{пос}} = \frac{45000 \cdot 290 \cdot 0.7}{24} = 380625, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

Подачу вентиляторів, (м<sup>3</sup>/год):

$$Q_{\text{в}} = 129600 \cdot 1.15 = 149040, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Кратність повітрообміну  $K_0$ , визначається за виразом:

$$K_0 = \frac{Q_{\text{в}}}{V_{\text{п}}};$$

$$K_0 = \frac{149040}{9979.2} = 14.94.$$

### 2.2.2. Розрахунок в теплий період року.

Годинний об'єм припливного повітря (м<sup>3</sup>/год), необхідного для пониження концентрації CO<sub>2</sub>:

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{1.44 \cdot 45000 \cdot 3 \cdot 1.2}{1.8 - 0.3} = 155520, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Годинний об'єм витяжного повітря (м<sup>3</sup>/год), необхідного для видалення пари:

$$Q_{\text{w}} = \frac{1048875}{(9.1 - 27.9) \cdot 1.177} = 47401, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Розрахунок густини повітря при температурі приміщення, (кг/м<sup>3</sup>):

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

Визначення сумарного волого виділення в пташнику, (г/год):

$$W = 607500 + 60750 + 380625 = 1048875, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

Виділення вологи з птиці:

$$W_{\text{пт}} = 45000 \cdot 3 \cdot 3.75 \cdot 1.2 = 607500, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

Волога з мокрих поверхонь приміщення (г/год):

$$W_{\text{вип}} = 0.1 \cdot 607500 = 60750, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

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

$$W_{\text{пос}} = \frac{45000 \cdot 290 \cdot 0.7}{24} = 380625, \left( \frac{\text{г}}{\text{год}} \right);$$

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

$$Q_T = \frac{3.6 \cdot (5281200 + 573804) \cdot (1 + 3.448 \cdot 10^{-3} \cdot 17)}{1.0056 \cdot 1.177 \cdot (40 - 17)} = 819669, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, для газів,  $K^{-1}$ :

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

Об'єм будівлі,  $\text{м}^3$ :

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

Тепловий потік вільної теплоти птиці, кДж/год:

$$\Phi_{\text{пт}} = 32.6 \cdot 45000 \cdot 3 \cdot 1.2 = 5281200, \left( \frac{\text{кДж}}{\text{год}} \right);$$

Втрати теплоти через зовнішні огорожі, кДж/год:

$$\Phi_{\text{ог}} = 9979.2 \cdot 2.5 \cdot (40 - 17) = 573804, \left( \frac{\text{кДж}}{\text{год}} \right);$$

Необхідний повітрообмін  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) приймаємо по найбільшій з трьох величин  $Q_{\text{CO}_2}$ ,  $Q_w$  і  $Q_T$  за три періоди року.

Подача вентиляторів:

$$Q_B = Q_T \cdot 1.15 = 942619, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Кількість вентиляторів знаходять з умови, що продуктивність одного вентилятора  $L_{\text{ВЕНТ}} = 40000 \text{ м}^3/\text{год}$ .

$$n_{\text{ВЕНТ}} = \frac{Q_B}{L_{\text{ВЕНТ}}};$$

$$n_{\text{ВЕНТ}} = \frac{942619}{40000} = 23,57, \left( \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right);$$

Приймаємо кількість вентиляторів 24 шт, типу ВО - 12.5.

Коефіцієнт запасу вентиляційного обладнання, %:

$$K_{\text{зап}} = \left( \frac{24 \cdot L_{\text{ВЕНТ}} - Q_B}{Q_B} \right) \cdot 100;$$

$$K_{\text{зап}} = \left( \frac{24 \cdot 40000 - 942619}{942619} \right) \cdot 100 = 1,84\%;$$

Кратність повітрообміну  $K_0$ :

$$K_0 = \frac{942619}{9979.2} = 94,46;$$

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

$$K_{0\text{мін}} = \frac{L_{\text{мін}} \cdot n \cdot t}{V_{\text{п}}};$$

$$K_{0\text{мін}} = \frac{6 \cdot 45000 \cdot 3}{9979.2} = 81,17;$$

$L_{\text{мін}}$  – мінімальний допустимий обмін повітря на 1 кг<sup>2</sup>.

$$K_0 > K_{0\text{мін}}.$$

### 2.3 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було проведено теоретичне дослідження системи мікроклімату пташника, що включає характеристику основних параметрів внутрішнього середовища та особливостей їх впливу на птицю. Було визначено основні фактори впливу на продуктивність та фізіологічні властивості бройлерів. Аналіз охоплює такі параметри як, вологість у пташнику,

температура повітря, об'єм свіжого повітря, що подається в пташник у різні періоди року, рівні концентрації шкідливих газів, пилу і мікробного забруднення та стан підстилки.

Ключовим елементом аналізу є система вентиляції пташника. Вона відповідає за підтримку належної якості повітря та створює необхідні температурні умови, комфортні для птиці.

Практичною частиною даного розділу стали експериментальні розрахунки повітрообміну приміщення пташника у холодний та теплий період року. Основні результати дослідження показують, що: у холодний період року, необхідний годинний об'єм припливного повітря становить 129600 м<sup>3</sup>/год. Кратність повітрообміну з урахуванням об'єму будівлі становить – 15. У теплий період року годинний об'єм витяжного повітря становить 819669 м<sup>3</sup>/год. Кратність повітрообміну - 95.

За результатами даних розрахунків було обрано вентилятор типу ВО-12,5 у кількості 24 шт.

## РОЗДІЛ 3

### ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПТАШНИКА

#### 3.1 Огляд літератури

У роботі авторів [28, ст.1-12] були проведені дослідження, основою яких було вимірювання температури та швидкості повітря у пташнику. Для порівняння було використано три моделі турбулентного руху пташника: класичну модель турбулентності  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$  та realisable  $k-\epsilon$ . Основна мета їх дослідження, це встановити за допомогою обчислювальної гідродинаміки (CFD), яка саме модель турбулентності забезпечує найбільшу відповідність експериментальним результатам дослідження. Ці дослідження показали, що саме  $k-\epsilon$  RNG модель найкраще відображає значення експериментальних розрахунків, і є рекомендованою для подальшого моделювання середовища пташників.

Удосконалену конструкцію повітрязабірних пристроїв було представлено у роботі [29], що використовується для типового бройлерного пташника, з поперечною вентиляцією. Основними факторами були напрям потоку повітря та довжина пристрою напряму потоку. Згідно результатів, оптимізовані пристрої, покращили потік свіжого повітря в приміщенні. Це напряму впливає на швидкість повітря, розподіл температури та вуглекислого газу у пташнику. Рекомендована довжина пристрою – не більше 2 м.

Мета роботи [30] – це створити 3-D модель за допомогою обчислювальної гідродинаміки, що дасть змогу відтворити точні умови, як у пташнику. Удосконалення передбачає врахування основних явних і прихованих джерел тепла відповідно до методики, викладеної в дослідженні [31, ст.25-38], яка раніше застосовувалася для двовимірної CFD-моделі. Для дослідження характерних процесів теплообміну в пташнику були визначені ключові етапи охолодження та нагріву, які враховувалися при чисельному моделюванні. На першому етапі результати моделі проходили порівняння з експериментальними

даними, що дозволило оцінити її ефективність у прогнозуванні розподілу температури та вологості. Надалі на основі отриманого поля швидкостей було здійснено розрахунок інтенсивності вентиляції.

З метою максимально ефективного використання сприятливих погодних умов у дослідженні [32, ст.273-285] було проаналізовано вплив природної вентиляції на динаміку мікроклімату пташника, з особливою увагою до зовнішніх кліматичних факторів, окрім напрямку вітру. На основі експериментальних даних, за яких переважав північно-східний напрям вітру, було виділено сім періодів зі стабільним напрямом тривалістю не менше чотирьох годин. Із них три періоди були обрані як типові приклади для перевірки 3D CFD-моделі, яка враховувала основні чинники формування внутрішнього мікроклімату — тепловиділення тваринами, виділення водяної пари, радіаційну теплопередачу та вентиляцію. Далі було проведено аналіз результатів CFD-моделювання з використанням концепції часу перебування повітря для оцінки ефективності вентиляції, а також досліджено процеси явного й прихованого теплообміну.

У дослідженнях [33, ст.275-293] було спроектовано тривимірну модель, яка дає змогу точно дослідити показники температури та швидкості повітря у приміщенні, вологість і ризик теплового удару. Ефективність цієї моделі успішно перевірена та підтверджена завдяки порівнянню з експериментальними дослідженнями. Ці дослідження проводилися для трьох періодів: теплий, перехідний та холодний. Середня температура становила 26°C (влітку), 15°C (восени), 2.5°C (взимку), та кратність повітрообміну 86, 16 та 12 одиниць відповідно. Результати показали, що теплового стресу влітку зазнавало 69.1% птиці, восени 78% та 18.4% взимку. Продовженням даного дослідження займалися автори [34, 294-308]. Вони розробили нову систему вентиляції, за принципом витіснення повітряного потоку вгору. Свіже повітря надходить в приміщення через повітропроводи, що розташовані в нижній частині пташника. Повітря рухається завдяки теплової плавучості та статистичному тиску, викликаного витяжними вентиляторами, і виходить через спеціальні

вентилятори на даху. Результати показують що система ефективна в більш чіткому розподі температурного діапазону по всьому приміщенні, відповідно підвищується ефективність повітрообміну та зменшення ризику теплового стресу у птиці.

Також варто розглянути роботи [35, ст.451-458; 36, ст.303-311], в яких проводилися дослідження утримання птиці в пташниках модульного типу. Конструкція передбачає вирощування птиці у модулі з інфрачервоними нагрівачами. Результати показують що дана конструкція є енергоефективною та рекомендується для застосування. Температура біля птиці становить близько 18,6 °C, а середня швидкість руху повітря не перевищує 0.75 м/с.

Дослідженнями інтелектуальних систем керування біотехнологічними об'єктами займалися автори [37, ст.586-590]. У ній демонструється система для вимірювання сонячної радіації та прогнозування можливих збоїв інформації. Математичним інструментом прогнозування часових рядів температури були нейронні мережі. В подальшому у роботах [38, ст.711-729; 39] було створено програмно-апаратну систему фітомоніторингу в тепличній будівлі, за допомогою програми LabVIEW та обладнання Arduino. Для проведення наступних досліджень автори [40], розробили мобільний робот, що використовувався для моніторингу за станом атмосфери. Це допомогло сформуванню стратегію контролю, що в подальшому впливає на ефективність підприємства та прибуток. На завершення у роботі авторів [41, ст.78-81] було представлено енергоефективну систему керування електротехнологічним комплексом промислової теплиці. За основу використовуються функції бажаності Харінгтона, здійснюється оцінка якості рослинної продукції, це також дозволяє визначити основні параметри мікроклімату. Усі ці методи безпосередньо можна використати у аналізі, створенні чи прогнозуванні параметрів мікроклімату пташника.

### **3.2 Матеріали та методи досліджень**

Оскільки основним завданням є покращення параметрів мікроклімату пташника, у цьому дослідженні було проведено ряд процесів з удосконалення розташування вентиляційного обладнання. Було запропоновано монтаж витяжних вентиляторів на бічних стінках по 4 шт. на стіну, загальною кількістю 8 шт [52].

3D геометрію пташника, який використовувався для цього дослідження зображено на рис. 3.1. Геометрія виконана для половини пташника, проте у 100% масштабі. По центру пташника встановлені граничні умови «симетрія». Інші граничні умови показано на рис. 3.1. Такий підхід обумовлений обмеженою потужністю комп'ютерного обладнання, яке використовувалось для цієї роботи.

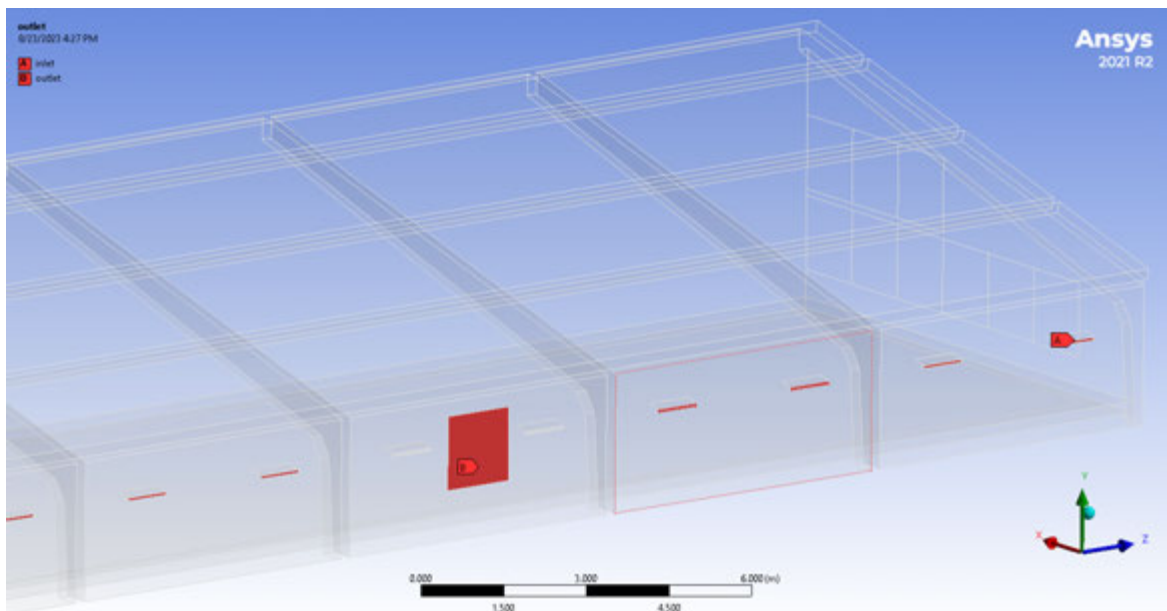


Рисунок 3.1 Геометрія 3D пташника із зазначенням граничних умов та розташування четвертого витяжного вентилятора на бічній стінці

Розрахунки були виконані за таких умов: витрата повітря становить 21.5 кг/с; температура зовнішнього повітря прийнята рівною 3°C; врахування параметру теплового випромінювання. Конструкція стін передбачає двохшаровий бетон товщиною 60 мм з двох сторін, між якими пінопластовий утеплювач щільністю 35 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 100 мм. Покрівля утеплена матеріалом "Izovat" з щільністю 30 кг/м<sup>3</sup> та товщиною 100 мм. Для утеплення

підлоги використано пінополістирол з щільністю  $45 \text{ кг/м}^3$ , товщиною 100 мм, уздовж 2 м по ширині стін, далі товщина утеплення складає 50 мм. При підлоговому утриманні птиця є джерелом тепла, близько  $41^\circ\text{C}$ . Для видалення повітря було використано витяжні вентилятори типу Munters EM50 1,5 HP у кількості 4 шт. Щодо припливних клапанів, то було використано Wlotpowietrza 3000-VFG кількістю 80 шт. Припливні клапани з 1 по 8 розміщені на висоті 0,21 м від стелі. Інші клапани з 9 по 40 розташовуються на висоті 0,81 м від перекриття. Над припливними клапанами розташовано спойлери під кутом  $73^\circ$ . Для клапанів з 1 по 8 довжина становить 0,2 м. Для всіх інших ця довжина 0,25 м. Між клапанами 5-6, 15-16, 25-26 та 35-36 встановлено витяжні вентилятори, оскільки ці витяжні клапани не задіяні, згідно рекомендаціям авторів [42, ст.384-393]. Інші конструктивні параметри див. у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

### Конструктивні параметри припливної вентиляції пташника

Параметри	Показник	
	1-8 кланани	9-40 клапани
Ширина клапана, м	0,86	0,86
Висота відкривання клапана, м	0,049	0,049
Довжина спойлера, м	0,2	0,25
Кут нахилу спойлера, °	73	73
Висота розташування клапана від рівня перекриття, м	0,21	0,81
Довжина хвостовика клапана, м	0,04	0,04
Кількість задіяних клапанів для половини пташника, шт	6	26

На рис. 3.2 зображена сітка повітряного середовища пташника. У зонах розміщення витяжних вентиляторів, припливних клапанів, а також поблизу

підлоги, де перебуває птиця, сітка моделі була дещо ущільнена. Це було використано задля точнішого розрахунку гідродинаміки та тепломасообміну чисельним методом.

Тривимірні сітка для розрахунків було створена за допомогою пакетного забезпечення ANSYS Meshing, із застосуванням методу CutCell. Кількість елементів сягає близько 3 млн.

Показник якості сітки ортогональної якості дорівнює 0.263. Мінімальний розмір елемента витяжних вентиляторів та припливних клапанів на бічній стіні пташника 0,01 м. Більш детально можна ознайомитись у таблиці 3.2.

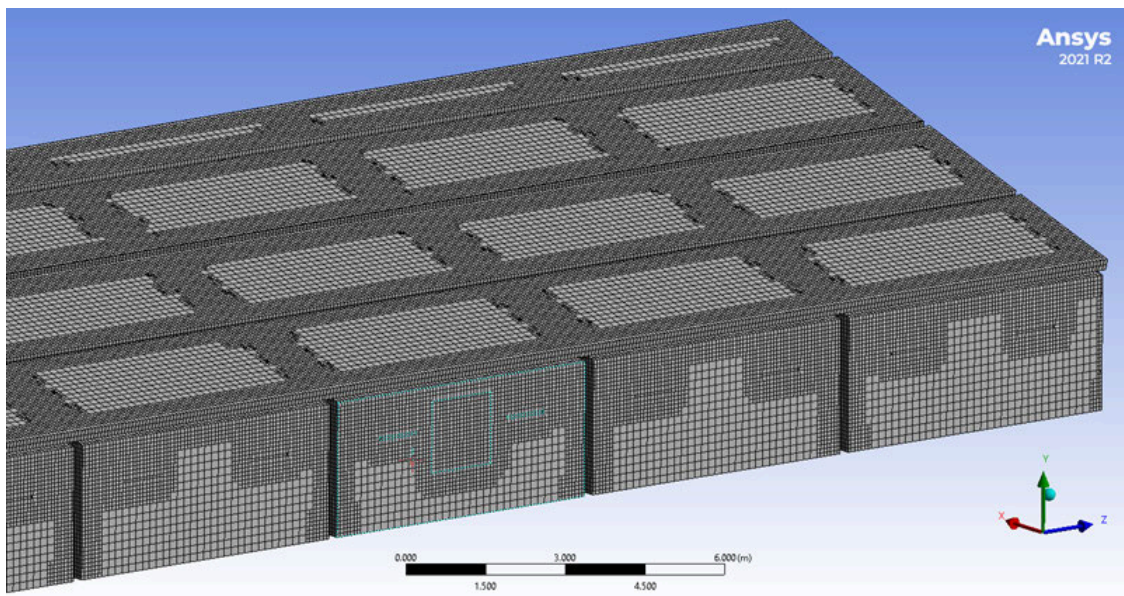


Рисунок 3.2 Сітка в повітряному середовищі пташника

Таблиця 3.2

### Параметри будівництва сітки для птахівничого приміщення

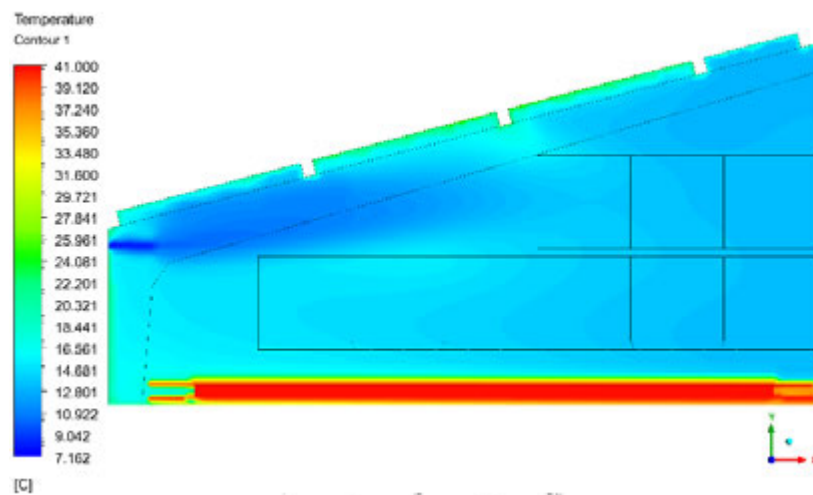
Параметри настройки	Показник
Показчик якості сітки (orthogonal quality)	0,263
Кількість елементів, шт	3011614
Кількість вузлів, шт	2704435
Метод	CutCell
Максимальний розмір грані, м	0,16
Мінімальний розмір грані, м	0,08

Мінімальний розмір елемента припливних клапанів, м	0,08
Мінімальний розмір елемента витяжних вентиляторів, м	0,01

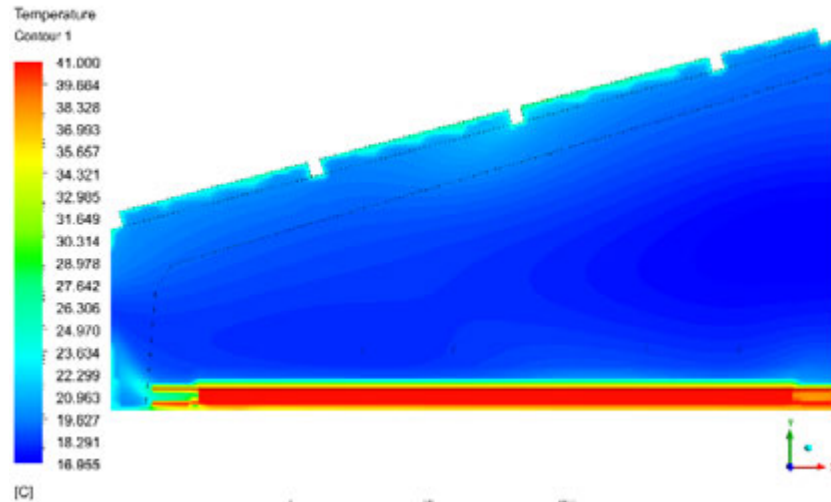
Модель виконана на рівняннях Navier-Stokes для конвективних течій [43-45]. У розрахунках було використано модель вимірювання Discrete Ordinates і модель турбулентності Spalart-Allmaras.

### 3.3 Результати досліджень

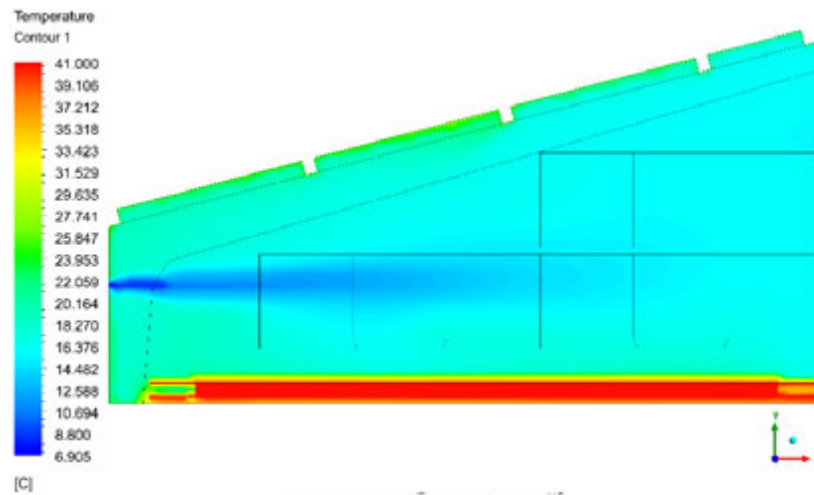
На рисунках (3.3-3.5) зображені результати чисельного моделювання пташника, у трьох відрізках по довжині приміщення. Перша точка на відстані 10.25 м, це середина 4-го припливного клапана. Друга на відстані 44.75 м, це другий витяжний вентилятор, що знаходиться між 15 та 16 припливними клапанами. І третя на відстані 85.25 м, це середина 29-го припливного клапана.



a)



б)



в)

Рисунок 3.3 Поле температур ( $^{\circ}\text{C}$ ) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на: а – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м

При постійній витраті повітря, що становить  $60\,771,5\text{ м}^3/\text{год}$ , температура на вході до приміщення підтримується на рівні  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У той же час, у верхніх шарах повітря, особливо поблизу перекриття та бічних стінок, температура є дещо вищою — в межах від  $+21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 3.3). Це зумовлено впливом радіаційного випромінювання сонця, яке сприяє локальному нагріванню конструкцій будівлі та повітря навколо них. Додатковим джерелом тепла є сама птиця, що також сприяє загальному підвищенню температури повітря в середині пташника. У центральній частині приміщення, по всій його

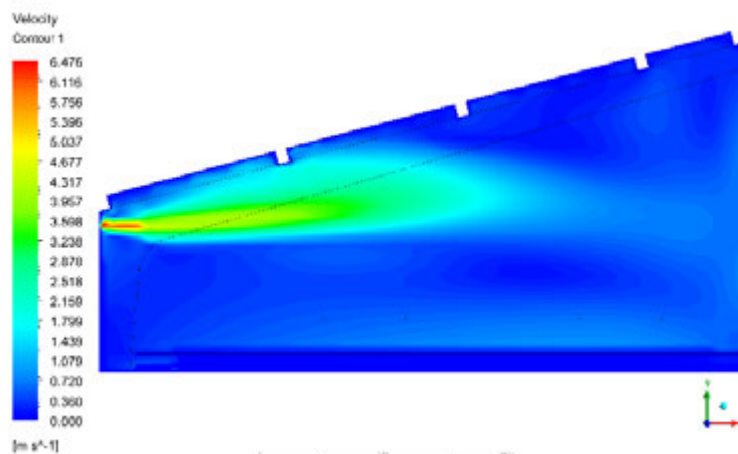
висоті, температура повітря становить близько  $+15...+16$  °С. Прохолодне повітря з температурою  $+3$  °С надходить до центральної частини приміщення, де безпосередньо омиває птицю. У зоні інтенсивного перемішування припливного повітря з внутрішнім повітряним середовищем пташника, температура не перевищує  $+10,92$  °С. Результати моделювання свідчать про те, що витяжні вентилятори частково витягують частину тепла з птиці. Середнє значення температури повітря на витяжних вентиляторах  $+17,745637$  °С. На вході в приміщення через припливні клапани тиск становить  $70,0275$  Па. У зоні витяжних вентиляторів спостерігається незначне розрідження повітря, яке досягає значення  $-0,66079$  Па. У певних точках пташника зафіксовано максимальне значення тиску —  $73,2143$  Па. Такі перепади тиску свідчать про наявність повітряних потоків різної інтенсивності, що може впливати на рівномірність мікроклімату у приміщенні.

Гідродинаміка потоку повітря в пташнику зображена на рисунках (3.4; 3.5). Як вже було сказано потік повітря припливними клапанами спрямовано вгору. Однак за рахунок видовженого спойлера для клапанів 9-40 на 5 см, створення надмірних тисків у цій ділянці входу у припливний клапан, швидкість на вході повітря після проходження майже всієї ширини приміщення розподіляється вниз та вгору. Тільки клапани на висоті 210 мм від перекриття (рис. 3.4а, 3.5а) плавно прямує до центру пташника. Повітря частково затримується за рахунок бетонних виступів перекриття.

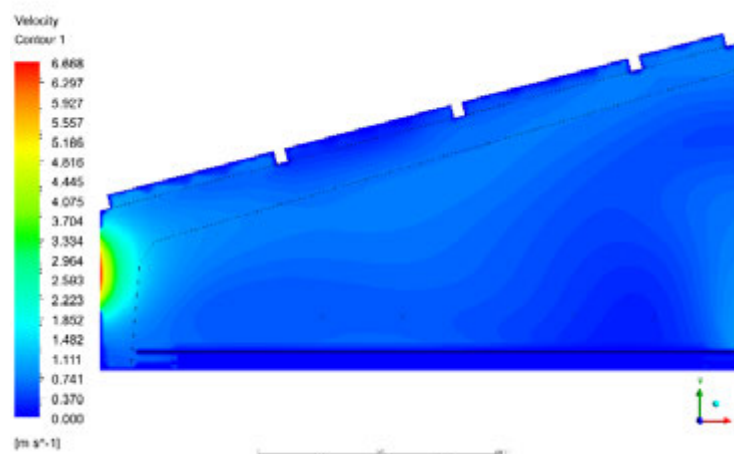
Середня швидкість повітря на вході через припливні клапани становить  $11,5393$  м/с. У деяких точках припливної системи зафіксовано максимальну швидкість, що досягає  $12,0423$  м/с. У центральній частині пташника, по його ширині, формується один великий вихор (рис. 3.4а, 3.5а), що свідчить про інтенсивне турбулентне перемішування повітряних мас.

Унаслідок збурення повітря поблизу витяжних вентиляторів, на відстані  $44,75$  м (рис. 3.4б, 3.5б), у верхній частині приміщення, поблизу перекриття повітря частково затримується, а згодом спрямовується до витяжної зони. Середня швидкість повітря у зоні розташування витяжних вентиляторів

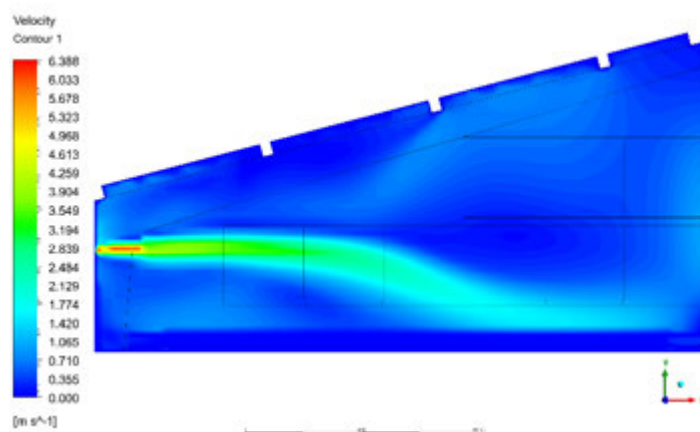
становить  $3,2578597 \text{ м/с}$  (рис. 3.4б, 3.5б). На відстані  $85,25 \text{ м}$  від передньої торцевої стінки пташника (рис. 3.4в, 3.5в), спостерігається утворення одного великого вихору. Повітря, яке надходить через припливні клапани, на висоті  $810 \text{ мм}$ , не досягає центральної частини приміщення: пройшовши приблизно третину шляху, воно перенаправляється вниз у зону розміщення птиці. Таким чином, значна частина птиці перебуває під впливом надмірно високих швидкостей повітряного потоку, що перевищують  $2 \text{ м/с}$ . Це несе негативний вплив на здоров'я птахів. Причиною можуть бути збурення, що виникають через великий об'єм приміщення. Також важливу роль відіграє відсутня можливість підняття клапанів 9-40 на висоту  $0,21 \text{ м}$ . Тому пропонується збільшення довжини хвостика з  $0,04$  до  $0,1 \text{ м}$ . Це допоможе в регулюванні потоку так, щоб уникати падіння повітря на птицю.



а)

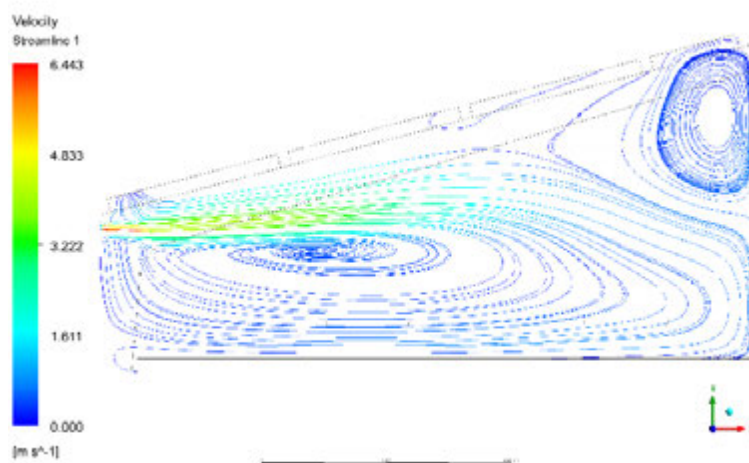


б)

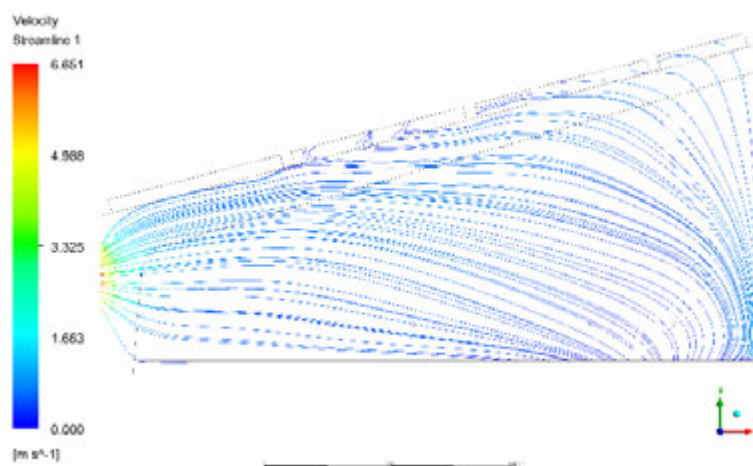


в)

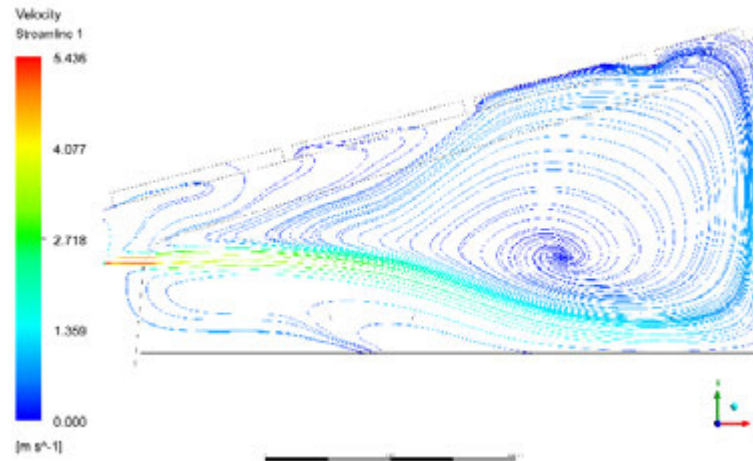
Рисунок 3.4. Поле швидкостей (м/с) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на: а – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м.



а)



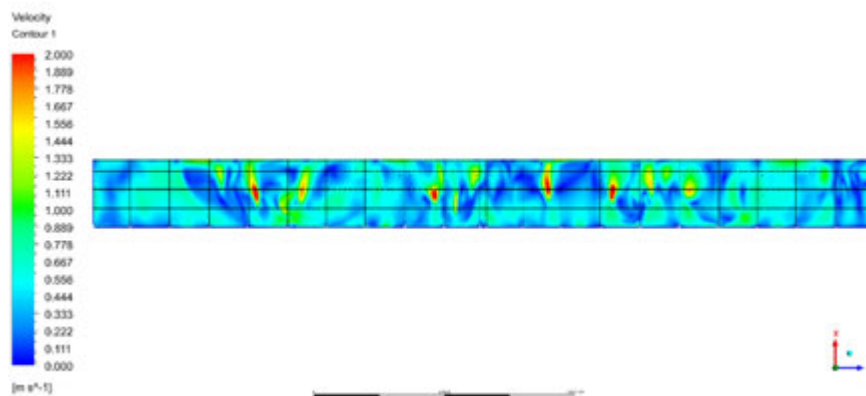
б)



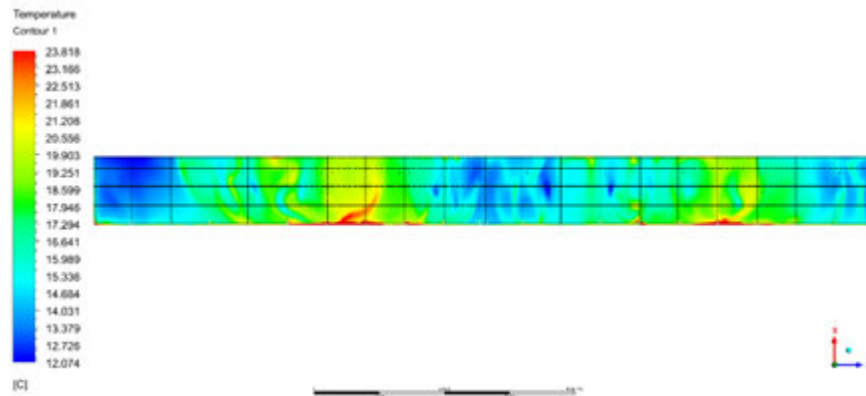
в)

Рисунок 3.5. Лінії току (м/с) у приміщенні пташника на відстані від передньої торцевої стінки на: а – 10,25 м; б – 44,75 м; в – 85,25 м.

На рисунку 3.6 представлено поле швидкостей та температур по площині приміщення на висоті 0,7 м. над рівнем підлоги. Ці результати дуже корисні для оцінення гідродинаміки та теплообміну над птицею. Ми маємо середній показник швидкості повітря, що дорівнює 0,49924129 м/с, та температури, що становить 16.550689 °С. Основна кількість птиці не відчуватиме дискомфорту, оскільки швидкість повітря, лише у декількох місцях перевищила 2 м/с.



а)



б)

Рисунок 3.6. Поле швидкостей, м/с (а) і поле температур, °С (б) у приміщенні пташника на висоті 0,7 м над рівнем підлоги

Лінії течії 3D та візуалізацію об'ємної витрати повітря в межах, 0 – 2 м/с зображено на рисунках 3.7 та 3.8. Проаналізувавши результати можна зробити висновок, що клапани, які розташовані на висоті 0,81 м від перекриття показують недостатню ефективність, на відмінну від клапанів що розташовані на висоті 0.21 м. Більше показників повітряного середовища, визначених у результаті цього чисельного моделювання представлено у таблиці 3.3.

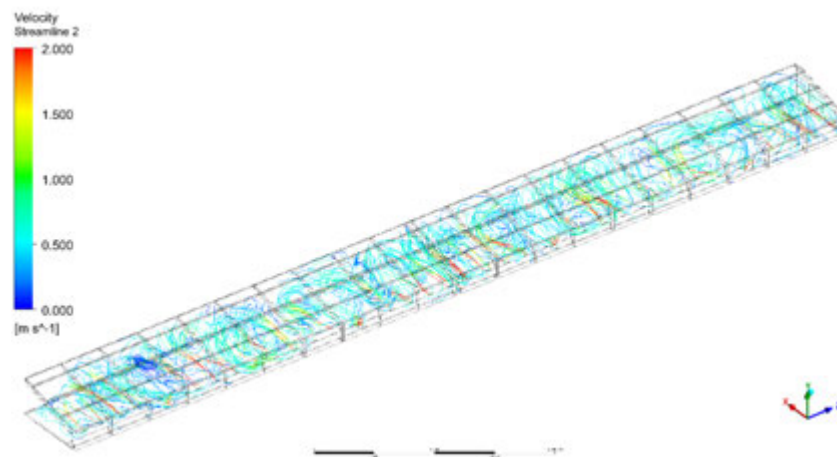


Рисунок 3.7. Лінії течії 3D у приміщенні пташника в межах від 0 до 2 м/с

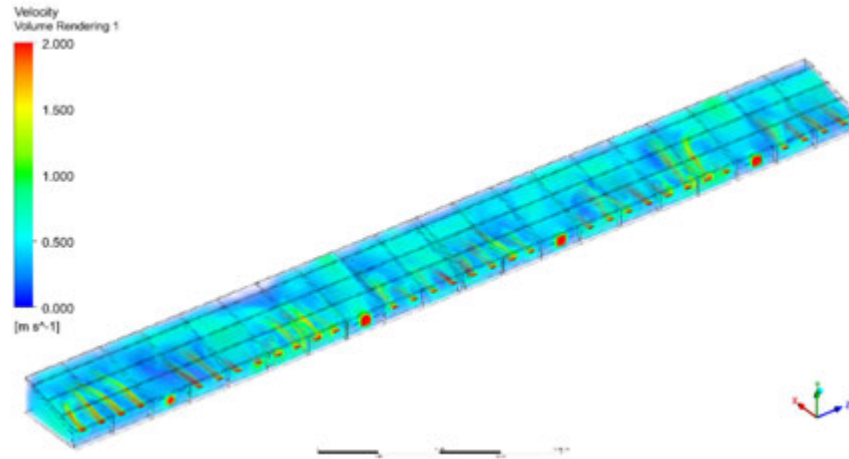


Рисунок 3.8. Візуалізація об'ємної витрати повітря пташника в межах від 0 до 2 м/с

Таблиця 3.3

**Середні показники повітряного середовища у пташнику**

Параметр	Припливні клапани (inlet)	Витяжні вентилятори (outlet)
Витрата повітря на вході для половини пташника, кг/с	21,5	21,50119
Витрата повітря на вході для половини пташника, м <sup>3</sup> /год	60771,5	60771,5
Витрата повітря на вході для повного пташника, м <sup>3</sup> /год	121543	121543

Продовження таблиці 3.3

Тиск повітря, Па	70,027472	-0,66079315
Температура повітря, °С	4,0107574	17,745638
Швидкість повітря, м/с	11,539384	3,2578596

Усі ці дослідження показують, що досягти покращення якості продукції, та умов утримання птиці можна за допомогою покращення розташування вентиляційного обладнання. Оскільки це дозволить більш рівномірно

розподілити температуру в приміщенні, та зменшить швидкість руху повітря над птицею.

### **3.4 Висновки до розділу 3**

У цьому розділі було проведено огляд літератури досліджень систем вентиляції пташника за допомогою CFD. Аналіз даної літератури показує високу актуальність та перспективи дослідження вентиляційних систем за допомогою CFD. Отримані дані дозволили визначити найбільш ефективні підходи для побудови CFD моделі, зокрема вибір моделі турбулентності та параметри моделі.

Чисельне моделювання дозволило якісно відтворити параметри мікроклімату в пташнику. Це дало змогу визначити нерівномірність розподілу температур та швидкості повітря. Аналіз полів температур та швидкості також показав наявність зон із підвищеною температурою та турбулентністю.

Результати показали що розташування припливних клапанів на висоті 0,21 м від перекриття демонструють найвищу ефективність. Кут нахилу спойлерів розташованих над клапанами -  $73^{\circ}$ . Вирішення проблеми впливу надмірних швидкостей на птицю можна вирішити збільшенням довжини хвостовика з 0,04 м до 0,1 м, та зменшити довжину спойлера до 0,2 м. Середня швидкість повітря на висоті 0,7 м від пілоги становить близько 0,5 м/с, середня температура близько  $16,55^{\circ}\text{C}$ , що є оптимальними результатами для комфорту птиці.

## РОЗДІЛ 4

### ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПТАШНИКА

#### 4.1 Розрахунок та вибір електроприводу

Привід робочих машин здійснюється за допомогою трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, що повністю задовільняють вимоги технологічного процесу.

Вибір та перевірку електропривода розглянемо на прикладі вентилятора ВО-12.5.

Вентилятор ВО-12,5 (рис. 4.1) призначений для вентиляції тваринницьких, птахівничих та виробничих приміщень.

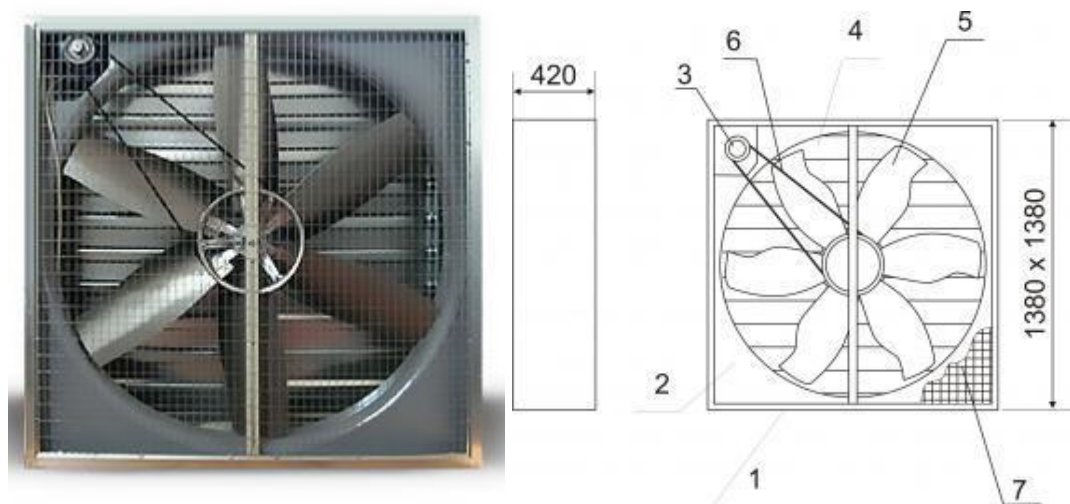


Рис 4.1. Конструкція і габаритні розміри вентилятора ВО-12,5.

Розглянемо конструкцію даного вентилятора. Він складається з: 1 - корпуса, 2 - дифузора, 3 - електродвигуна, 4 - аеродинамічного клапана, 5 - робочого колеса, 6 - клинопасової передачі та 7 - огорожувальної сітки.

Корпус представляє коробчасту конструкцію, що виготовлена з гнutoго профілю оцинкованої сталі. Робоче колесо являє собою конструкцію, що складається зі ступниці, до якої прикріплено шість алюмінієвих лопатей, та шківів. Воно встановлюється на осі за допомогою шарикових підшипників. Двигун кріпиться на рухомій плиті у верхній частині корпуса, де встановлено

регулятор натягу ремня, і через клинопасову передачу передає оберти на робоче колесо. Вентилятор має жалюзі, закріплені на корпусі, що запобігають потраплянню зовнішнього повітря у неробочому стані вентилятора, цим самим уникаючи створенню протягів. Ці жалюзі відкриваються під час роботи вентилятора під дією потку повітря та противагових вантажів. Огороджувальна сітка слугує захистом робочого колеса з міркувань безпеки [46].

#### 4.1.1. Вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання

Визначаємо потужність вентилятора, (кВт) за формулою:

$$P_{\text{РОЗР.ВЕНТ.}} = \frac{Q_H \cdot H_H}{\eta_{\text{ВЕНТ.}} \cdot 10^3}, \#(4.1)$$

де,  $Q_H$  – подача вентилятора, рівна 9,79 м<sup>3</sup>/с (35240 м<sup>3</sup>/год);

$H_H$  – напір, створюємий вентилятором, рівний 70 Па;

$\eta_{\text{ВЕНТ.}}$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора, рівний 0,85.

$$P_{\text{ВЕНТ.}} = \frac{9,79 \cdot 70}{0,85 \cdot 10^3} = 0,806 \text{ (кВт)}.$$

Номинальна розрахункова потужність електродвигуна, (кВт) визначається за формулою:

$$P_{\text{НОМ}} = \frac{K_3 \cdot P_{\text{ВЕНТ.}}}{\eta_{\text{ПЕР.}}}, \#(4.2)$$

де,  $K_3$  – коефіцієнт запасу, для осьових вентиляторів з двигуном потужністю від 1,1 кВт до 2 кВт,  $K_3 = 1,15$ ;

$\eta_{\text{ПЕР.}}$  – загальний коефіцієнт корисної дії передачі, при клинопасовій передачі,  $\eta_{\text{ПЕР.}} = 0,96$ .

$$P_{\text{НОМ}} = \frac{1,15 \cdot 0,806}{0,96} = 1,259 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до розрахункової потужності електродвигуна, для приводу вентиляторів Во-12.5 приймаємо двигун 5А80МВ4. Технічні характеристики двигуна наведено в таблиці 4.1.

$$P_{\text{НОМ.ДВ.}} \geq P_{\text{НОМ}}, \#(4.3)$$

$$1,5 \text{ кВт} > 1,259 \text{ кВт}$$

Таблиця 4.1

### Технічні характеристики двигуна

Номинальна потужність – $P_{\text{НОМ.ДВ.}}$	1,5 кВт
Номинальний струм – $I_{\text{НОМ.ДВ.}}$	3,8 А
Номинальна частота обертання – $n_H$	1410 об/хв
Коефіцієнт корисної дії – $\eta_{\text{ДВ.}}$	75%
Коефіцієнт потужності – $\cos \cos \varphi$	0,81
Кратність пускового моменту – $\mu_{\text{П}}$	1,9
Кратність пускового струму – $\mu_{\text{МАХ}}$	2,2
Кратність мінімального моменту при пуску – $\mu_{\text{МІН}}$	1,6
Кратність пускового струму – $K_I$	5,5
Момент інерції ротора – $J_P$	$3,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Маса – $m$	14,7 кг

#### 4.1.2. Розрахунок і побудова механічної характеристики електродвигуна

Механічну характеристику двигуна будемо за п'ятьма характерними точками: T1, T2, T3, T4, та T5.

Режим холостого ходу двигуна:

$$S = 1; M = 0$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна, визначається за виразом:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} \text{ с}^{-1}, \#(4.4)$$

де,  $n_c$  – синхронна частота обертання вала електродвигуна, визначається за формулою:

$$n_c = \frac{60 \cdot f}{p} \#(4.5)$$

де,  $f$  – частота струму в мережі,  $f = 50 \text{ Гц}$ ;

$p$  – число пар полюсів електродвигуна,  $p = 2$ .

$$n_c = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{об}}{\text{XB}},$$

$$\omega_c = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ c}^{-1}.$$

Номинальний режим роботи електродвигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}, \#(4.6)$$

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 1410}{30} = 147,58 \text{ c}^{-1},$$

$$S_H = \frac{n_c - n_H}{n_c}, \#(4.7)$$

$$S_H = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06,$$

$$M_{\text{НОМ.ДВ.}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{НОМ.ДВ.}}}{n_H}, \#(4.8)$$

$$M_{\text{НОМ.ДВ.}} = 9550 \cdot \frac{1,5}{1410} = 10,16 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Режим критичного навантаження електродвигуна:

$$M_{\text{КР}} = \mu_{\text{МАХ}} \cdot M_{\text{НОМ.ДВ.}}, \#(4.9)$$

$$M_{\text{КР}} = 2,2 \cdot 10,16 = 22,352 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$S_K = \frac{S_H + \sqrt{\frac{\mu_{\text{МАХ}} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{\frac{\mu_{\text{МАХ}} - 1}{\mu_1 - 1}}}, \#(4.10)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_{\text{МАХ}}}{\mu_{\text{П}}}, \#(4.11)$$

$$\mu_1 = \frac{2,2}{1,9} = 1,158,$$

$$S_K = \frac{0,06 + \sqrt{\frac{2,2 - 1}{1,158 - 1}}}{1 + \sqrt{\frac{2,2 - 1}{1,158 - 1}}} = 0,881,$$

$$\omega_K = n_c \cdot (1 - S_K), \#(4.12)$$

$$\omega_K = 1500 \cdot (1 - 0,881) = 178,5 \frac{\text{об}}{\text{XB}},$$

$$\omega_K = \frac{3,14 \cdot 178,5}{30} = 18,683 \text{ c}^{-1}.$$

Режим мінімального режиму навантаження двигуна:

$$S = 0.8$$

$$M_{MIN} = \mu_{MIN} \cdot M_{НОМ,ДВ}, \#(4.13)$$

$$M_{MIN} = 1,6 \cdot 10,16 = 16,256 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\omega_{MIN} = \frac{3,14 \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ c}^{-1},$$

$$n_K = 1500 \cdot (1 - 0,8) = 300 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Пусковий момент електродвигуна:

$$S = 1; \omega = 0$$

$$M_{\Pi} = \mu_{\Pi} \cdot M_{НОМ,ДВ}, \#(4.14)$$

$$M_{\Pi} = 1,9 \cdot 10,16 = 19,304 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням відхилення згідно ГОСТу:

$$M'_{KP} = 0,9 \cdot M_{KP}, \#(4.15)$$

$$M'_{KP} = 0,9 \cdot 22,352 = 20,117 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'_{MIN} = 0,8 \cdot M_{MIN}, \#(4.16)$$

$$M'_{MIN} = 0,8 \cdot 16,256 = 13 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'_{\Pi} = 0,85 \cdot M_{\Pi}, \#(4.17)$$

$$M'_{\Pi} = 0,85 \cdot 19,304 = 16,408 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням відхилення моменту за рахунок зниження напруги живлення:

$$M''_H = 0,9 \cdot M_H, \#(4.18)$$

$$M''_H = 0,9 \cdot 10,16 = 9,144 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\text{KP}}^{//} = 0,9 \cdot M_{\text{KP}}^{-}, \#(4.19)$$

$$M_{\text{KP}}^{//} = 0,9 \cdot 20,117 = 18,105 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{MIN}}^{//} = 0,9 \cdot M_{\text{MIN}}^{-}, \#(4.20)$$

$$M_{\text{MIN}}^{//} = 0,9 \cdot 13 = 11,7 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{П}}^{//} = 0,9 \cdot M_{\text{П}}^{-}, \#(4.21)$$

$$M_{\text{П}}^{//} = 0,9 \cdot 16,408 = 14,767 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Результати розрахунків механічної характеристики двигуна 5A80MB4 занесені у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

#### Дані для побудови механічної характеристики електродвигуна

Параметр	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5
S	0	0,06	0,881	0,8	1
$\omega$	157	147,58	18,683	31,4	0
M <sub>дв</sub>	0	10,16	22,352	16,256	19,304
M' <sub>дв</sub>	0	10,16	20,117	13,0	16,408
M'' <sub>дв</sub>	0	9,144	18,105	11,7	14,767

#### 4.1.3 Розрахунок і побудова механічної характеристики робочої машини

Механічна характеристика робочої машини це залежність статистичного опору, які вона створює від кутової швидкості приводного валу.

Механічна характеристика робочої машини визначається за формулою:

$$M_{\text{C}} = M_0 + (M_{\text{С.Н.}} - M_0) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{Н.РМ}}} \right)^X, \text{ Н}\cdot\text{м}, \#(4.22)$$

де,  $M_{\text{C}}$  – момент статичних опорів робочої машини, Н·м при деякій кутовій швидкості робочої машини  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ .

Номінальний момент статистичного опору робочої машини визначаємо за формулою:

$$M_{\text{С.Н.}} = \frac{P_{\text{РОЗР.ВЕНТ.}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{Н.РМ}}}, \#(4.23)$$

$$M_{\text{с.н.}} = \frac{0,806 \cdot 10^3}{42,166} = 19,115 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де  $\omega_{\text{Н.РМ}}$  - номінальна кутова швидкість робочої машини, визначається за виразом:

$$\omega_{\text{Н.РМ}} = \frac{\omega_{\text{Н.РМ}}}{i_{\text{ЗАГ}}}, \#(4.24)$$

де  $i_{\text{ЗАГ}}$  - загальний передавальний коефіцієнт клинопасової передачі, рівний 3,5.

$$\omega_{\text{Н.РМ}} = \frac{147,58}{3,5} = 42,166 \text{ с}^{-1},$$

$M_0$  - момент зрушення робочої машини, для насоса:

$$M_0 = 0,1 \cdot M_{\text{с.н.}}, \#(4.25)$$

$$M_0 = 0,1 \cdot 19,115 = 1,911 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$x$  - це показник степеня, залежить від виду робочої машини; для вентилятора цей показник становить:  $x = 2$ .

Підставляємо розрахункові дані до рівнянь механічної характеристики робочої машини:

$$M_{\text{с}}(\omega = 0) = 1,911 + (19,115 - 1,911) \cdot \left(\frac{0}{42,166}\right)^2 = 1,911 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{с}}(\omega = 0) = 1,911 + (19,115 - 1,911) \cdot \left(\frac{4,49}{42,166}\right)^2 = 2,106 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{с}}(\omega = 0) = 1,911 + (19,115 - 1,911) \cdot \left(\frac{44,85}{42,166}\right)^2 = 21,375 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Дані для побудови механічної характеристики робочої машини внесені до таблиці 4.3, та зображено на рисунку 4.2.

Таблиця 4.3

#### Розрахункові дані механічної характеристики робочої машини

	0	4,49	8,97	13,46	17,94	22,43	26,91	31,4	35,88	40,37	44,85
	1,911	2,106	2,69	3,664	5,025	6,779	8,918	11,451	14,368	17,681	21,375

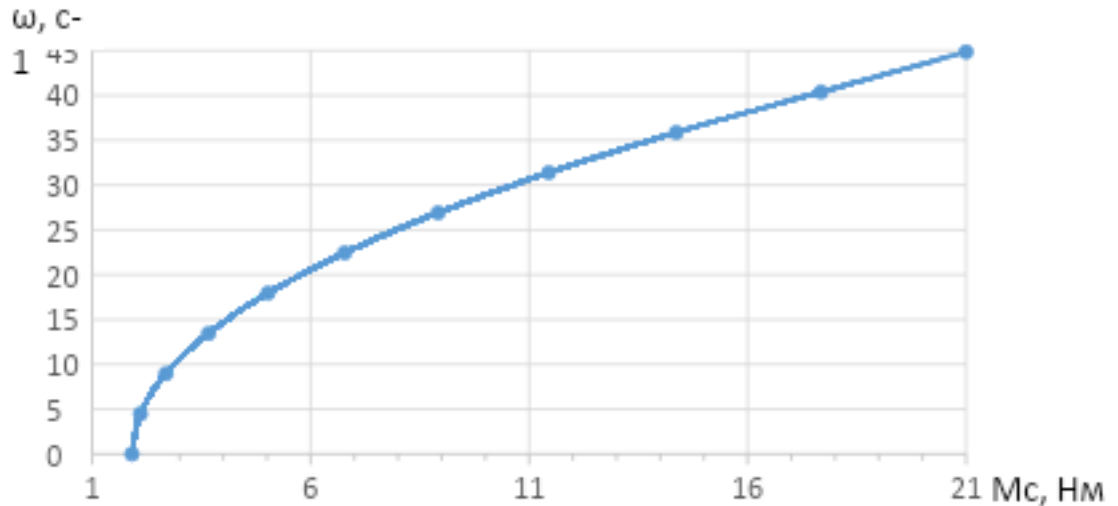


Рис. 4.2. Механічна характеристика робочої машини

#### 4.1.4 Визначення тривалості пуску електродвигуна

Зведення поточних методів статистичних опорів робочої машини до валу електродвигуна:

$$M_{\text{С.ЗВ.}} = \frac{M_{\text{С}}}{i_{\text{ЗАГ.}} \cdot \eta_{\text{ЗАГ.}}}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \#(4.26)$$

$$M_{\text{С.ЗВ.}}(M_{\text{С}} = 1,911) = \frac{1,911}{3,5 \cdot 0,96} = 0,524 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{С.ЗВ.}}(M_{\text{С}} = 21,375) = \frac{21,375}{3,5 \cdot 0,96} = 5,863 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Результати подальших розрахунків наведено у таблиці 4.4.

Значення динамічних моментів на кожній ділянці визначаємо за формулою:

$$M_{\text{ДИН.І}} = M_{\text{ДВ.І}} - M_{\text{С.ЗВ.І}}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \#(4.27)$$

$$M_{\text{ДИН.1}}(\omega = 0) = 14,767 - 0,524 = 14,243 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{ДИН.2}}(\omega = 4,49) = 14,767 - 0,577 = 14,189 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{ДИН.11}}(\omega = 44,85) = 14,767 - 5,863 = 8,904 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отримані значення  $M_{\text{ДИН.І}}$  наведені у таблиці 4.4.

Значення середніх динамічних моментів розраховуються за формулою:

$$M_{\text{ДИН.СЕР.1}} = \frac{M_{\text{ДИН.1}} + M_{\text{ДИН.1+1}}}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \#(4.28)$$

$$M_{\text{ДИН.СЕР.1}} = \frac{14,243 + 14,189}{2} = 14,261 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{ДИН.СЕР.2}} = \frac{14,189 + 14,029}{2} = 13,895 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{ДИН.СЕР.11}} = \frac{8,904 + 0}{2} = 4,452 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Отримані значення занесено до таблиці 4.4

Час пуску електродвигуна на кожній ділянці визначається за формулою:

$$\Delta t_I = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_I}{M_{\text{ДИН.СЕР.1}}}, \text{ с}, \#(4.29)$$

де,  $J_{\text{ПР}}$  – момент інерції системи електродвигун - робоча машина, визначається за формулою:

$$J_{\text{ПР}} = J_P + \frac{J_{\text{МАШ.}}}{i_{\text{ЗАГ.}}^2}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \#(4.30)$$

де,  $J_P$  – момент інерції ротора двигуна;  $J_P = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Момент інерції робочої машини визначаємо за формулою:

$$J_{\text{МАШ.}} = \frac{91,2 \cdot P_{\text{РОЗР.ВЕНТ.}}}{n_{\text{НОМ.РМ}}}, \#(4.31)$$

$$J_{\text{МАШ.}} = \frac{91,2 \cdot 0,806}{400} = 0,184 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

$$J_{\text{ПР}} = 0,0036 + \frac{0,184}{3,5^2} = 0,0186 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

$\Delta \omega_I$  – зміна кутової швидкості на кожній ділянці, визначається за виразом:

$$\Delta \omega_I = \omega_K - \omega_{\text{П}}, \text{ с}^{-1}, \#(4.32)$$

Для першої ділянки:

$$\omega_K = 15,7 \text{ с}^{-1}; \omega_{\text{П}} = 0$$

$$\Delta \omega_1 = 15,7 \text{ с}^{-1}.$$

Для останньої ділянки:

$$\Delta\omega_{10} = 157 \text{ c}^{-1},$$

$$\Delta t_1 = 0,0186 \cdot \frac{15,7}{14,216} = 0,0205 \text{ c.}$$

Знаходимо час пуску електроприводу за виразом:

$$t_{\text{ПРИВ.}} = \sum_{i=1}^{10} \Delta t_1, \text{ c, \#(4.33)}$$

$$t_{\text{ПРИВ.}} = 0,0205 + 0,0413 + 0,063 + 0,086 +$$

$$+ 0,111 + 0,1389 + 0,17 + 0,208 + 0,253 + 0,31 = 1,403 \text{ c}$$

Визначення часу пуску електродвигуна вентилятора зображено на рис. 4.3

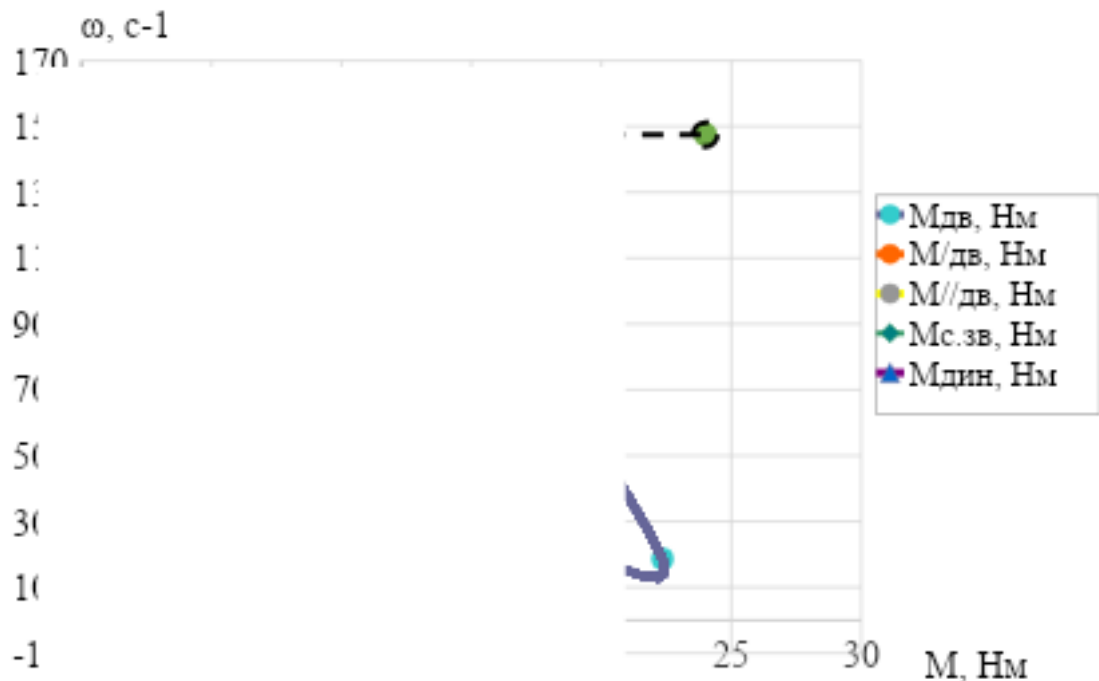


Рис. 4.3. Визначення часу пуску електродвигуна

Таблиця 4.4

**Дані для побудови механічної характеристики робочої машини, динамічних моментів та графіку часу пуску електроприводу.**

$n_c$	0	150	300	450	600	750
$\omega, \text{c}_{-1}$	0	15,7	31,4	47,1	62,8	78,5
$M_c$	1,911	4,296085	11,4513415	23,37677	40,07237	61,53813

$M_{с.зв}$ , Нм	0,52416	0,577666	0,73770662	1,004997	1,378346	1,859422
$M_{дв}$	0	95,5	47,75	31,83333	23,875	19,1
$M_{дин}$ , Нм	14,2428	14,18933	14,0292934	13,762	13,38865	12,90758
$M_{дин.сер}$	14,2161	14,10931	13,8956482	13,57533	13,14812	12,61425
$\Delta t$ , с	0,02054	0,041394	0,06304564	0,086044	0,11105	0,1389
$t_{прив}$ , с	0,02054	0,041394	0,12498109	0,211025	0,322076	0,460976

Продовження табл. 4.4

$n_c$	900	1050	1200	1350	1500	1410
$\omega, с_{-1}$	94,2	109,9	125,6	141,3	157	147,58
$M_c$	87,77407	118,7802	154,5565	195,1029	240,4195	212,6571
$M_{с.зв}$ , Нм	2,44608	3,140939	3,940906	4,84955	5,862825	0
$M_{дв}$	15,91667	13,64286	11,9375	10,61111	9,55	10,15957
$M_{дин}$ , Нм	12,32092	11,62606	10,82609	9,91745	8,904175	14,767
$M_{дин.сер}$	11,97349	11,22608	10,37177	9,410812	4,452087	7,3835
$\Delta t$ , с	0,170722	0,208101	0,253397	0,310303	-	0
$t_{прив}$ , с	0,631698	0,839799	1,093196	1,403499	1,403499	1,403499

## 4.2 Схема керування електродвигуном

Система автоматичного керування електродвигунами вентиляторів виконує низку важливих функцій, спрямованих на підвищення енергоефективності, технологічної надійності та безпеки експлуатації обладнання:

- Плавне регулювання швидкості обертання електродвигунів вентиляторів у широкому діапазоні (не менше ніж 6:1), що дозволяє адаптувати повітрообмін до поточних потреб приміщення;
- Автоматичне зниження або підвищення частоти обертання електродвигунів залежно від температури в пташнику: при зниженні температури обертання зменшується, при підвищенні — збільшується;
- Можливість ручного керування швидкістю обертання вентиляторів через відповідну панель або інтерфейс управління;
- Режим некерованої роботи системи, у якому електродвигуни вмикаються на повну напругу живлення, а перетворювач частоти або контролер відключений чи працює в холостому режимі;
- Ручне завдання температурного режиму у пташнику як еталонного параметра для алгоритму керування;
- Ручне завдання мінімальної швидкості обертання вентиляторів для забезпечення гарантованого повітрообміну за несприятливих умов;
- Автоматичне або дистанційне вмикання системи опалення у разі аварійного зниження температури в приміщенні нижче встановленого критичного рівня;
- Світлова індикація (сигналізація) для повідомлення оператора про стан системи та виникнення аварій;
- Захист керуючої станції та розподільчих мереж від коротких замикань та струмових перевантажень;
- Захист перетворювача частоти від перевищення струмів у силовому ланцюзі;
- Комплексний захист електродвигунів вентиляторів від струмів короткого замикання та перевантаження, що подовжує термін їх експлуатації та забезпечує безпечну роботу системи.

Схема керування електродвигунами вентиляторів представлена на рис. 4.4.

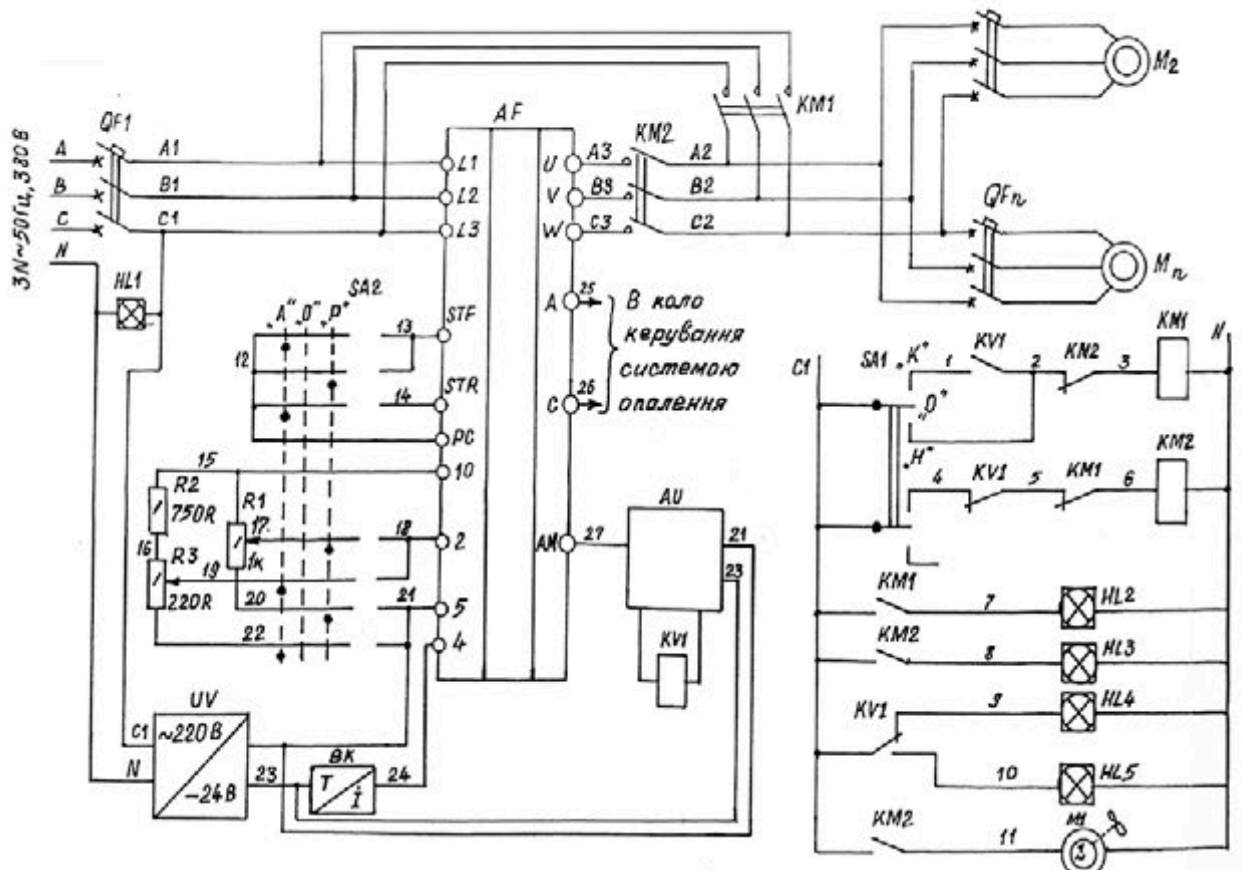


Рис. 4.4. Схема керування електродвигунами вентиляторів

Розроблене схемне рішення у блоці перемикача передбачає встановлення двох контакторів KM1 і KM2. Контактор KM1 вмикає станцію на роботу в некерованому режимі, контактор KM2 - в керованому. Перемикання режимів здійснюється перемикачем SA1. Застосування контакторів дає можливість автоматично переводити систему в некерований режим роботи при досягненні частотою струму значення, близького до 50 Гц (наприклад при 45 Гц).

При цьому зменшується час роботи перетворювача частоти АФ під навантаженням, особливо в літній період, коли вентиляція тривало працює на повну потужність. Аналіз технічних характеристик, вартісних і експлуатаційних показників перетворювачів частоти, виготовлених різними фірмами, показав, що найбільш прийнятним для використання в станціях керування вентиляторів є перетворювач типу FR-E 540 EC фірми Mitsubishi технічні характеристики моделей якого наведено в табл. 4.5.

Таким чином зменшуються втрати енергії в системі керування, подовжується строк роботи перетворювача і зменшується ризик пошкодження

43 ізоляції електродвигунів імпульсними перенапругами, які виникають на виході перетворювача частоти.

Дослідження, проведені з перетворювачем FR-E 540 EC, показали, що при частоті 50 Гц напруга на виході перетворювача 380 В, а при частоті 45 Гц - 320 В, що в 1,2 рази менше, а значить, нижча амплітуда імпульсних перенапруг.

Сигнал на перемикання знімається з виходів АМ і 5 перетворювача частоти. Напруга на цьому виході змінюється пропорційно частоті струму від 0 до 50 Гц відповідно від 0 до 5 В. Сигнал з виходу АМ підсилювався пристроєм АУ2, схема якого показана на рис.4.4. Навантаженням пристрою АУ2 є обмотка реле КV. Контакти реле увімкнені в кола керування контакторами КМ1 і КМ2 та сигнальних ламп НL.5, НL6.

Пристрій АУ2 (рис. 4.4) складено на компараторі К554СА3А. До прямого входу компаратора підводиться напруга від виходу АМ перетворювача АУ2. На інверсний вхід компаратора подається опорна напруга, яка формується подільником R4 - R5, підключеним до джерела струму напругою 24 В.

Таблиця 4.5

**Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти типу FR – E 540  
EC фірми Mitsubishi**

Потужність електродвигунів, кВт		1,5	2,2	3,7	5,5	7,5
Вихідні параметри	Номінальна потужність, кВА	3,0	4,6	7,2	9,1	13
	Номінальний струм, А	4,0	6,0	9,5	12	17
	Допустиме перевантаження, ‰	150‰ – 60с ; 200‰ -0,5 с				
	Номінальна напруга	Три фази, 380 – 480 В, 50 – 60 Гц				
Вхідні параметри	Номінальна напруга	Три фази, 380 – 480 В, 50 – 60 Гц				
	Допустиме відхилення напруги	323 – 528 В				
	Допустиме відхилення частоти	±5‰				
	Потужність джерела живлення, кВА	4,5	5,5	9	12	17
Ступінь захисту		IP20				
Охолодження		Примусове				
Маса, кг		2,0	2,0	2,1	3,8	3,8

При налагодженні перетворювач АФ програмується так, щоб закон регулювання напруги від зміни частоти був  $U = f^2$ . Для вмикання теплогенератора при зниженні температури у приміщенні до мінімального значення використовується сухий контакт між клемми А і С реле, вбудованого в перетворювач АФ. На рис. 4.5 приведена схема з'єднань блока регулятора.

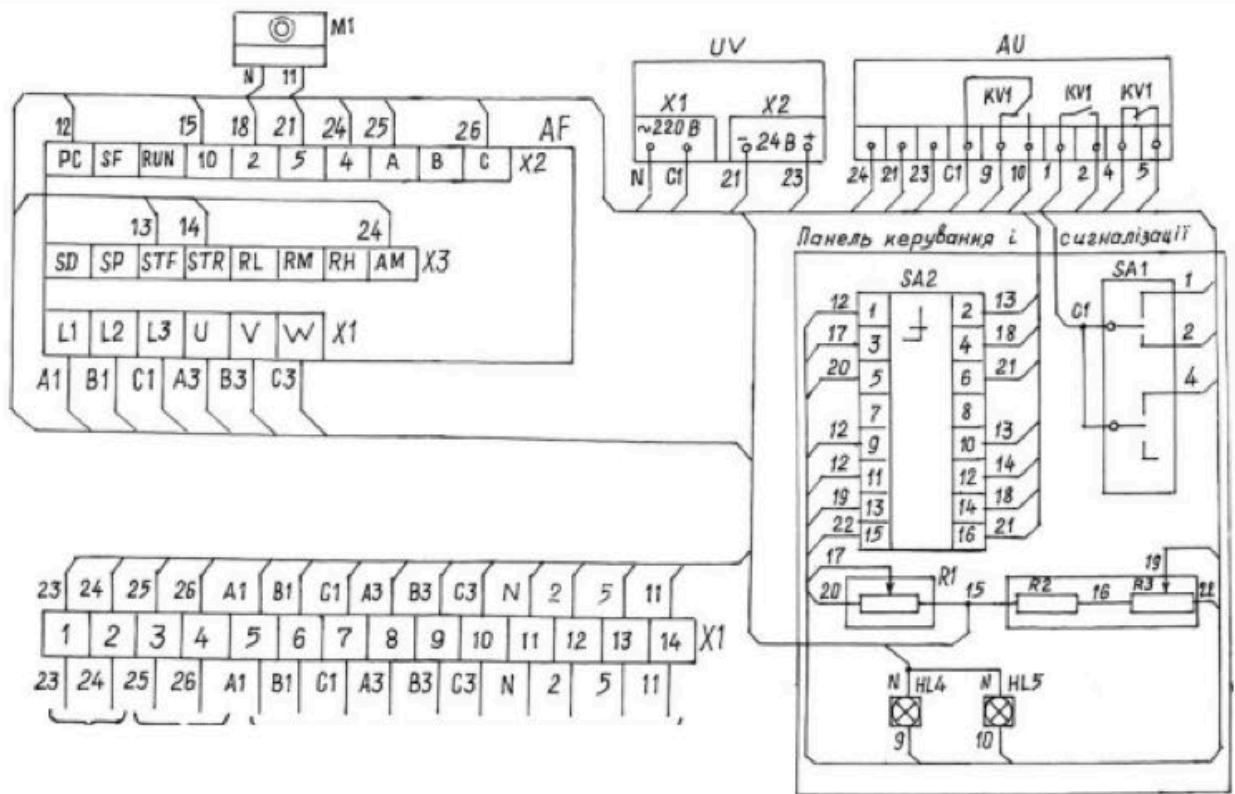


Рис. 4.5. Схема з'єднань блока регулятора станції керування з контакторами

### 4.3 Висновки до розділу 4

На основі проведених електротехнічних досліджень було здійснено комплексний розрахунок та вибір електроприводу вентилятора ВО-12,5. При подачі повітря  $9,79 \text{ м}^3/\text{с}$  розрахункова потужність вентилятора становить  $0,806 \text{ кВт}$ . Номінальна потужність при клинопасовій передачі  $0,96$  становить  $1,259 \text{ кВт}$ . Для приводу вентилятора було обрано двигун 5А80МВ4. Потужність становить –  $1,5 \text{ кВт}$ , швидкість обертання  $1410 \text{ об/хв}$ , ККД –  $75\%$ .

Механічна характеристика двигуна була побудована за 5 характерними точками.

Було побудовано механічну характеристику робочої машини з номінальним моментом статистичного опору  $19,115 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , момент зрушення  $1,911 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Час пуску електродвигуна 1,403 с. Динамічний момент на початку пуску становить – 14,243 Н·м, при досягненні номінальної швидкості обертання 8,904 Н·м.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Безпека життєдіяльності на підприємстві

У системі управління охороною праці на ТОВ «Вінницька птахофабрика» чітко визначено розподіл обов'язків між керівним персоналом та спеціалістами відповідного профілю. Згідно з внутрішнім розпорядком і вимогами прийнятими законодавством України, відповідальність за дотримання вимог безпеки під час виконання виробничих процесів покладається на інженера з охорони праці. До його функціональних обов'язків входить:

- контроль за виконанням нормативно-правових актів з охорони праці у структурних підрозділах підприємства;
- організація та проведення навчань, інструктажів і перевірок знань з питань охорони праці для працівників;
- участь у розслідуванні нещасних випадків, розробка профілактичних заходів для запобігання виробничим травмам.

Керівник підприємства несе відповідальність за загальний технічний стан обладнання, виробничих приміщень, будівель і споруд, забезпечення їх відповідності нормативам безпеки праці. Вони забезпечують реалізацію заходів з модернізації устаткування, впровадження новітніх технологій та створення безпечного виробничого середовища.

Крім того, інженер з охорони праці координує професійну підготовку та підвищення кваліфікації персоналу, контролює своєчасне проходження медичних оглядів, а також веде документацію, що стосується стану охорони праці та технічного контролю.

Система управління охороною праці на підприємстві створена відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» (№ 2694-ХІІ від 14.10.1992 р.)[47]. У структурі СУОП чітко визначено функції, повноваження та

відповідальність кожного рівня управління щодо забезпечення безпечних умов праці.

Служба охорони праці підприємства здійснює контроль та реалізацію заходів, задля підвищення безпеки, гігієни та умов виробничого середовища на підприємстві. Служба відповідає за наявність розділу охорони праці в колективному договорі, що забезпечує дотримання правил та стандартів працівниками. Також служба проводить паспортизацію відділень та цехів задля їх перевірки на відповідність умовам безпеки. Служба зобов'язується надавати індивідуальні засоби захисту, та забезпечення працівників профілактично – лікувальним харчуванням, та необхідними засобами гігієни.

На підприємстві також діють внутрішні правила визначені для всіх об'єктів ПрАТ «МХП». Правила стосуються визначеного режиму праці та відпочинку. Ці правила стосуються як працівників підприємств, так і відвідувачів. При прийомі на роботу проводиться обов'язковий ввідний інструктаж. При зміні технологічного процесу наприклад: (прилади, інструменти, сировина, матеріали чи будь якого іншого устаткування), проводять позапланові інструктажі. Доступ до підприємства працівників чи відвідувачів що не пройшли контроль знань правил та інструктажів забороняється.

## **5.2 Екологічний вплив на навколишнє середовище**

Під час будівництва підприємства було дотримано усіх вимог нашого законодавства, що передбачило створення комплексних заходів задля екологічної безпеки.

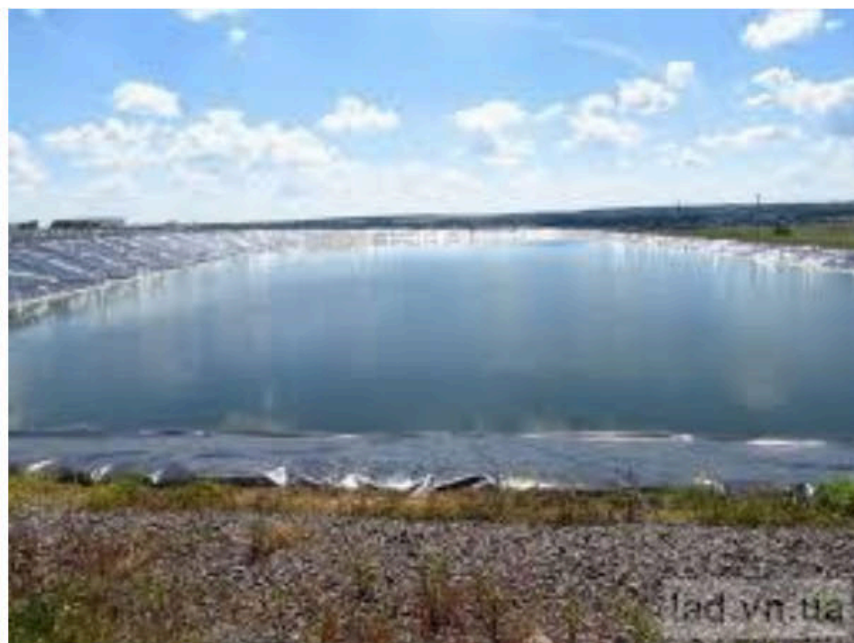
Скидання стічних вод є важливим аспектом у питанні екологічної безпеки середовища. В процесі виробництва гігієна та якість переробки м'яса вимагають використання великих об'ємів води. Вона використовується для очищення приміщень, охолодження повітря в пташнику, миття птиці.

Технічні стічні води мають високий показник хімічних та біохімічних речовин, таких як: азот фосфор та хлор, внаслідок потрапляння туди посліду, жиру, м'яса та крові.

Стічні води виводяться із підприємства за допомогою промислово – побутової каналізації. Спочатку стічна вода виводиться у спеціальний залізобетонний лоток, який знаходиться на території підприємства. Далі відбувається виведення стічних вод в зовнішню каналізаційну систему. Для подальшого очищення цих вод підприємство використовує біологічні очисні споруди див. рис. 5.1. Вони оснащені автоматизованою системою процесу очищення, із сучасним технологічним обладнанням, що дозволяє проводити безпечно очищення відповідно до методичних рекомендацій Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [48].

Технологічний процес включає в себе:

- змішування, видалення стоків;
- двохарове аеробне біологічне очищення;
- фільтрація, доочищення стічних вод;
- ультрафіолетове знезараження водостоків;
- зневоднення надлишкового мулу;
- зберігання надлишкового мулу на мулових майданчиках.



### Рис. 5.1. Біологічні очисні споруди

Одним з важливих аспектів забезпечення екологічної безпеки на ТОВ «Вінницька птахофабрика» є контроль за викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які утворюються в процесі експлуатації пташників. Основним джерелом викидів є система витяжної вентиляції, що забезпечує видалення надлишкового тепла, вологи та шкідливих газів із внутрішнього середовища пташника.

При спалюванні природного газу в пальниках теплогенераторів пташників, в атмосферне повітря викидаються такі забруднюючі речовини: оксиди азоту в перерахунку на діоксид азоту, оксид вуглецю, ртуть та її сполуки в перерахунку на ртуть, а також парникові гази – метан, вуглецю діоксид та азоту оксид  $N_2O$ .

Одним із найважливіших завдань будь якої птахофабрики є утилізація посліду птиці. Зберігання курячого посліду несе за собою екологічні наслідки в результаті великих викидів парникових газів, включаючи: вуглекислий газ, метан, сірководень аміак та інші. В джерелі[49], наведено дані, що 400 тисяч курей виділяють на рік близько 700 тонн газів. Найкращим вирішенням цієї проблеми стало утилізування курячого посліду, шляхом анаеробного зброджування.

Підприємством було створено біогазовий комплекс «Біогаз Ладизин» як окрема філія ТОВ «Вінницька птахофабрика», рисунок 5.2.

Його завданням є переробка чистого та підстилкового посліду у біогаз, який в подальшому перетворюють в електроенергію за допомогою когенераційних установок.

Функціонування цього комплексу скорочує викиди підприємством парникових газів у навколишнє середовище на 100 тисяч тонн щорічно. Продуктивність комплексу наведено у табл. 5.1. Також виробництво біогазу утворює органічні добрива, які підприємство використовує для земельних угідь,

оскільки ці добрива містять потрібні органічні сполуки, а також макро та мікроелементи.

Комплекс було введено в експлуатацію у грудні 2019 року, в межах реалізації стратегії сталого розвитку. Встановлена енергетична потужність становить 12 МВт. Проект будівництва біогазового комплексу ВП «Біогаз Ладизин» реалізовується в дві черги із запланованою встановленою енергетичною потужністю 24 МВт, що робить його найбільшим біогазовим комплексом з переробки органічних відходів від курчат-бройлерів в світі [50].

Згідно даних «МХП», обсяг заявленої електроенергії першої черги, здатний забезпечити 35000 сімей. А в промисловому масштабі виробленої енергії першою чергою біогазового комплексу МХП вистачить для забезпечення електрикою близько 40% потужностей агроіндустріального кластеру МХП. В цей кластер входять найбільша в Європі «Вінницька птахофабрика» з переробним комплексом та бригадами вирощування курчат, комбікормовий комплекс, маслопресовий завод, інкубаторна станція та водофільтрувальна станція [50].



Рисунок 5.2 Біогазовий комплекс «Біогаз Ладизин»

Цей проект забезпечує зменшення викидів парникових газів, завдяки ефективній утилізації посліду. Також це дозволяє спалювання метану замість природного газу в забійному цеху. Згідно розрахунків проект має скоротити викиди парникових газів приблизно на 85500 т еквівалента CO<sup>2</sup> на рік [51].

Таблиця 5.1

**Продуктивність комплексу ВП «Біогаз Ладижин» ТОВ «Вінницька птахофабрика» за 2023-2024 роки**

Рік	Виробіток біогазу, м <sup>3</sup>	Виробіток електроенергії у перерахуванні, МВт	Виробіток твердих органічних добрив, т	Виробіток рідких органічних добрив, т
2023	39014397	83881	66908	513048
2024	42436076	91238	80985	558046

Комплекс включає 12 відділень для бродіння, з блоки по 3 ферментатори та по 1 доброджувачу для них. Діаметр ферментаторів складає 12 м. Вмісткість 7,5 тисяч м<sup>3</sup> субстанції.

Визначені санітарно захисні норми для будівництва комплексу складають: відстань не менше 1000 м від житлових будинків та не менше 500 м від жодних чутливих об'єктів.

Цикл процесу утворення метаногонезу складає 29 днів. Впродовж цього часу утворюється газ який транспортується до електростанції, що складає 6 когенераторів (рис. 5.3.), які знаходяться на базі переробного комплексу підприємства.



Рисунок 5.3. Когенератор на базі переробного комплексу

Двигуни забезпечують близько 7 тонн пари на годину, яка використовується у процесі виробництва «Переробного комплексу». Вироблена енергії спрямовується в об'єднану енергосистему України.

### 5.3 Висновки до розділу 5

У даному розділі було розглянуто комплекс заходів забезпечення безпеки праці та екологічної безпеки, впроваджені на ТОВ «Вінницька птахофабрика». Аналіз демонструє комплексний підхід підприємства відповідно до вимог українського законодавства з чітким розподілом обов'язків між керівним персоналом та спеціалістами, що забезпечує ефективний контроль за дотриманням норм безпеки на всіх етапах виробничого процесу.

Підприємство впровадило сучасні методи очищення стічних вод, зокрема біологічні очисні споруди з багатоступеневою системою фільтрації та знезараження, що відповідає вимогам екологічного законодавства.

Особливої уваги заслуговує впровадження біогазового комплексу «Біогаз Ладжин», який забезпечує утилізацію курячого посліду шляхом анаеробного зброджування. Цей інноваційний проект не лише скорочує викиди парникових газів на 100 тисяч тонн щорічно, але й забезпечує виробництво електроенергії потужністю 12 МВт та органічних добрив для сільського господарства.

Функціонування комплексу демонструє успішну реалізацію принципів циркулярної економіки, коли відходи виробництва перетворюються на цінні ресурси.

Потужність і масштаб комплексу роблять його унікальним проектом у сфері аграрної енергетики не лише в Україні, а й у світі. Крім того, застосування когенераційних установок дозволяє ефективно використовувати вторинну енергію, підвищуючи загальну енергоефективність підприємства.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було обґрунтовано актуальність проблеми підвищення енергоефективності системи мікроклімату пташника за рахунок удосконалення розташування вентиляційного обладнання.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки.

Теоретичний аналіз нормативно – правової бази показує поступовий розвиток та відображає соціальну спрямованість держави на раціональне та економне використання енергії та природних ресурсів. Прийняття нашою державою курсу на євроінтеграцію передбачило більшу увагу питанню енергоефективності, імплементацію європейських директив, більш чітко визначені енергетичні стратегії та взяття Україною міжнародних зобов'язання. У питанні підвищення енергоефективності в агропромисловому секторі, в тому числі в птахівництві фундаментом є нормативно правове забезпечення.

Також варто відзначити наявність низького рівню контролю за впровадження енергетичних стратегій, особливо на малих та середніх підприємствах, низький рівень державної підтримки щодо впровадження енергоощадних технологій на підприємствах. Це в свою чергу стримує інвестиційні проекти впровадження енергоефективних технологій.

Теоретичне дослідження системи мікроклімату визначило основні параметри, необхідні для забезпечення оптимального мікроклімату, фактори впливу на продуктивність та фізіологічні властивості птиці.

Розрахунок повітрообміну птахофабрики визначив основні параметри для забезпечення належного мікроклімату. За результатами дослідження, було визначені основні параметри: годинний об'єм повітря - 129600 м<sup>3</sup>/год , подача вентиляторів – 149040 м<sup>3</sup>/год та кратність повітрообміну 15 - у холодний період року; годинний об'єм повітря - 819669 м<sup>3</sup>/год, подача вентиляторів – 942619 м<sup>3</sup>/год та кратність повітрообміну 24 - у теплий період року. Отримані результати були використані при виборі вентиляційного обладнання.

Експериментальні дослідження бічної системи вентиляції було проведено з використанням обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics (CFD)) програмного пакету ANSYS Fluent.

Результати чисельного моделювання показали, що найбільш ефективно клапани працюють розташовані на висоті 0,21 м від перекриття. Швидкість повітря на вході припливних клапанів 11.54 м/с. Середня швидкість повітря на висоті 0,7 м від рівня підлоги становить 0,5 м/с, а температура – 16,55 °С. Зважаючи на вибір вентилятора, перепад тиску у припливних клапанів становить 70 Па, що повністю забезпечується прокачуванням повітря. Кут нахилу клапана щодо стіни становить 73°. Відкриття клапана на 49 мм. Ці наукові результати можуть використовуватися при розробці нових систем вентиляції для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату.

Проведення електротехнічних досліджень передбачило комплекс експериментальних досліджень. Було здійснено технічно обгрунтований вибір електропривода для осьового вентилятора типу ВО-12,5. На основі розрахункової потужності та інших визначених параметрів було обрано асинхронний електродвигун 5А80МВ4 потужністю 1,5 кВт.

Побудова механічних характеристик електродвигуна та робочої машини свідчать про їхню повну сумісність, що гарантує надійну роботу електроприводу.

Запропонована схема автоматизованого керування електродвигунами з використанням частотного перетворювача FR-E540ЕС забезпечує ефективне регулювання обертів залежно від температури в пташнику, знижує втрати електроенергії, збільшує тривалість надійної експлуатації обладнання та зменшує рівень перенапруг на обмотках. Це дозволяє оптимізувати витрати електроенергії, підвищити гнучкість роботи системи вентиляції та адаптувати її до змінних умов мікроклімату.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нормативно-правова база енергетики. Навчальний посібник / [І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник]; під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кривий Ріг, 2017. – 150с.
2. Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/74/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 11.05.2025)
3. Шевцов В., Бараннік В., Земляний М. Рязова Т. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми та перспективи. Аналітична доповідь // Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м. Дніпро. – Дніпро, 2014. – С. 22–27).
4. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2118-19> (дата звернення: 11.05.2025).
5. Про енергетичну ефективність : Закон України від 21.10.2021 № 1818-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1818-20> (дата звернення: 11.05.2025).
6. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2018/2002 від 11 грудня 2018 року про внесення змін до Директиви 2012/27/ЄС про енергоефективність : Директива; Європарламент від 11.12.2018 № 2018/2002 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/go/984\\_041-18](https://zakon.rada.gov.ua/go/984_041-18) (дата звернення: 11.05.2025)
7. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003 № 555-IV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/555-15> (дата звернення: 11.05.2025)
8. Про альтернативні види палива : Закон України від 14.01.2000 № 1391-XIV // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1391-14> (дата звернення: 11.05.2025)

9. Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації : Закон України від 09.04.2015 № 327-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/327-19> (дата звернення: 11.05.2025)

10. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року про енергетичні характеристики будівель (нова редакція) : Директива; Європарламент від 19.05.2010 № 2010/31/ЄС // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/go/984\\_011-10](https://zakon.rada.gov.ua/go/984_011-10) (дата звернення: 11.05.2025)

11. Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/125/ЄС від 21 жовтня 2009 року про рамки для встановлення вимог до екодизайну для пов'язаних з енергоспоживанням продуктів (нова редакція) : Директива; Європарламент від 21.10.2009 № 2009/125/ЄС // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/go/984\\_011-09](https://zakon.rada.gov.ua/go/984_011-09) (дата звернення: 11.05.2025)

12. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2017/1369 від 4 липня 2017 року про встановлення рамок для енергетичного маркування та скасування Директиви 2010/30/ЄС : Регламент; Європарламент від 04.07.2017 № 2017/1369 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/go/984\\_009-17](https://zakon.rada.gov.ua/go/984_009-17) (дата звернення: 11.05.2025)

13. Про внесення змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення щодо встановлення відповідальності за порушення законодавства про енергозбереження : Закон України від 21.06.2001 № 2550-III // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2550-14> (дата звернення: 11.05.2025)

14. Про впровадження систем енергетичного менеджменту : Постанова Кабінету Міністрів України; Порядок від 23.12.2021 № 1460 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1460-2021-%D0%BF> (дата звернення: 11.05.2025)

15. Про Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики : Постанова Кабінету Міністрів України від 31.12.1997 № 1505 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1505-97-%D0%BE> (дата звернення: 11.05.2025)

16. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/373-2023-%D1%80> (дата звернення: 11.05.2025)

17. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання : Розпорядження Кабінету Міністрів України; План від 13.08.2024 № 761-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/761-2024-%D1%80> (дата звернення: 11.05.2025)

18. Інтернет-видання «Українська енергетика» <https://ua-energy.org/uk/posts/uriad-zatverdyv-natsionalnyi-plan-dii-z-vidnovliuvanoi-enerhetyky>

19. Сайт. Електронний ресурс. Енергетична стратегія. <https://www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya-0>

20. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ: Міністерство розвитку громад та територій України. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075196638495507996?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996?doc_type=2)

21. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування – Київ: Міністерство розвитку громад та територій України. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3074971619479783152?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2)

22. Про прийняття та скасування національних стандартів : Наказ; ДП"УкрНДНЦ" від 03.06.2020 № 104 // База даних «Законодавство України» /

Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0104774-20> (дата звернення: 12.05.2025)

23. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : Наказ; МОЗ України від 19.06.1996 № 173 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0379-96> (дата звернення: 12.05.2025)

24. Про Фонд енергоефективності : Закон України від 08.06.2017 № 2095-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2095-19> (дата звернення: 12.05.2025)

25. Скляр Р. в. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р. в. Скляр та інш.К.: видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.

26. Болтянський Б. в. Порівняльний аналіз систем вентиляції в птахівництві. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки»* МОН України, НУБІП України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 123–126.

27. 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. – 330с.

28. Küçüktopcu E., Cemek, B. Evaluating the influence of turbulence models used in computational fluid dynamics for the prediction of airflows inside poultry houses. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 183. С. 1-12.

29. Ma Y.X., Zou H.F. Optimized design of air inlet devices based on environmental analysis of a broiler house model. *IOP Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Т. 789. 012036.

30. ANSYS Fluent theory guide. Release 2021 R1., 2021. URL: [https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS\\_Fluent\\_Theory\\_Guide.pdf](https://ansyshelp.ansys.com/Views/Secured/corp/v211/en/pdf/ANSYS_Fluent_Theory_Guide.pdf) (дата звернення: 04.04.2025).

31. Modelling heat and mass transfer of a broiler house using computational fluid dynamics / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2015. Т. 136. С. 25-38.

32. Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house / F. Rojano та ін. *Biosystems Engineering*. 2016. Т. 151. С. 273-285.
33. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. CFD modelling of airflow pattern and thermal environment in a commercial manure-belt layer house with tunnel ventilation. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 178. С. 275-293.
34. Tong X., Hong S.-W., Zhao, L. Using CFD simulations to develop an upward airflow displacement ventilation system for manure-belt layer houses to improve the indoor environment. *Biosystems Engineering*. 2019. Т. 178. С. 294-308.
35. Spodyniuk N., Lis A. Research of temperature regime in the module for poultry growing. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Т. 100. С. 451-458.
36. Experimental research and CFD modeling of modular poultry breeding / V.I. Trokhaniak та ін. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2021. Т. 65, № 3. С. 303-311.
37. Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit / A.Dudnyk та ін. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology 2019. Т. 3. С. 586-590.
38. Lendiel T., Lysenko V., Nakonechna K. Computer-integrated technologies for fitomonitoring in the greenhouse. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2021. Т. 48. С. 711-729.
39. Phytomonitoring in the phytometrics of the plants / V. Lysenko та ін. *E3S Web of Conferences*. 2020. Т. 154. 07012.
40. Mobile robot with optical sensors for remote assessment of plant conditions and atmospheric parameters in an industrial greenhouse / V. Lysenko та ін. *International Society for Optical Engineering*. 2021. Т. 12040. 120400D.
41. Lysenko V., Bolbot I., Lendel T. Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. *Technical Electrodynamics*. 2019. Т. 2, № 2. С. 78-81.

42. Investigation of an improved side ventilation system in a poultry house using CFD / V.I. Trokhaniak та ін. INMATEH - Agricultural Engineering. 2023. Т. 69, № 1. С. 384-393.

43. Khmelnik S. Navier-Stokes equations. On the existence and the search method for global solutions. Bene-Ayish : “MiC” - Mathematics in Computer Corp, 2018. 261 с.

44. Trokhaniak V., Klendii O. Numerical simulation of hydrodynamic and heat-mass exchange processes of a microclimate control system in an industrial greenhouse. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2018. Т. 11(60), № 2. С. 171-184.

45. A comparative numerical study of shell and multi-tube heat exchanger performance with different baffles configurations / S.A. Marzouk та ін. International Journal of Thermal Sciences. 2020. Т. 179. 107655

46. Інтернет видання. Електроком. Режим доступу - <https://electrokom.kiev.ua/product/ventilyator-osevoj-vo-125?srsltid=AfmBOooWKWK0N5q-VWIrMcoYRcXcFGocqaNs9G83gKkcoaDkWz99FQUl>

47. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 01.05.2025)

48. Затвердження Методичних рекомендацій з розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами : Наказ; Міндовкілля від 05.03.2021 № 173 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0173926-21> (дата звернення: 01.05.2025)

49. Воробель М. І. Емісія шкідливих газів із курячого посліду за використання різних доз біопрепарату скарабей. Передгірне та гірське землеробство – міжвідомчий тематичний науковий збірник інституту сільського господарства карпатського регіону НААН. URL: <https://phztjournal.isgkr.com.ua/73-1/8.pdf> (дата звернення: 08.04.2025)

50. МХП. Електронний ресурс. Режим доступу - <https://mhp.com.ua/uk/press-releases/mkhp-zadaje-globaljni-ekologichni-trendi-persh-a-chergha-najbilshogo-v-sviti-visokotekhnologichnogo-biogazovogo-kompleksu-vvedena-v-ekspluatatsiju>

51. Класифікатор відходів. ПроАгро. 2019. URL: <http://www.proagro.com.ua/reference/promua/kv/11280.html> (дата звернення: 08.04.2025).

52. Троханяк В.І., Шеліманова О.В., Тарасенко С.Є., Баліцький, А.С. (2023). Дослідження бічної системи вентиляції в пташнику за допомогою CFD. Енергетика: економіка, технології, екологія, № 4, 47-56. Режим доступу: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2023.290893>.