

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

**ПОГОДЖЕНО**

Директор Інституту енергетики,  
автоматики і енергозбереження  
(назва Інституту)

В.В. Каплун  
(ПІБ)  
(підпис)

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри автоматики  
та робототехнічних систем  
ім. акад. Г.П. Мартиненка  
(назва кафедри)

В.П. Лисенко  
(ПІБ)  
(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**02.06.-КМР.323"С".2023.03.06.014.ПЗ**

на тему «ДОСЛІДЖЕННЯ ПТАШИКА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ  
ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ У ПТАШНИКУ З УТРИМАННЯ  
КУРЕЙ-НЕСУЧОК НА БАЗІ КТЗ ОВЕН»

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(цифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(назва)

Гарант освітньої програми

Виконав

Керівник магістерської роботи

(підпис)

І.М. Болбот, д.т.н., професор

(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

С.М. Скрипка

(П.І.Б. студента)

І.Т. Цигульов, к.т.н., доцент

(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

**КИЇВ-2023**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
автоматики та робототехнічних  
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

В.П. Лисенко

2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**  
(бакалаврської, дипломної)

**Скринці Сергію Михайловичу**

(прізвище, ім'я по-батькові)

Спеціальність: 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тема магістерської роботи «**ДОСЛІДЖЕННЯ ПТАШНИКА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ У ПТАШНИКУ З УТРИМАННЯ КУРЕЙ-НЕСУЧОК НА БАЗІ КЕЗОВЕН**»,

затверджена наказом від 06.03.2023 року №323 «С»

Термін подання студентом магістерської роботи 05.11.2023 року

**Вихідні дані до магістерської роботи:** завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Технологічна характеристика промислового пташника яєчного спрямування.
2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму в пташнику в літній період.
3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом у пташнику та засобів його реалізації.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Техніко-економічне обґрунтування.

**Дата видачі завдання** «07» березня 2023 року

**Керівник магістерської роботи**

(Підпис)

**Завдання прийняє до виконання**

(Підпис)

Цигульов І.Т.

(Прізвище та ініціали)

Скрипка С.М.

(Прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
РОЗДІЛ 1. Технологічна характеристика промислового пташника ячного спрямування .....	9
1.1. Мікроклімат промислового пташника як фактор управління .....	9
1.2. Улаштування систем вентиляції промислових пташників .....	17
1.3. Профілактика теплового стресу в птахівництві. Технологічне обладнання систем вентиляції та охолодження повітря промислових пташників .....	22
РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму в пташнику в літній період .....	29
2.1. Визначення продуктивності системи вентиляції у промисловому пташнику в літній період .....	29
2.2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму у пташнику в літній період .....	34
2.3. Аналіз динаміки об'єкта керування та визначення його передатної функції .....	40
2.4. Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику для утримання курей-несучок .....	42
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом у пташнику та засобів його реалізації .....	44
3.1. Вибір алгоритму керування .....	44
3.2. Реалізація алгоритму керування .....	47
3.2.1. Вибір частотного перетворювача для керування електродвигунами приводу вентиляторів .....	49
3.2.2. Вибір первинного вимрювального перетворювача .....	52
3.2.3. Визначення передатної функції виконавчого механізму .....	57
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування .....	61
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації .....	67
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування вентиляційним обладнанням у пташнику .....	67
5.2. Розробка схем електричних з'єднань та підключень САК вентиляційним обладнанням у пташнику .....	72
5.3. Вибір апаратів захисту та керування .....	74
5.4. Вибір проводів та кабелів .....	81
5.5. Вибір щита керування .....	83
РОЗДІЛ 6. Техніко-економічне обґрунтування .....	85
Висновки .....	89
Література .....	90
Додатки .....	92

## ВСТУП

# НУБІП України

Актуальність теми. Птахівництво в Україні є традиційною галуззю

сільського господарства, чому сприяють кліматичні умови та розвинуте зернове господарство. Птахівництво – скороспіла галузь, менш

капіталомістка, більш мобільна в нестійких умовах ринку. Віддача корму у птиці в 3-4 рази вища, ніж у свиней, великої рогатої худоби та овець, і, як

результат – собівартість м'яса птиці найнижча, що є найбільш сприятливим

фактором підвищення попиту на цей продукт, доступний навіть для споживачів з невисокими доходами.

За останні роки валове виробництво продукції птахівництва та попит на неї серед населення постійно зростає. У той же час птахівництво –

складний і взаємопов'язаний комплекс технологічних, біологічних, економічних та соціальних факторів.

Дану особливість потрібно враховувати при забезпеченні птахівництва ощадливим енергопостачанням. Сьогодні процеси міжнародної економічної

інтеграції є домінуючими в розвитку світової економіки. Інтеграція України у

європейське співтовариство актуалізує проблему продовольчої безпеки, адже стабільний розвиток держави неможливий без вирішення проблеми

продовольчої безпеки.

Галузь птахівництва є важливою складовою вітчизняного аграрного

ринку і безпосередньо впливає на забезпечення продовольчої безпеки країни.

Птахівництво належить до тих галузей, розвиток яких дає змогу прискореними темпами поліпшити забезпечення зростаючого попиту

населення на високоякісні продовольчі товари тваринного походження.

Динаміка останніх років галузі птахівництва характеризується динамічним розвитком.

Рентабельність виробництва харчових яєць підприємствами з 1999 до 2012 року кожного року збільшувалася на 1,9%. Те ж саме, і в об'ємах

виробництва яєць у цей період середній приріст виробництва майже 0,81 млрд. одиниць у рік. Таким чином, у 2012 році зафіксовано дані продукції у кількості 19,4 млрд. одиниць, що у 2 рази більше ніж показник 1999 року [34].

З 2014 року виробництво яєць знизилось через економічну кризу та політичну ситуацію в країні – анексію Криму та бойові дії на сході України.

Певна кількість підприємств (фірм) призупинили свою діяльність, деякі зовсім закрилися. Так, за даними Держкомстату України, у 2013 році вироблено 19614,8 млн. шт. яєць, а у 2015 та 2016 - 16782,9 млн. шт. і 15100,4 млн. яєць відповідно [35].

Графік зі звіту Державної служби статистики України [36]

Динаміка виробництва харчових яєць по всім категоріям господарств України за роками, млн. штук

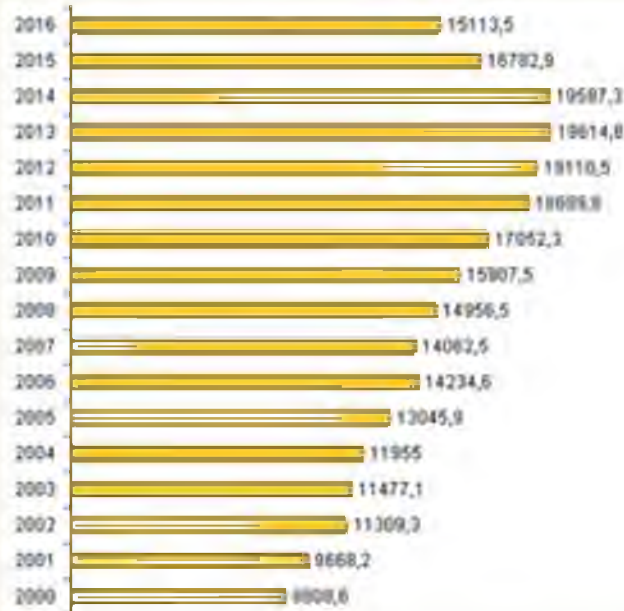


Рис. В.1. Динаміка виробництва яєць в Україні (за даними Державної служби статистики України)

Нині найбільшими підприємствами галузі є «Миронівський хлібопродукт» та «Агромарс». Їх торгові марки «Наша Ряба» і «Гаврилівські курчата» контролюють 64 % ринку: – 50 % і 14 % відповідно. Прибуток від бізнесу з виробництва птиці, за даними Інвестиційної компанії Dragon Capital, оцінюється в 20–35 % (EBITDA).



Куряче яйце є одним з дешевих, і тому доступних джерел білка в раціоні людини. Споживання яєць в 2011 та 2014 рр. в Україні на одну особу становило 340 шт. прсти 166 шт. у 2000 році та 290 шт. при раціональній нормі споживання [2] (табл. В.1).

Таблиця В.1.

Рівень виробництва і споживання яєць на одну особу за рік, шт

Показники	Роки											2014 р. у % до 2000 р.	
	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
Виробництво	179	277	304	302	323	345	372	409	419	431	442	442	247
Споживання	166	238	251	252	260	272	290	310	307	309	310	310	187

Зростання обсягів споживання яєць пояснюється тим, що яйця є дешевим і якісним заміником більш дорогих продуктів харчування білкової групи.

Так, згідно з даними Державної служби статистики України, в період з 2001 по 2014 рік товарна місткість ринку яєць збільшилася на 89 % при цьому нарощування товарообігу відбувалося переважно за рахунок зростання продажів яєць через торговельні мережі та магазини. Зокрема, частка торгових мереж і магазинів за вказаний період збільшилася з 31,2 % до 59,2 %

[2].

Розвиток промислового виробництва яєць дає поштовх розвитку нового для України напрямку промислової переробки – виробництва яєчних продуктів. Активне виробництво яєчних продуктів почалося близько п'яти років тому, але незважаючи на настільки короткий період існування галузі, виробники змогли за кілька років не тільки збільшити обсяги виробництва в 8,2 рази, але і вийти на експортні ринки. Враховуючи зростаючий попит на яєчні продукти з боку зовнішніх ринків, очікується прискорення розвитку даного перспективного напрямку промислового виробництва.

Проведене дослідження дає підстави говорити про позитивні тенденції зі збільшення продукції галузі птахівництва.

Серед найбільш значущих проблем, що перешкоджають подальшому поступальному розвитку галузі є:

- висока енергоємність виробництва;
- недостатня конкурентоспроможність вітчизняного виробництва м'яса

птиці;

- нестабільна робота великих птахофабрик;
- наявність застарілої технології та обладнання;
- відсутність власних коштів для розширеного відтворення.

Проте, галузь птахівництва в Україні, незважаючи на численні проблеми, розвивається поступово і прогресивно.

З огляду на перераховані вище проблеми, серед яких необхідно виділити високу енергоємність і наявність застарілої технології та обладнання, тема магістерської роботи спрямована на вирішення саме цих проблем.

Тому кваліфікаційна магістерська робота на тему «Дослідження пташника як об'єкта керування та розробка автоматизованої системи управління параметрами мікроклімату у пташнику з утримання курей-несучок на базі КТЗ ОВЕН» є актуальною і має практичну значущість.

**Об'єктом досліджень** є процес створення мікроклімату у виробничих приміщеннях промислових пташників для виробництва яєць.

**Предметом досліджень** є взаємозв'язки та закономірності режимів функціонування вентиляційного комплексу та їх вплив на енергоефективність системи створення мікроклімату в пташнику.

**Метою магістерської роботи** є удосконалення системи автоматичного керування температурним режимом в промисловому пташнику для виробництва яєць у літній період, що забезпечить підвищення продуктивності птиці та якості продукції за рахунок покращення мікрокліматичних умов утримання та зменшення споживання електроенергії вентиляційним обладнанням.

**Задачі магістерської роботи:**

- обґрунтування кількісних та якісних показників вентиляційного обладнання, що входить до складу вентиляційного комплексу;

- розробка математичної моделі створення температурного режиму у пташнику в літній період та визначення його динамічних властивостей;

- розробка функціональної схеми автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику в літній період;

- вибір технічних засобів автоматизації для реалізації САК температурним режимом;

- визначення показників якості роботи САК;

- розробка електричних схем реалізації САК;

- техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої системи керування.

**Методи досліджень** ґрунтуються на основних положеннях теорії тепло- і масопереносу, математичного моделювання з використанням комп'ютерних технологій.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



## РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМИСЛОВОГО  
ПТАШНИКА ЯЄЧНОГО СПРЯМУВАННЯ

## 1.1. Мікроклімат промислового пташника як фактор управління

Птахівництво – галузь менш капіталомістка, більш мобільна в нестійких умовах ринку, ніж інші галузі виробництва продукції тваринного походження.

Віддача корму у птиці в 3-4 рази вища, ніж у свиней, великої рогатої худоби та овець, і, як результат – собівартість продукції птиці найнижча, що є найбільш сприятливим фактором підвищення попиту на цей продукт, доступний навіть для споживачів з невисокими доходами. В наші дні Україна займає 19-е місце з виробництва яєць у світі. Згідно з науково обґрунтованими нормами споживання продукції, частка яєць має становити 255 штук на душу населення в рік, але нині рівень реального споживання продукції птахівництва в нашій країні значно нижчий. Яйця птиці є цінним харчовим продуктом, що містить багато білків, вуглеводів, жирів, більше 20 мінеральних речовин і понад 12 вітамінів. Основне значення для отримання яєць, як продукту харчування людини, мають кури.

Яєчна продуктивність курей-несучок в 6-8 раз перевищує їх власну вагу. Птахівництво – одна із скороспілих галузей тваринництва. За період 140-150 днів вирощування молодняк досягає статевої зрілості і починає відкладати яйця. При цьому несучість птиці здебільшого висока. Яйце у курки формується за 23-28 годин. Практично такий самий період розвитку ембріона в материнському організмі птиці.

Однією з найважливіших складових технології виробництва яєць є утримання птиці.

Поняття "утримання сільськогосподарської птиці" містить в собі систему заходів, приміщень та обладнання, які забезпечують необхідні умови

життєдіяльності птиці в зовнішньому середовищі. Слід додати, що ці умови мають бути оптимальні і забезпечувати життєдіяльність організму на такому рівні, який дає змогу птиці показати максимальну продуктивність з найменшими витратами кормів та енергетичних засобів.

У віці 130-140 днів молодих курочок поміщають у цех несучок, де отримують товарні яйця.

Утримуючи птицю в клітках, її розміщують у багаторушних кліткових батареях. Курей утримують у клітках, без півнів. Таке утримання дає змогу значно скоротити площі для утримання. Істотна перевага кліткової системи та її відмінність від інших систем інтенсивного птахівництва полягає в розміщенні птиці малими групами або навіть індивідуально. Це полегшує спостереження за птицею і допомагає своєчасно вилучати хворих, низькопродуктивних особин, та сприяє кращому збереженню поголів'я, зменшує витрати кормів, підвищує продуктивність праці.

Щомісячно відбраковують хворих, без пір'я, низькопродуктивних тварин та замінюють їх високопродуктивними молодими. При високій інтенсивності росту птиця економно витрачає корми.

З цеху яйця механізовано збирають і відправляють на склад, де їх сортують, упаковують і відправляють на реалізацію.

Несучість птиці визначають за кількістю знесених яєць протягом календарного або біологічного року. При груповому обліку продуктивності несучість враховують діленням кількості зібраних яєць на середнє поголів'я птиці, обчислене за фуражними днями. Інтенсивність несучості визначають у відсотках діленням кількості яєць, знесених за певний період, на кількість днів цього періоду і наступним множенням результату на 100.

Крім несучості, продуктивність птиці оцінюють за масою яєць, їхнім хімічним складом і поживністю. Маса одного яйця становить 45-75 грам. Найдрібніші яйця у молодій птиці на початку несучості. З віком маса їх збільшується і досягає максимальної в 2-4-річному віці.

Приміщення для утримання птиці повинно бути сухим, стіни – покриті штукатуркою та побілені погашеним вапном, підлога – мати тверду поверхню та нахил для стікання води під час миття пташників.

Приміщення повинно мати природну і штучну вентиляцію з подачею свіжого повітря 1,4–1,7 м<sup>3</sup>/годину на 1 кг живої маси птиці, мати оптимальну температуру +14–18 °С, відносну вологість повітря 60–70%. Треба пам'ятати, що при температурі нижче 8 °С або підвищенні вище 28 °С несучість птиці знижується, а при температурі нижче плюс 6 °С припиняється взагалі.

Курчата дуже чутливі як до низьких, так і до високих температур повітря. У сільськогосподарських тварин пристосованість до низьких температур повітря краща, ніж до високих. Кількість тепла, що утворюється в тілі різних тварин, неоднакова. Чим менша тварина, тим відносно більше вона утворює тепла з розрахунку на 1 кг живої маси.

У молодих тварин температура тіла завжди вища, ніж у дорослих, що пов'язано з інтенсивністю обміну речовин. За інтенсивної м'язової роботи температура тіла підвищується. Поїдання корму підвищує, а тривале голодування знижує температуру тіла. Сталість температури тіла зберігається лише за умови рівності теплоутворення й тепловіддачі всього організму. Це досягається за рахунок терморегуляції.

Між температурою навколишнього середовища й теплоутворенням існує обернено пропорційне відношення. Влітку теплоутворення знижується, а взимку підвищується.

На холоді тварини зменшують площу відкритої шкіри (лежать зіщулившись). Апетит підвищується. Кровоносні судини шкіри звужуються, секреція потових залоз зменшується. Все це зумовлює зниження віддачі тепла в навколишнє середовище.

При підвищенні температури повітря до 30...31 °С порушується обмін речовин, кури втрачають апетит, більше п'ють води, що призводить до зниження інтенсивності росту, життєздатності, несучості. У молодих курочок відбувається затримка статевого розвитку.

Дослідами встановлено, що з кожним градусом підвищення температури від 20 до 35°C знижується на 1,5–2% несучість курей, на 2–2,5% — маса яєць, на 1,5–2,5% — згодовування кормів, на 1–1,5% — товщина шкаралупи. Крім того, чутливість курей до теплового стресу з віком збільшується. Це пов'язують із зниженням функції яєчників та яйцеводу.

Надзвичайно чутливі до підвищення температури старі кури. Наприклад, у разі підвищення температури до 30°C й вище на 5% знижується у 35–44-тижневих, на 12% — у 45–54-тижневих, на 24% — у 55–64-тижневих несучок. Крім цього, збільшується пауза між кладкою двох яєць: за температури 21°C — 25,6 год., за 31°C — 27,7 год.

У зв'язку з прискореним диханням курей та виведенням із організму вуглекислого газу, який бере участь в утворенні карбонату кальцію, що входить до складу шкаралупи, якість її знижується. Крім цього, за високої температури в курей підвищується концентрація водневих іонів (рН) у крові, знижується активність щитоподібної залози, що попереджує утворення в нирках активної форми вітаміну D3. Оскільки кури менше з'їдають корму, то в середньому на 25–30% знижується надходження в їхній організм кальцію (цьому сприяє підвищене вживання води та, як наслідок, прискорене проходження корму через шлунково-кишковий тракт). Усе це може стати причиною мінерального виснаження м'язової та кісткової тканин у високопродуктивної птиці.

Щоб зменшити перегрівання курей, потрібно: знизити кількість курей на 1 м<sup>2</sup> посадки на 15–20%; підвищити швидкість руху повітря до 1,5–2,5 м/с і норму свіжого повітря до 5–7 м<sup>3</sup> на 1 кг живої маси курей за годину.

При підвищеній температурі птиця багато споживає води й співвідношення між спожитими кормами й водою змінюється. Так при температурі 18°C на одну вагову частину корму припадає дві частини води, при температурі 35°C — це співвідношення становить 1:4,7. Відповідно змінюється кількість вивільненої птицею води, тепла та вуглекислого газу.

Отже, як було доведено вище, утримання температури в певних раках є дуже важливим аспектом у виробництві яєць, який напряду впливає на рентабельність виробництва та збереження здорового поголів'я курей-несучок.

Таблиця 1.1.

### Параметри мікроклімату в птахівничому приміщенні

Птиця	Розрахункова температура в холодний період °С			Оптимальна відносна вологість	Швидкість руху повітря у пташниках, м/с					
	Утримання на підлозі		Утримання у клітках		Холодний період року			Теплий період року		
	У приміщенні	Під брудерами			min	Оптимальна	max	min	Оптимальна	max
<b>Кури, індика, качки, гусі, цесарки</b>										
	16+18	-	16+18	60+70	0,2	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0
	16	-	-	60+70	0,2	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0
	14	-	-	70+80	0,2	0,5	0,8	0,3	0,8	1,2
	16	-	16	65+70	0,2	0,3	0,6	0,3	0,6	1,0
<b>Ремонтний молодняк кур у віці, тижнів:</b>										
1+4	28+24	35+24	33+24	60+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
5+11	18+16	-	18	60+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
12+22(26)	16	-	16	60+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
<b>Курчата бройлери у віці, тижнів:</b>										
1	28+26	35+30	32+28	65+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
2+3	22	29+26	25+24	65+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
4+6	20	-	20	65+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6
7+9	18	-	18	60+70	0,1	0,2	0,5	0,2	0,4	0,6

Таблиця 1.2.

### Гранично допустима концентрація шкідливих газів і пилу у птахівничому приміщенні

Значення гранично допустимої концентрації			
Вуглекислого газу, %	Аміаку, мг/м <sup>3</sup>	Сірководню, мг/м <sup>3</sup>	Пилу, мг/м
0,25	15	5	1-5

Таблиця 1.3.

Вплив температури повітря пташника на яйцєноснєсть птїцї  
та споживання кормїв

Температура, °С	Кількість яєць у день на пташник 28000 гол., шт.	Кількість яєць у день на пташник 28000 гол., шт.	Маса яйця, г	Споживання корму на гол., г	Споживання корму на пташник 28000 гол., кг	Витрати корму на 1 г яєчної маси, г	Витрати корму на 10 яєць, кг
-5...0	0.26	7280	57.25	186	5207	12.494	7.153
2...3	0.55	15400	56.50	169	4725	5.431	3.068
7...8	0.74	20720	56.25	150	4191	3.596	2.023
12...14	0.78	21840	55.58	141	3937	3.243	1.803
15...20	0.75	21000	54.83	132	3683	3.199	1.754
23...24	0.68	19040	53.67	122	3429	3.356	1.801
29...30	0.46	12880	50.25	103	2895	4.473	2.248

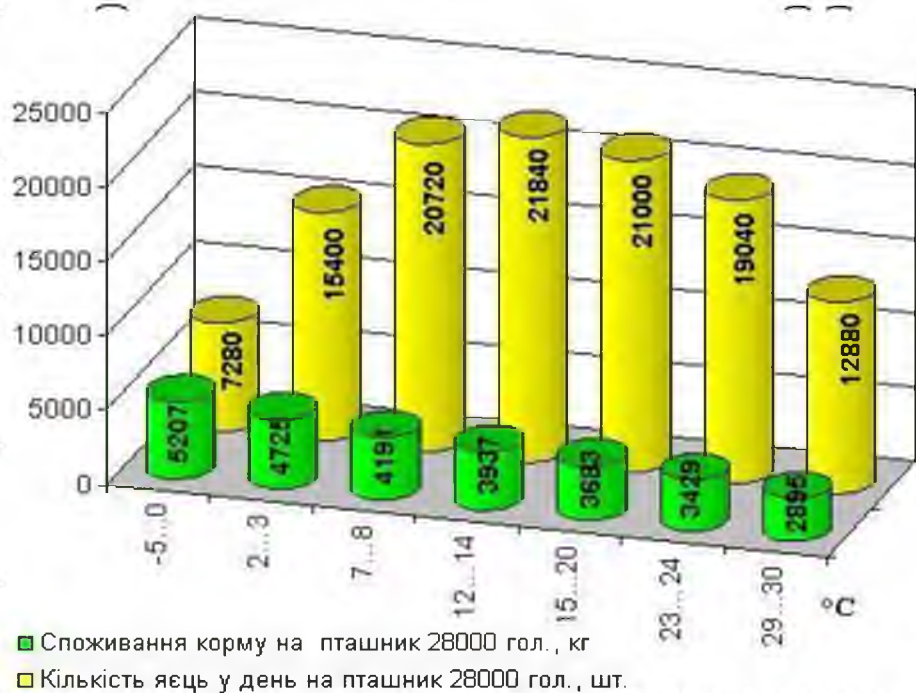


Рис. 1.1. Вплив температури повітря пташника на яйцєноснєсть птїцї та споживання кормїв



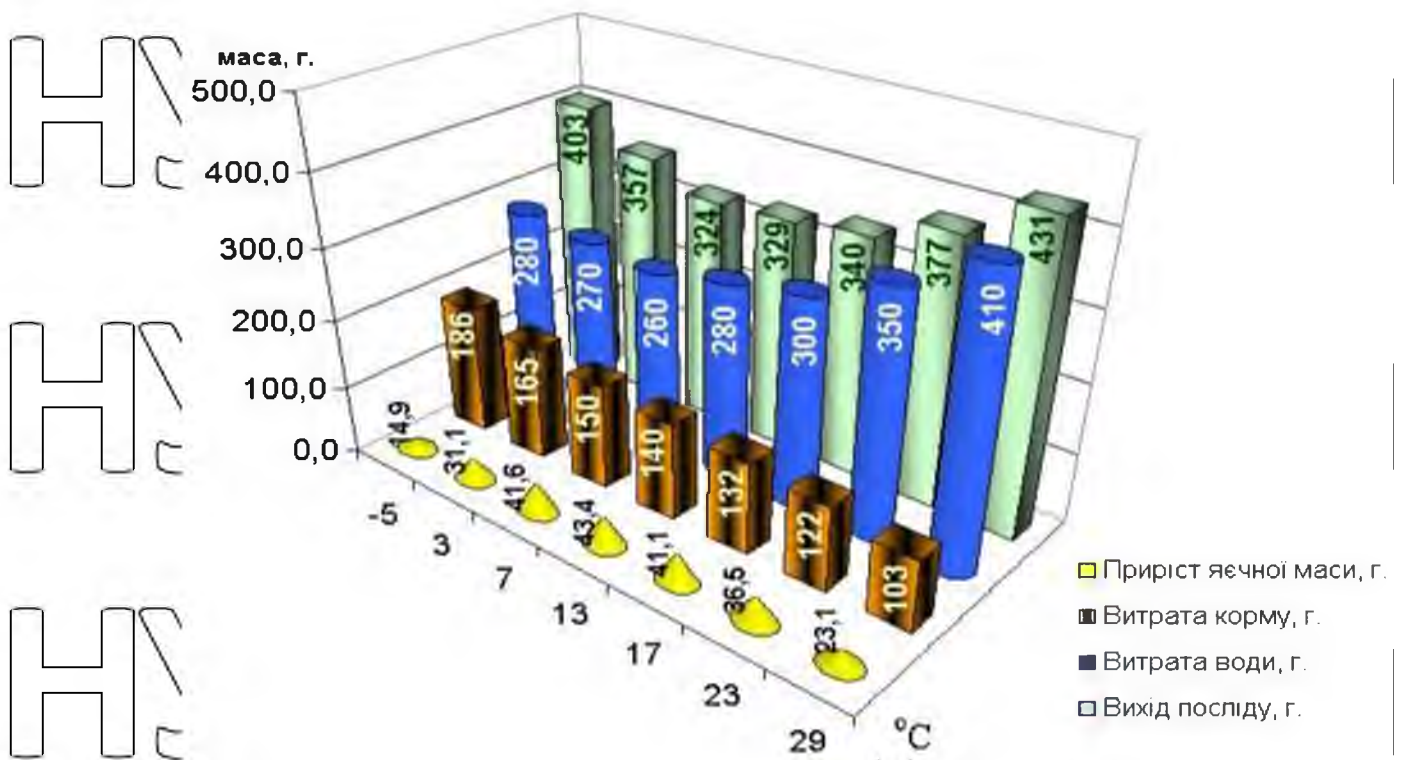


Рис. 1.2. Вплив температури на приріст яєчної маси, споживання птицею кормів, води та вихід посліду

Оптимальні норми *вологості* повітря в планшнику забезпечують нормальний рівень споживання птицею води та корму, хороши стан слизової оболонки органів дихання, шкіряного покриву, оперення птиці та ін.

Вологість повітря особливо впливає на птицю в комплексі з температурним фактором. Водяні пари, які знаходяться у повітрі приміщення, впливають на його теплопровідність та теплоємність. У зв'язку з цим вологість повітря являє собою фактор, який змінює тепловіддачу організму птиці. Підвищена вологість пригнічує обмін речовин, внаслідок чого погіршується апетит птиці, зменшується засвоєння кормів та продуктивність. Тому при підвищеній вологості повітря знижується резистентність птиці, збільшується число захворюваності та гибелі. Висока вологість повітря в приміщенні створює умови для розвитку мікроорганізмів, в тому числі і тих, що шкодять організму птиці.

Рівень відносної вологості має вплив на продуктивність птиці лише в умовах високих і низьких температур. Як тільки температура повітря

перевищує критичну точку термонейтральної зони, кількість води, що споживається птицею, різко зростає. В приміщенні з високою температурою з підвищенням вологості повітря віддача вологи через дихальні шляхи у птиці зменшується і може статися перегрів організму, який в свою чергу призведе до зниження продуктивності птиці. Оптимальна відносна вологість повітря повинна бути в межах 60-70%. Велика вологість влітку при температурі повітря 23-30°C не суттєво впливає на температуру тіла птиці, але при більшій високій температурі погіршується тепловіддача і може призвести до перегріву організму.

**Світло** – один з основних факторів навколишнього середовища, який активізує відтворювальні процеси в організмі птиці. На продуктивність і стан їх здоров'я впливає тривалість світлового дня, освітленість і спектр світлового потоку. Відомо, що скорочення світлового дня гальмує статеве дозрівання молодняку і сприяє кращому його розвитку, а продовження, навпаки, прискорює формування репродуктивної системи, пригнічує розвиток організму і подальшу його продуктивність.

**Повітрообмін**, його інтенсивність впливає як на стан птиці, так і на збереження обладнання. Величина повітрообміну визначається сезоном року та кліматом, породою, віком, рівнем продуктивності курей. Максимальний рівень повітрообміну для птиці з живою масою 1,35-2,25кг при 27°C досягає 7,5 м<sup>3</sup>/год. В зонах з температурою вище 27°C цей показник може складати 9,35 м<sup>3</sup>/год., а нижче (до 15°C) - 5,6 м<sup>3</sup>/год. – на один кілограм живої маси.

Підвищення повітрообміну до 0,028 м<sup>3</sup>/хв. не призводить до збільшення продуктивності птиці, порівняно з повітрообміном в 0,014 м<sup>3</sup>/хв.

В пташниках склад повітря внаслідок життєдіяльності птиці змінюється, накопичуються шкідливі токсичні гази, які підлягають видаленню. Постійними компонентами атмосферного повітря, яким дихає птиця, є азот (78,8%), кисень (20-21%), вуглекислий газ (0,03-0,04%).

Птиця споживає 0,95 л кисню за 1 годину на 1 кг живої ваги, причому під час руху його кількість збільшується, в години сну – понижується.

Вуглекислий газ теж має велике значення в життєдіяльності птиці, оскільки є подразнювачем дихального центру. Він поглиблює та по мірі необхідності прискорює дихання. Концентрація вуглекислоти в пташнику не повинна перевищувати 0,2% (по об'єму). Накопичення його в пташнику в межах 1% і більше викликає отруєння птиці. Виражається це в загальній слабості, в'ялості, нестачі апетиту, що веде до зниження продуктивності. Якщо в пташнику погана вентиляція, то накопичується не тільки вуглекислий газ, а й інші шкідливі гази.

Концентрація аміаку в пташнику впливає на споживання птицею корму і на її продуктивність. При відхиленні параметрів мікроклімату від граничних норм концентрації аміаку в 3-5 разів, відносної вологості на 10-15%, температури на 3-4°C – якість яєць різко погіршується.

## 1.2. Улаштування систем вентиляції промислових пташників

Роль вентиляції у сучасному птахівництві важко переоцінити. Їй сьогодні приділяється набагато більше уваги, ніж будь-коли до цього. Це стало особливо помітно протягом останніх 10-15 років, за які генетика сільськогосподарського птахівництва здійснила потужний стрибок уперед.

Нові кроси птиці, однією з основних характеристик яких є висока інтенсивність росту, потребують значної кількості свіжого, вільного від пилу та патогенної мікрофлори повітря, а також оптимальних значень температури і відносної вологості повітря у промисловому птахівничому приміщенні.

Відмінні від оптимальних параметри як мінімальних (зимових), літніх (максимальних), так і перехідних (весна, осінь) режимів вентиляції неминуче відбивається на самопочутті птиці, і закономірно на результатах її вирощування. Відставання в зростанні та розвитку птиці, зниження конверсії корму, підвищений падіж по причині хронічної респіраторної хвороби,

післявакцинальні ускладнення, проблеми з кінцівками, асцити і синдром випадкової смерті – ось лише частина проблем, які виникають на фоні неадекватного мікроклімату у пташниках.

Особливість вентиляції у птахівництві полягає у її безпосередній залежності від напрямку продуктивності птиці (м'ясне, ячне), її віку, живої маси, географічної зони та сезонних коливань клімату.

В залежності від кліматичної зони, де вирощується птиця, та типу вентиляції, що використовується, усі пташники умовно можна розділити на пташники *відкритого* і *закритого* типу.

Пташники *закритого* типу характеризуються тим, що їх конструкція дозволяє підтримувати мікроклімат всередині незалежно від зовнішньої температури. Це досягається за рахунок використання систем вентиляції двох типів – *природної* або *примусової (механічної)* із дотриманням максимальної герметичності приміщень.

В основі принципу примусової вентиляції лежить різниця між тиском повітря всередині та зовні пташника.

В залежності від *принципу улаштування* розрізняють вентиляцію, яка працює на:

- **від'ємному тиску** – найбільш поширена з систем, де повітря викидається з пташника, створюючи певне розрідження всередині і пасивно засмоктуючи повітря із зовнішнього середовища;

- **надлишкового тиску** – де повітря, що нагнітається, "надуває" пташник. Такі системи створюються часто у таких виробничих приміщеннях, де повітря, що подається, попередньо підлягає старанному очищенню, санациї та/або підігріву;

- **нульовій різниці в тиску** (припливно-витяжні), коли на притоці та на витяжці встановлюються вентилятори з електроприводом.

Для реалізації системи вентиляції від'ємного тиску у птахівничих приміщеннях існує декілька різновидів схем розташування обладнання. Вибір



належної схеми визначається кліматичними умовами у регіоні, конструкцією будівлі, виробничим призначенням пташника, способом утримання птиці і т.д.

При *поперечній* вентиляції (рис. 1.2) зовнішнє повітря потрапляє через припливні повітряні клапани, які розташовані з одного з боків пташника, а виводиться витяжними вентиляторами, що вмонтовані у протилежну бічну стінку. Такий спосіб улаштування вентиляції є універсальним, коли зручно переміщувати як незначні, так і великі об'єми повітря.

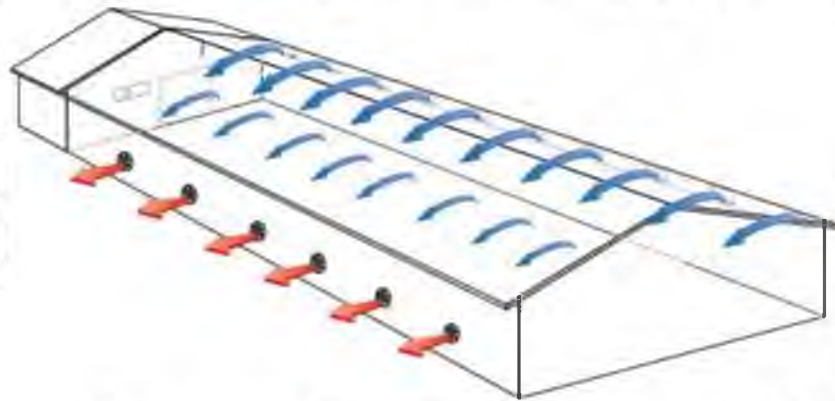


Рис. 1.2. Поперечна система вентиляції

При *повздожній* вентиляції припливні повітряні клапани розташовані з обох боків пташника, а усі витяжні вентилятори монтується у торцевій стінці (рис. 1.3). Така вентиляція найбільше підходить до регіонів із м'яким кліматом, де зміни температури з плином сезонів року виражені не сильно. Таке улаштування вентиляції вимагає мінімальних затрат на обладнання.

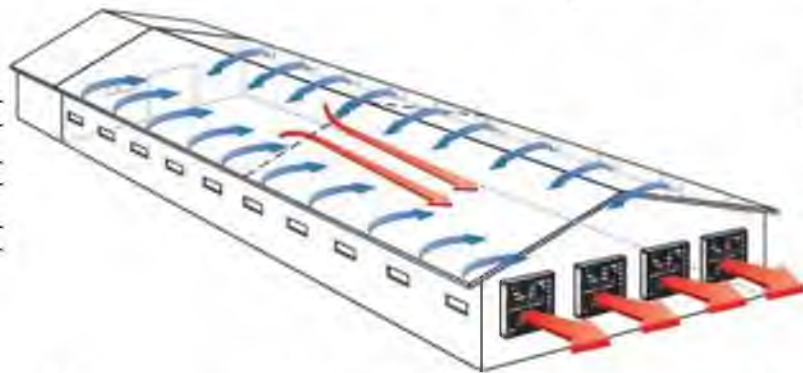


Рис. 1.3. Повздожня система вентиляції

Дахова вентиляція (рис. 1.4) – при такій схемі витяжні вентилятори встановлюються в дахових шахтах. Припливні клапани рівномірно розподілені по повздовжнім стінам. Даний тип підходить для холодних кліматичних зон, він дозволяє добре керувати малими об'ємами повітря. При необхідності використання значних об'ємів повітря експлуатація такої системи може виявитися дуже коштовною, оскільки вимагає встановлення великої кількості дахових шахт із вентиляторами і припливних клапанів.

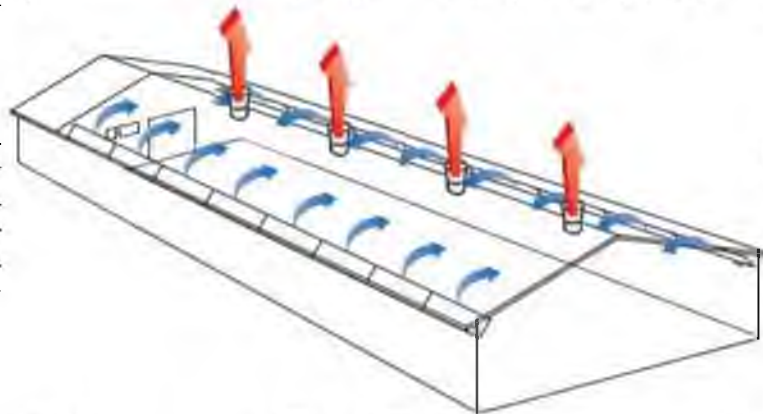


Рис. 1.4. Дахова вентиляція

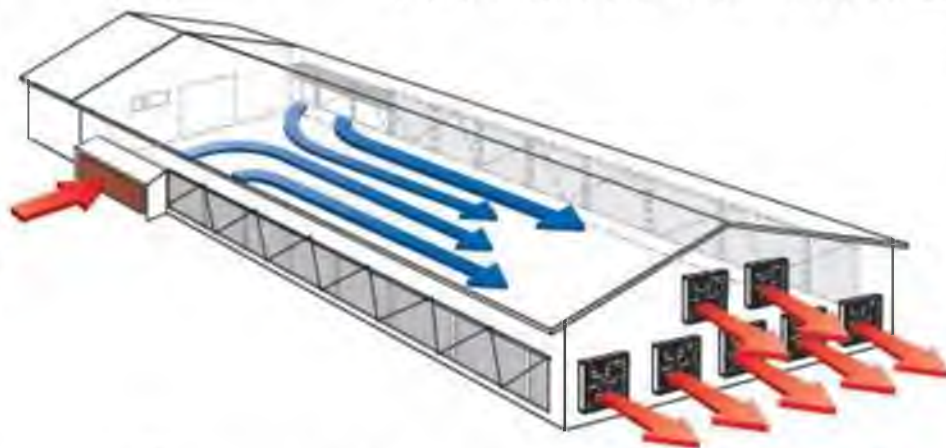


Рис. 1.5. Тунельна система вентиляції

При улаштуванні тунельної вентиляції (рис. 1.5) витяжні вентилятори встановлюються у торцевій стіні, а повітря у виробниче приміщення потрапляє через припливні пристрої (жалюзі) у фронтальній стінці або у передній частині бічних стін. Великі витяжні вентилятори викидають значні маси повітря через торцеву частину даху, утворюючи у приміщенні



високе розрідження. При цьому повітря, що надходить у пташник, рухається з великою швидкістю, створюючи ефект охолоджуючого "бризу" і дозволяє знизити температуру повністю опрленої птиці на 5-7°C [5]. У сильну спеку така вентиляція особливо ефективна у поєднанні із системою охолодження.

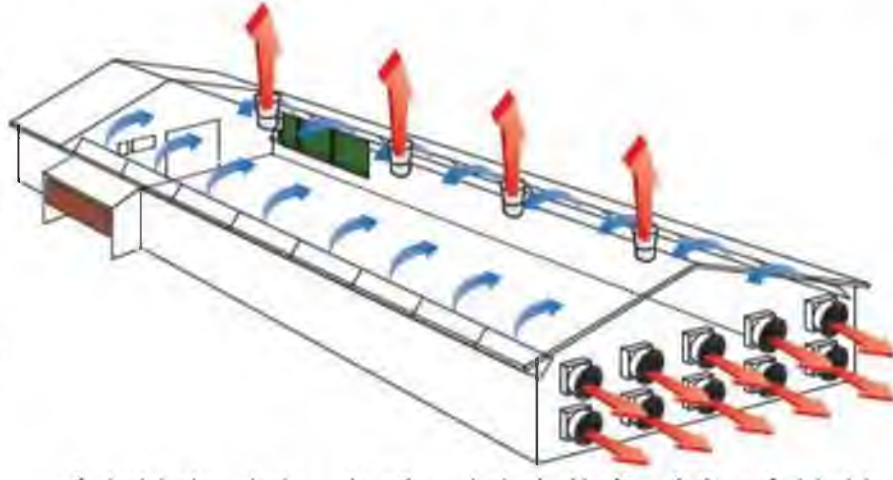


Рис. 1.6. Комбі-тунельна система вентиляції

Тунельна вентиляція є особливо незамінною в умовах спекотного клімату, однак у помірних зонах, особливо у перехідні періоди (весна, осінь, коли коливання між денною і нічною температурами є значними – необхідний більш плавний перехід від мінімальної до максимальної вентиляції. Цей ефект досягається за рахунок комбі-тунельної вентиляції (рис. 1.6). Така схема являє собою поєднання в одному пташницькому приміщенні дахової і тунельної вентиляції. У цьому випадку на час холодного сезону для мінімальної вентиляції використовується дахова вентиляція. У період теплої та спекотної погоди, коли необхідно створити максимальний повітрообмін, використовується тунельна вентиляція (дахова при цьому не використовується). Таке улаштування системи вентиляції є найбільш поширеним у світі.

### 1.3. Профілактика теплового стресу в птахівництві. Технологічне обладнання систем вентиляції та охолодження повітря промислових пташників

Підтримка оптимального мікроклімату в птахівничих приміщеннях за будь-яких зовнішніх температур – обов'язкова умова ефективного виробництва.

Розглянемо шляхи оптимізації мікроклімату в пташнику при високій зовнішній температурі, а також ряд супутніх заходів, що дозволяють мінімізувати негативні наслідки теплового стресу для птиці.

Існує низка заходів, які допомагають мінімізувати негативну дію високих зовнішніх температур на птицю. Їх можна умовно поділити на технологічні, кормові та технічні. У межах даної магістерської роботи зупинимось на технічних заходах.

Головну роль у процесі нормалізації температури повітря у пташнику належить системі вентиляції.

Робота кліматичного обладнання, що використовується для охолодження птиці за високої зовнішньої температури, заснована на двох основних принципах:

- конвекційне охолодження;
- випарне (вологісне) охолодження.

Конвекційний метод передбачає охолодження за рахунок високої швидкості руху повітря, зокрема при улаштуванні тунельної системи вентиляції. Ефективність охолодження при цьому безпосередньо залежить від швидкості руху повітря на рівні птиці та різниці температур повітря всередині та зовні пташника.

Швидкість руху повітря ( $v$ , м/с) усередині пташника визначають три основні фактори: герметичність конструкції; максимальна продуктивність повітрообміну; поперечний переріз птахівничого приміщення.

Конвекційний метод охолодження дозволяє знизити температуру, що відчувається птицею, на 4-6°C. Такого ж ефекту можна досягти за рахунок випарного методу охолодження – при цьому відбувається фактичне зниження температури на 4-6°C. Поєднання обох методів дозволяє знизити температуру на 6-12°C. Цього зазвичай достатньо для запобігання птиці теплового стресу, який починається при температурах, що перевищують 30°C.

**Вибір системи охолодження.** У птахівництві знайшли застосування 2 типи систем охолодження:

- розпилювальні – через дискові зволожувачі або форсунки;
- випарні – через касети рециркуляційного охолодження.

В основі обох систем лежить принцип адиабатичного охолодження, коли вода переходить з рідкого стану в пароподібний шляхом вільного випаровування. При збільшенні абсолютного вмісту вологи температура повітря знижується, в результаті чого одночасно з зволоженням відбувається асиміляція надлишкового тепла без використання штучного холоду.

Дискові (відцентрові) зволожувачі – "піонери" систем охолодження. Сутність їх роботи - у розпиленні води у вигляді туману при обертанні диска на великих обертах. Зазвичай такі розпилювачі встановлюють у закрити систему вентиляції припливу або безпосередньо перед припливними шахтами всередині пташника. Система дуже проста і надійна і може працювати навіть за наявності домішок у воді, наприклад, піску. При споживанні води в межах 15-30 л/год., залежно від площі пташника, потрібно всього 3-4 дискових зволожувача. До їх недоліків слід віднести неоднорідність розміру крапель, що утворюються, і високу ймовірність корозії вентиляційного обладнання за наявності у воді мінеральних домішок.

Форсунки дозволяють отримати спрей або аерозоль та бувають двох типів: низького та високого тиску води. Форсунки низького тиску розраховані на 8-14 бар і поєднують переваги простоти конструкції та дешевизни. Їх можна легко змонтувати в наявному пташнику, розташувавши поблизу



припливних клапанів для прискорення випаровування води з розрахунку 1 форсунка на 500 голів (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Система форсунок низького тиску (а) та форсунка високого тиску (б)

Такі системи працюють при витраті води 10-15 л/год. і дуже ефективні за умов високих зовнішніх температур ( $>37^{\circ}\text{C}$ ) за умови, що значення відносної вологості не перевищує 70% (рис. 1.7, а).

Їх суттєвий недолік полягає в тому, що при високій вологості та розмірі краплі більше 30 мкм виникає ймовірність зволоження підстилки.

Форсунки високого тиску (рис. 1.7, б) працюють при тиску 28-42 бар і мають розмір краплі в межах 10-15 мкм. Це практично виключає залишкову вологість навіть за умов високої відносної вологості навколишнього повітря. Існують також форсунки ультрависокого тиску  $>50$  бар з розміром краплі 5 мкм та початковою швидкістю 100 м/с. Оптимальне розпилення та околороздужувальний ефект досягаються при витраті води 5 л/год.

Початкова вартість таких систем досить висока, проте при покращенні показників відгодівлі, особливо при високій густині посадки птиці, ці витрати швидко окупаються. Усі види форсунок дуже вимогливі до якості води, що використовується, оскільки високий вміст солей швидко виводить їх з ладу.

Їхня експлуатація передбачає наявність системи водопідготовки

Касети випарного охолодження ("cooling pad") застосовуються в умовах високих зовнішніх температур, що перевищують  $37^{\circ}\text{C}$  (рис. 1.8). Принцип роботи заснований на тому, що гаряче зовнішнє повітря, що надходить у пташник, проходить через касету, що складається з гофрованих целюлозно-паперових листів з різними кутами гофрів, по яких стікає холодна вода. Частина води випаровується, а решта здійснює функцію промивання охолоджуючої касети і відводиться назад в насосну станцію через систему рециркуляції. Таким чином, повітря, що виходить з касети, одночасно зволожується та охолоджується (рис. 1.8, а). Завдяки спеціальній технології просочення створюється міцна конструкція касети підвищеної довговічності, захищена від гниття та руйнування. За рахунок теплообміну з водою вдається знизити температуру повітря на  $4-6^{\circ}\text{C}$ , яке потім проходить через пташник у системі тунельної вентиляції, ефективно знімаючи тепло з птиці.

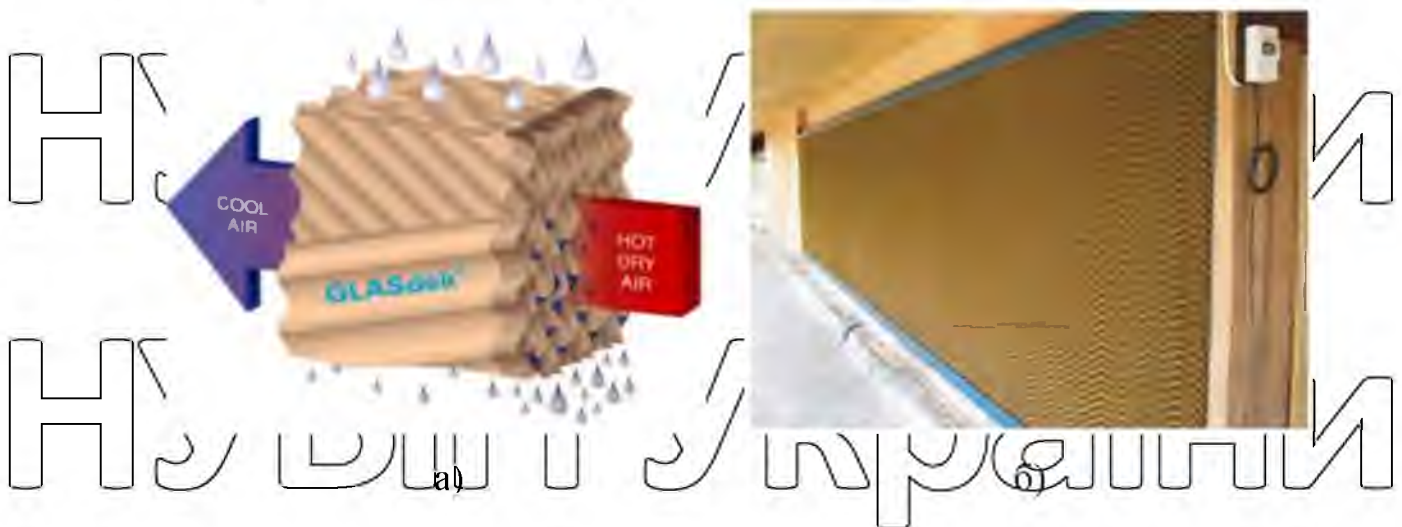


Рис. 1.8. Принцип роботи касети випарного охолодження (а)

та змонтована касета на стінці пташника (б)

Ця система знайшла широке застосування як у яєчному, бройлерному, так і у племінному птахівництві. Вона ідеально функціонує за умови правильного підбору продуктивності витяжних вентиляторів, площі касет і максимальної герметизації пташника, що виключає засмокування повітря через щілини та тріщини в стінах та покрівлі пташника — в обхід касет.

Улаштування системи охолоджувальних касет є коштовним, проте їх застосування повністю виправдане в умовах тривалого періоду високих температур та високої густини посадки птиці (табл. 1.9). Експлуатаційні витрати таких систем зводяться до необхідності застосування високопродуктивних витяжних вентиляторів, а також періодичної заміни самих касет. Частота заміни касет більшою мірою визначена якістю води, що використовується, як і у випадку з форсунками.

Таблиця 1.9.

## Порівняння різних систем охолодження

Показник	Дискові	Форсунки	Касети
Місце встановлення	Напроти припливу повітря та розгінних вентиляторів	Доблизу припливних клананів	На припливі повітря
Метод керування	Вкл./викл., тиск води	Вкл./викл.	Вкл./викл. водяного насосу
Переваги	Не залежить від якості води (періодичне очищення), простота монтажу	Хороше випаровування при високому тиску води, простота монтажу. Можна використовувати у помірному кліматі	Можлива неперервна експлуатація, хороше випаровування, поширена система, насос низького тиску з великим ресурсом, невеликі експлуатаційні витрати, низька ймовірність намокання підстилки
Недоліки	Ризик намокання підстилки, нерівномірне зволоження	Вимагають використання насосів високого тиску, спосіб неприйнятний для неперервної експлуатації, вимогливий до якості води, ймовірність засмічування форсунок	Касети можуть засмічуватись пилом та пліснявою, вимагають заміни через кожні 1-10 років (залежно від якості води, режиму експлуатації); ефективність залежить від герметичності приміщ.



Як було зазначено, птахівничі приміщення великої ємності обладнуються системами вентиляції з примусовим повітряообміном.

В сучасних промислових пташниках, зазвичай, керування мікрокліматом здійснюється за допомогою комплектів обладнання, які складаються з осьових вентиляторів різних типорозмірів та продуктивності

залежно від прийнятої системи вентиляції (див. п. 1.2), теплогенераторів для нагрівання повітря в холодну пору року, систем зволоження повітря, систем розпилення медичних препаратів, станцій керування. Найсучаснішими і

найбільш розповсюдженими у світі є системи підтримання мікроклімату Viper

та Amacs (Big Dutchman, Німеччина), ACS5 (DACS, Данія), та ін. Дані системи

управляють припливними і витяжними, зазвичай осьовими, вентиляторами, опаленням, зволоженням залежно від температури повітря всередині і зовні

пташника та виходячи з віку птиці; при цьому підтримують температуру повітря у приміщенні на певному оптимальному рівні.

Основними втратами енергії в приводах осьових вентиляторів є втрати ковзання, оскільки останнє змінюється від 6-7% при номінальній частоті обертання до 80-85% при мінімальній частоті обертання. Зменшити втрати

ковзання в регульованих електроприводах осьових вентиляторів можна за

допомогою використання *перетворювачів частоти (інверторів)*

Автори досліджень [16] показують, що привод вентилятора ВО-Ф-5,6А з перетворювачем частоти на регульовальних характеристиках споживає

потужність в 1,05 – 2,5 рази, привод вентилятора ВО-Ф-7,1А з двигуном

потужністю 0,55 кВт – в 1,5 – 5,2 рази, а з двигуном потужністю 0,37 кВт – в

1,05 – 4,7 разів меншу, ніж аналогічний привод з перетворювачем напруги.

ККД електропривода вентилятора ВО-Ф-5,6А при зміні частоти обертання від 160 об/хв. до 940 об/хв. змінюється від 5 до 62%, а у привода вентилятора ВО-

Ф-7,1А з двигуном АИРП80А6У2 – від 5,6 до 35%.

Підсумовуючи викладений вище матеріал, можна зробити наступні

висновки:

1. Проведений аналіз існуючих систем вентиляції показує, що тунельна має переваги порівняно з іншими системами і може бути вибрана як базова при розробці вдосконаленої системи керування повітрообміном у промисловому пташнику.

2. Для ефективного охолодження повітря в умовах спекотного літа у поєднанні з тунельною системою вентиляції слід використати касетну систему випарного охолодження повітря.

3. Для керування електродвигунами приводу вентиляторів системи повітрообміну необхідно використати частотні регулятори швидкості обертання валу електродвигунів як найбільш економічні.

## РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ПТАШНИКУ

## В ЛІТНІЙ ПЕРІОД

2.1. Визначення продуктивності системи вентиляції у  
промисловому пташнику в літній період

Для теплого періоду року розрахунок продуктивності системи вентиляції проводиться за видаленням надлишкової теплоти.

Розрахунок необхідного повітрообміну проведемо для дорослих курей-несучок, оскільки для них значення виділення тепла та вологи є найбільшими і кратність вентиляції є найбільшою, відповідно продуктивність системи вентиляції повинна забезпечувати необхідний повітрообмін.

Вихідні дані для розрахунку:

- кількість курей-несучок у пташнику  $n = 35000 \text{ гол.}$ ;
- вага птиці – 2,5 кг;

- розрахункова температура зовнішнього середовища для теплого періоду року  $t_3 = 30^\circ \text{C}$ ;

- розміри виробничого приміщення (рис. 2.1)  $96 \times 18 \times 4 \text{ м}$ .

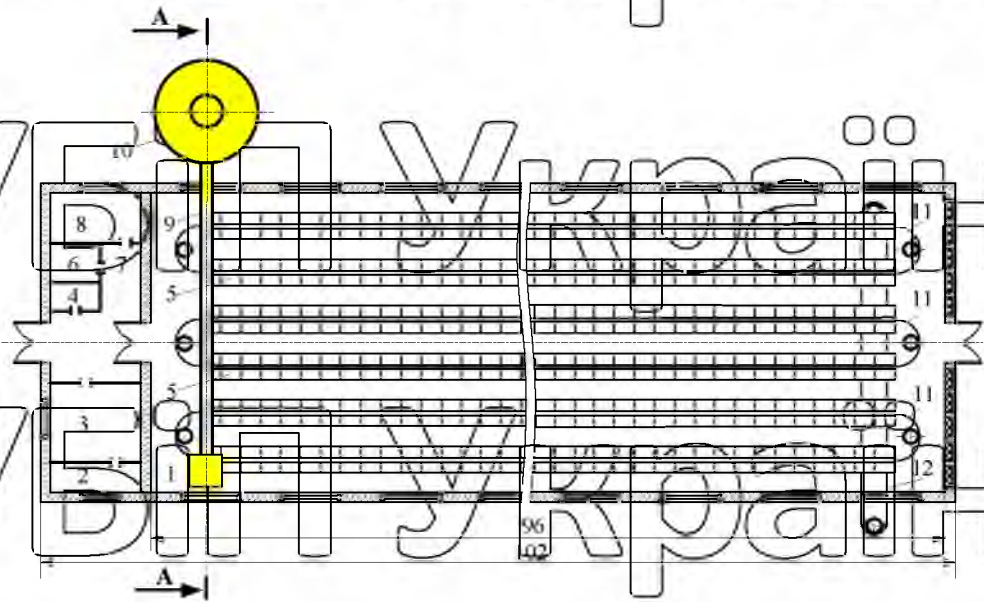
Повітрообмін для літніх умов, кг/год., (максимальна продуктивність вентиляції) визначається за виразом [8]

$$L = \frac{Q_{пт} + Q_{рад}}{I_B - I_3}, \quad (2.1)$$

де  $Q_{пт}$  – надходження теплоти у виробниче приміщення від птиці, кДж/год.;

$Q_{рад}$  – надходження у приміщення тепла від сонячної радіації крізь прозорі і непрозорі поверхні, кДж/год.,

$I_{p1}, I_{p2}$  – ентальпія внутрішнього і зовнішнього повітря, кДж/(кг сухого повітря) (визначають за  $I-d$  діаграмою, за емпіричними залежностями або за довідником).



Вигляд А - А

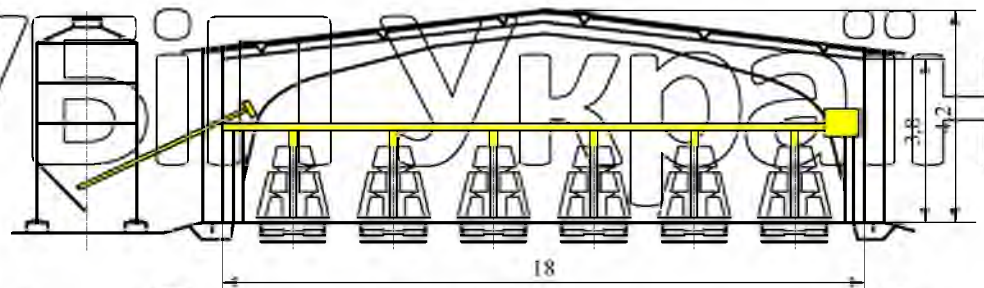


Рис. 2.1. Промисловий пташник для утримання 35000 курей-несучок у кліткових батареях

Надходження теплоти від птиці, кДж/год., визначається за виразом

$$Q_{pt} = n \cdot m \cdot Q_{pt}^1 \cdot k, \quad (2.2)$$

де  $n$  – кількість птиці даного виду у виробничому приміщенні пташника, шт.,

$m$  – вага птиці, кг;

$Q_{pt}^1$  – кількість теплоти, кДж/год. на 1 кг живої маси птиці даного виду (додаток А1).

$k$  – поправочний коефіцієнт для визначення виділень теплоти птицею при різних температурах повітря у пташнику (додаток А2).

Надходження тепла від сонячної радіації, кДж/год., визначається за виразом

$$Q_{РАД} = Q_{ог}^c + Q_{ос}, \quad (2.3)$$

де  $Q_{ог}^c$  – надходження сонячного тепла крізь непрозорі огороження, кДж/год.;

$Q_{ос}$  – надходження сонячного тепла крізь прозорі (скляні) огороження, кДж/год.

Розрахунок обох складових радіаційного тепла є дуже складним, тому для наближених розрахунків надходження сонячного тепла крізь стіни і покриття визначаються [8] за виразом

$$Q_{ог}^c = 3,6 \cdot \left( K_1 \cdot \frac{F_c}{2} + K_2 \cdot F_{п} \right), \quad (2.4)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує надходження тепла крізь 1 м<sup>2</sup> стіни, Вт/м<sup>2</sup> (приймають 3.. 4 Вт/м<sup>2</sup> [8]);

$F_c$  – площа стін будівлі, м<sup>2</sup>;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує надходження радіаційного тепла крізь перекриття, Вт/м<sup>2</sup> (для безгоришних будівель при широті місцевості 45, 55, 65° приймають відповідно 21, 17,5 і 14 Вт/м<sup>2</sup>, а для будівель з горищами 5,8 Вт/м<sup>2</sup> [8]);

$F_{п}$  – площа горизонтальної проекції покрівлі, м<sup>2</sup>.

Кількість тепла, що надходить крізь освітлене сонцем скло будівлі, приймають рівним 400 Вт/м<sup>2</sup> [8], але в розрахунок вводиться 0,5 загальної площі скла.

Враховуючи, що у досліджуваному пташнику утримується 35000

курей-несучок масою  $m = 2,5$  кг та  $Q_{mn}^1 = 25,2$  кДж/год. (додаток А1),  $k = 0,9$  при 30°C (додаток А2), отримаємо значення кількості виділень тепла птахами

$$Q_{пт} = n \cdot m \cdot Q_{пт}^1 \cdot k = 35000 \cdot 2,5 \cdot 25,2 \cdot 0,9 = 1984500 \text{ кДж/год.}$$

Оскільки досліджуваний пташник має розміри  $96 \times 18 \times 4$  і є безвіконним, отримаємо

$$F_C = 2 \cdot 72 \cdot 4 + 2 \cdot 18 \cdot 4 = 576 + 144 = 720 \text{ м}^2, \quad (2.5)$$

$$F_{II} = 96 \cdot 18 = 1296 \text{ м}^2, \quad (2.6)$$

$$Q_{РАД} = Q_{ОГ}^C = 3,6 \cdot \left( K_1 \cdot \frac{F_C}{2} + K_2 \cdot F_{II} \right), \quad (2.7)$$

$$Q_{РАД} = 3,6 \cdot \left( 3,5 \cdot \frac{720}{2} + 5,8 \cdot 1296 \right) = 31597 \text{ кДж / год.}$$

Ентальпія (вміст теплоти) повітря, кДж/(кг сух. пов.), визначається за емпіричною [30] залежністю

$$I = 1,0048 \cdot t + 0,001 \cdot d \cdot (2500 + 1,96 \cdot t), \quad (2.8)$$

де  $t$  – температура повітря, °С;

$d$  – вміст води в пароводяній суміші, г/(кг сух. пов.) при температурі  $t$ , визначається [21] за виразом

$$d(\varphi, t) = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_n(t)}{100 - \varphi \cdot P_n(t)}, \quad (2.9)$$

де  $P_n(t)$  – значення тиску насиченої пари при температурі  $t$ .

Значення тиску насиченої пари визначається в залежності від температури повітря за емпіричним рівнянням [21]

$$P_n(t) = \frac{5,3431 + 0,02783 \cdot t + 0,032213 \cdot t^2 - 3,4032 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7,7192 \cdot 10^{-6} \cdot t^4}{735,6}. \quad (2.10)$$

Результати розрахунку ентальпії повітря для заданих умов наведені в додатку В:

$$I_B = 69,99 \text{ кДж / (кг сух. пов.)}, \quad I_3 = 62,08 \text{ кДж / (кг сух. пов.)}.$$

Отже, повітрообмін для літніх умов для досліджуваного пташника за вказаних умов (максимальна продуктивність вентиляції) дорівнює

$$L = \frac{Q_{II} + Q_{РАД}}{I_B - I_3} = \frac{1984500 + 31597}{69,99 - 62,08} = 254880 \text{ кг / год.}$$



Враховуючи, що густина повітря у пташнику дорівнює  $\rho_{\text{пов}} = 1,239 \text{ кг/м}^3$ , отримаємо

$$L = 254880 \cdot 1,239 = 315800 \text{ м}^3/\text{год} = 87,7 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для забезпечення такого повітрообміну доцільно використати осьові вентилятори серії CN (CN HP) (Gigola E Riccardi S.p.A., Italy) – осьові витяжні вентилятори із лопатями для створення високого тиску, розроблені для використання у системах вентиляції тунельного типу (рис. 2.2, додаток Б1).

Технічні характеристики модельного ряду вентиляторів CN (CN HP) наведені в таблиці 2.1.

Робоче колесо вентилятора у відповідності з технічними умовами виконане із алюмінієвих сплавів, яке не перевантажує електродвигун під час пуску, що дозволяє збільшити строк експлуатації електродвигуна. В комплект вентилятора входять гравітаційні жалюзі із втулками.

За умови, що осьові вентилятори даної моделі повинні здолати тиск 30 Па (максимальна продуктивність), оберемо вентилятор CN-150 55" із продуктивністю 44037 м<sup>3</sup>/год.

Тоді кількість вентиляторів, необхідна для забезпечення розрахованого повітрообміну у зазначеному пташнику для вирощування бройлерів

$$n_{\text{ВЕНТ}} = \frac{315800}{44037} = 7,17 \approx 8 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість  $n_{\text{ВЕНТ}} = 8$  шт., встановлених симетрично у торцевій стінці пташника напроти стінки із касетами охолодження.



Рис. 2.2 Зовнішній вигляд вентилятора CN-150 55"

Таблиця 2.1.

Основні технічні характеристики вентиляторів серії CN (CN HP)

Модель	Виконання	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год., при подоланні тиску				Потужність, кВт
		0 Па	10 Па	20 Па	30 Па	
CN-200 69"	2,5	81052	77726	76720	73591	1,83
	2	75887	72634	70129	65484	1,50
CN-150 55"	2	53689	52579	51460	48381	1,50
	1,5	49885	48147	47170	44037	1,10
CN-140 51"	1,5	43289	40479	39011	37251	1,10
	1	39787	37423	35624	33412	0,75

## 2.2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного

режиму у пташнику в літній період

Будівлі птахівничих підприємств, які розміщені в південних районах

України, а в даний час у зв'язку із глобальним потеплінням у світі, внаслідок дії сонячної радіації та високої температури навколишнього повітря, сильно перегріваються. Як вже було зазначено, перевищення нормативних значень

температури у пташнику, наприклад від 20 до 30°C, призводить до зниження продуктивності птиці на 25-30%.

Для ефективного зниження температури повітря, що подається у пташник для забезпечення необхідної кратності вентиляції, необхідно використати охолоджуючі панелі (рис. 2.2, б). Повітря, що потрапляє у пташник внаслідок дії системи вентиляції вакуумного типу, проходить через ці панелі, охолоджується, знижуючи температуру повітря у виробничому приміщенні пташника.

Схема роботи системи охолодження повітря зображена на рис. 2.3.

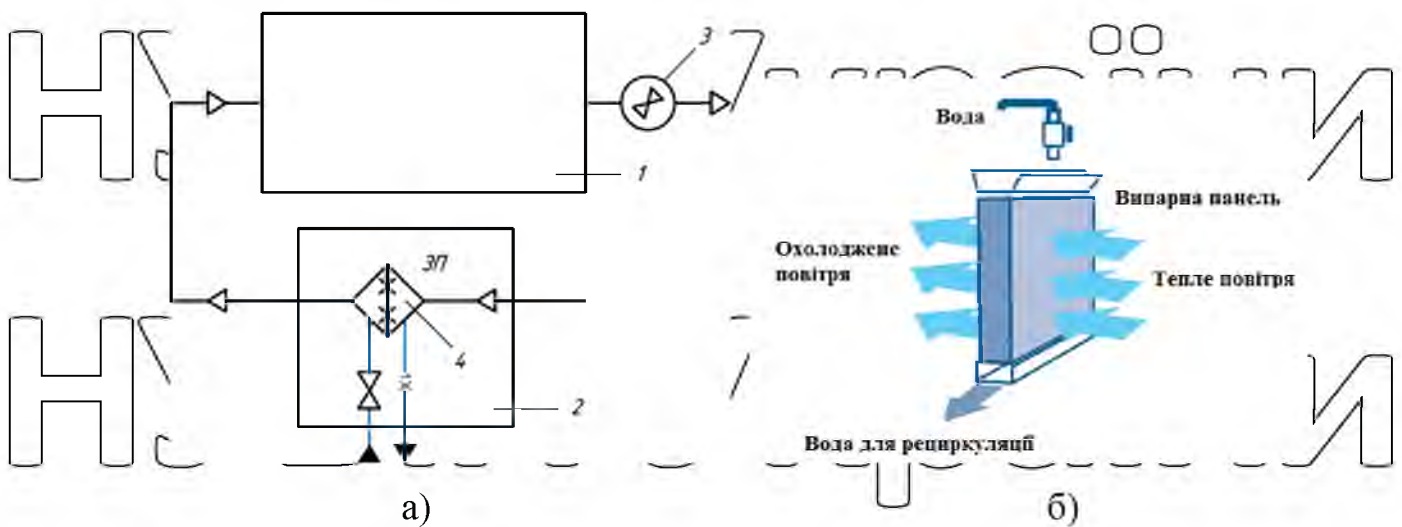


Рис. 2.3. Схема роботи системи охолодження повітря:

а) технологічна схема системи охолодження; б) конструктивна схема охолоджуючої панелі; 1 – виробниче приміщення пташника; 2 – охолоджуюча панель; 3 – витяжні вентилятори системи вентиляції вакуумного типу; 4 – випарна панель

Таким чином, повітря в системі охолодження має такі характеристики:

$$t_1, t_2, t_3, \text{ } ^\circ\text{C}$$

- відповідно, температура повітря на вході в охолоджувач (температура навколишнього середовища), на виході з охолоджувача, на виході із пташника з вентиляційним повітрям;

$$\varphi_1, \varphi_2, \%$$

- відповідно вологість повітря навколишнього середовища та на виході з охолоджувача.

$$c_p = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$$

- середня питома теплоємність сухого повітря;

$$\rho_p = 1,234 \text{ кг/м}^3$$

$$C_{pa} = 1,97 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$$

$$r_0 = 2493 \text{ кДж/кг}$$

$$V_p = 6912 \text{ м}^3$$

$$V_w \text{ м}^3/\text{с}$$

- густина повітря;

- кількість теплоти, затраченої на випаровування  
вологи, приймається рівним значенню середньої  
питомої теплоємності водяної пари;

- питома теплота пароутворення;

- об'єм повітря у пташнику;

- витрати вентиляційного повітря у системі вентиляції.

Для моделі приймемо, що теплофізичні параметри повітря не залежать від температури повітря (в межах похибки).

Складемо матеріальний тепловий баланс для системи охолодження повітря у виробничому приміщенні пташника в теплу пору року для вирощування курей-несучок (рис. 2.3).

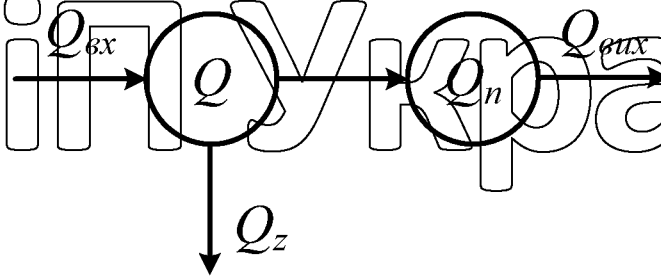


Рис. 2.4. Тепловий баланс при охолодженні повітря у виробничому приміщенні пташника в теплу пору року.

В статичному режимі:

$$Q_{vx} - Q_z - Q_{vyx} = 0 \quad (2.11)$$

де  $Q_{vx} = Q_{пт} + Q_{рад}$  - сумарна кількість теплоти, яку необхідно видалити з виробничого приміщення пташника, яка складається з кількості тепловиділень від птиці  $Q_{пт}$ , кДж/год., та теплоти від нагрівання приміщення пташника сонячною радіацією  $Q_{рад}$ , кДж/год.;

$Q_{vyx}$  - кількість теплоти, що видаляється із пташника з вентиляційним повітрям, кДж/год.;



$Q_z$  - кількість теплоти, що відбирається з виробничого приміщення пташника при випаровуванні води, кДж/год.

В динамічному режимі:

$$\frac{dQ_n}{d\tau} = Q_{BX} - Q_{ВИХ} - Q_z, \quad (2.12)$$

де  $Q_n$  - тепло, що знаходиться у приміщенні пташника.

Враховуючи, що:

$$Q_n = V_p \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_3, \quad (2.13)$$

$$Q_{BX} = V_w \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot t_1, \quad (2.14)$$

$$Q_{ВИХ} = V_w \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot t_3, \quad (2.15)$$

$$Q_z = V_w \cdot \rho_p \cdot (I_2 - I_1), \quad (2.16)$$

де  $I_1, I_2$  - відповідно ентальпія повітря на вході та виході із

кондиціонера, Дж/кг сухого повітря.

Підставивши рівняння (2.13-2.16) у рівняння (2.12), отримаємо

$$\frac{dt_3}{d\tau} = \frac{V_w (C_p \cdot t_1 - (I_2 - I_1))}{V_p \cdot C_p} - t_3 \cdot \frac{V_w}{V_p}. \quad (2.17)$$

Значення ентальпії повітря (Дж/кг сухого повітря) знаходимо за виразом (2.8) в залежності від температури та вологовмісту в повітрі (2.9).

Значення тиску насиченої пари визначається в залежності від температури повітря за емпіричним рівнянням (2.10).

Для визначення кількості теплоти, кДж/год., що необхідно видалити із пташника, використаємо рівняння

$$Q_z = V_w \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_1 - t_3), \quad (2.18)$$

а витрати вентиляційного повітря, м<sup>3</sup>/год. для видалення надлишку

теплоти із пташника визначаємо з виразу

$$V_w = \frac{Q_z}{(I_2 - I_1) \cdot \rho_p}. \quad (2.19)$$

Витрати води на охолодження (кг/с) визначаємо в залежності від різниці вологовмісту повітря на вході та виході охолоджувача повітря:

$$G_w = \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\varphi_2, t_2) - d(\varphi_1, t_1))}{100} \quad (2.20)$$

Лістинг математичної моделі охолодження повітря, що складена за допомогою пакету MathCAD, та результати розрахунків і досліджень наведені в додатку В1.

Крива розгону пташника для утримання курей несучок для каналу "температура повітря – продуктивність системи вентиляції", отримана в результаті розробки математичної моделі охолодження повітря, зображена на рис. 2.5.

Після дослідження розробленої моделі для каналу керування можна зробити наступні висновки:

- зменшення продуктивності системи вентиляції (тобто значення  $V_w, \text{м}^3$ ) призводить до збільшення постійної часу  $T_{ov}$  та часу транспортного запізнення  $\tau_{ov}$  (рис. 2.6), час регулювання при цьому зростає;
- зміна температури повітря на виході з охолоджувача істотно впливає на температуру повітря в приміщенні пташника (рис. 2.7).

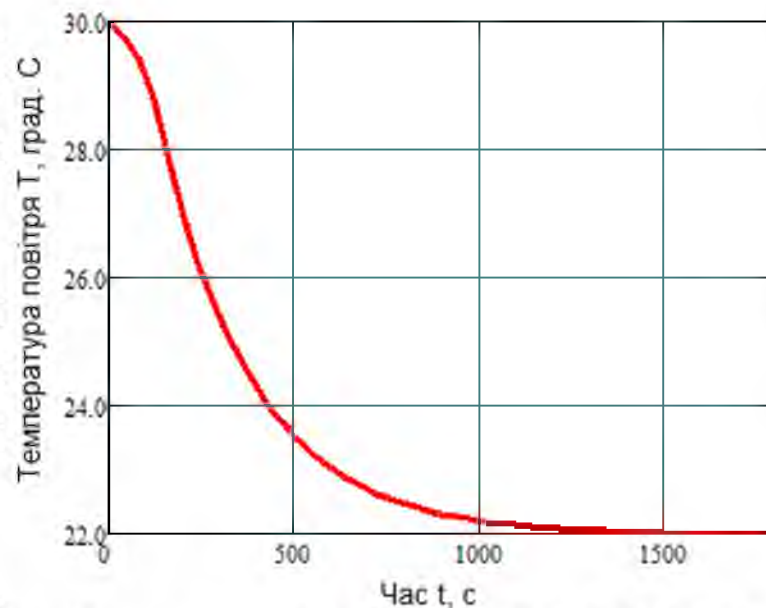


Рис. 2.5. Крива розгону пташника для каналу "температура повітря – продуктивність системи вентиляції"



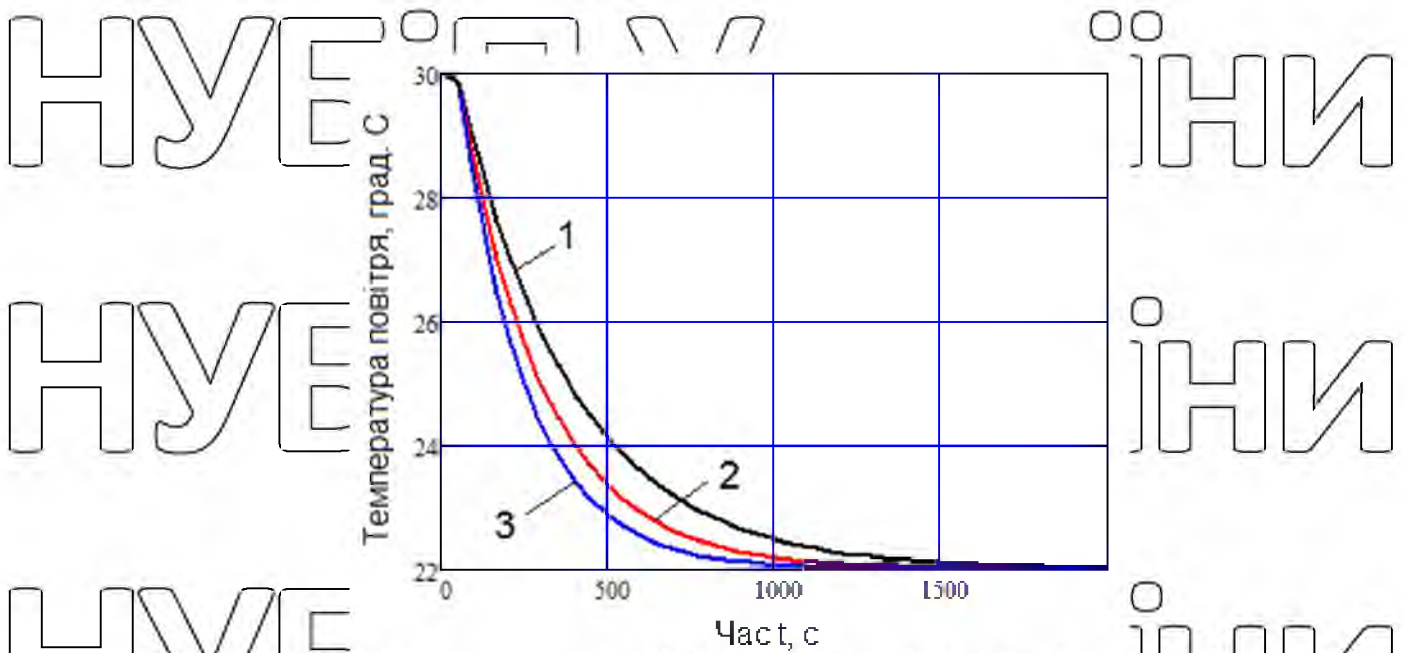


Рис. 2.6. Криві розгону пташника для каналу керування температурним режимом в залежності від продуктивності системи вентиляції

$$1 - V_w = 60 \text{ м}^3 / \text{с}; 2 - V_w = 75 \text{ м}^3 / \text{с}; 3 - V_w = 90 \text{ м}^3 / \text{с}$$

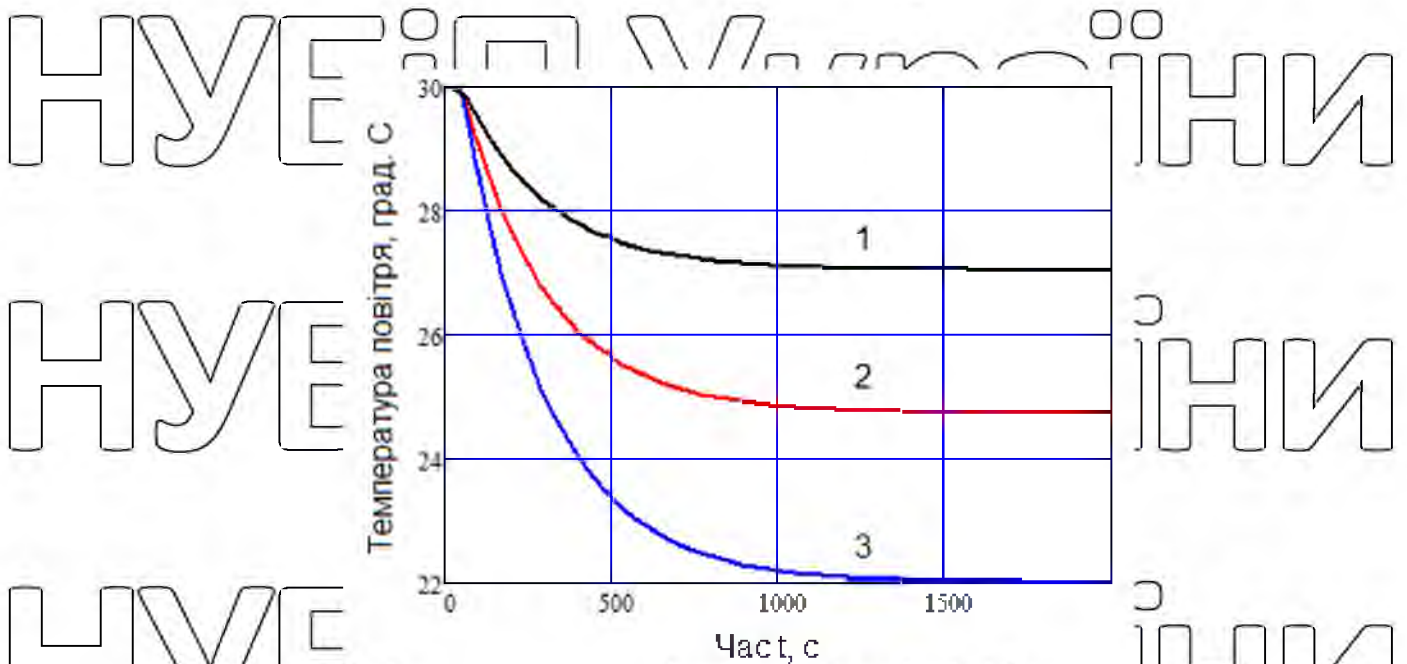


Рис. 2.7. Криві розгону пташника для каналу керування температурним режимом в залежності від температури повітря на виході охолоджувача

$$1 - t_2 = 28^\circ \text{C}; 2 - t_2 = 26^\circ \text{C}; 3 - t_2 = 24^\circ \text{C}.$$

### 2.3. Аналіз динаміки об'єкта керування та визначення його передатної функції

Для визначення передатної функції пташника в літній період для каналу "продуктивність системи вентиляції  $\rightarrow$  температура в пташнику" був використаний графічний метод [17]. Для цього розгінна характеристика (рис. 2.5), отримана за розробленою математичною моделлю охолодження повітря у пташнику, була пронормована за виразом

$$y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 30}{22 - 30} \quad (2.21)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю (додаток П1), нормована розгінна характеристика пташника для каналу керування зображена на рис.

### 2.8.

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{ov} \cdot e^{-\tau_{ov} \cdot s}}{T_{ov} \cdot s + 1}, \quad (2.22)$$

де  $k_{ov}$  - коефіцієнт передачі об'єкта;  $T_{ov}$  - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;  $\tau_{ov}$  - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу  $T_{ov}$  та часу запізнення  $\tau_{ov}$  об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.8). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначаємо за формулою

$$k_{ov} = \frac{T_K - T_{II}}{L_K - L_{II}}, \quad (2.23)$$

де  $T_K$  та  $T_{II}$  - відповідно кінцева та початкова температура повітря у пташнику,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$L_K$  та  $L_U$  відповідно кінцеве та початкове відносне значення продуктивності системи вентиляції у пташнику, %.

$$T_K = 22^{\circ}C, T_U = 30^{\circ}C, L_K = 70\%, L_U = 0\%$$

$$k_{oy} = \frac{22 - 30}{70 - 0} = -0,17 \left[ \frac{^{\circ}C}{\% \text{ продуктивності}} \right]$$

Знак мінус характеризує спадальний характер зміни температури.

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики, складають

$$T_{oy} = 355 \text{ c}, \tau_{oy} = 55 \text{ c}.$$

Передатна функція пташника для каналу "температура повітря – продуктивність системи вентиляції"

$$W_{oy}(s) = \frac{0,17}{355 \cdot s + 1} \cdot e^{-55s}$$

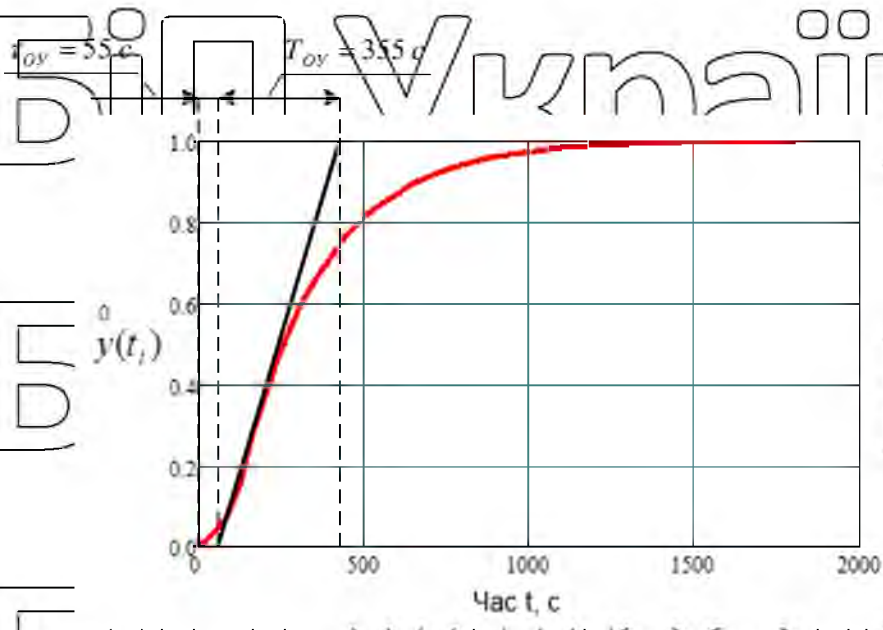


Рис. 2.8. Нормована розгінна характеристика пташника в літній період для каналу керування температурним режимом

## 2.4 Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику для утримання курей-несучок

Функціональна технологічна схема автоматизації (ФТСА) визначає функціональну структуру і б'єм автоматизації технологічних установок і окремих агрегатів промислового об'єкту і є одним з основних проектних документів.

Розробка функціональної технологічної схеми пташника вирішувалась

виходячи з наступного:

- здобуття первинної інформації про стан технологічного преса і обладнання;

- безпосередня дія на технологічний процес для керування ним;

- стабілізація технологічних параметрів процесу;

- контроль і реєстрація технологічних параметрів процесу і стану технологічного обладнання.

ФТСА є основою для визначення методів вимірювання технологічних параметрів, вибору технічних засобів автоматизації, визначення виконавчих механізмів, регулюючих органів.

Функціональна схема автоматизації системи керування технологічним обладнанням у промисловому пташнику для утримання курей-несучок зображена на рис. 2.9.



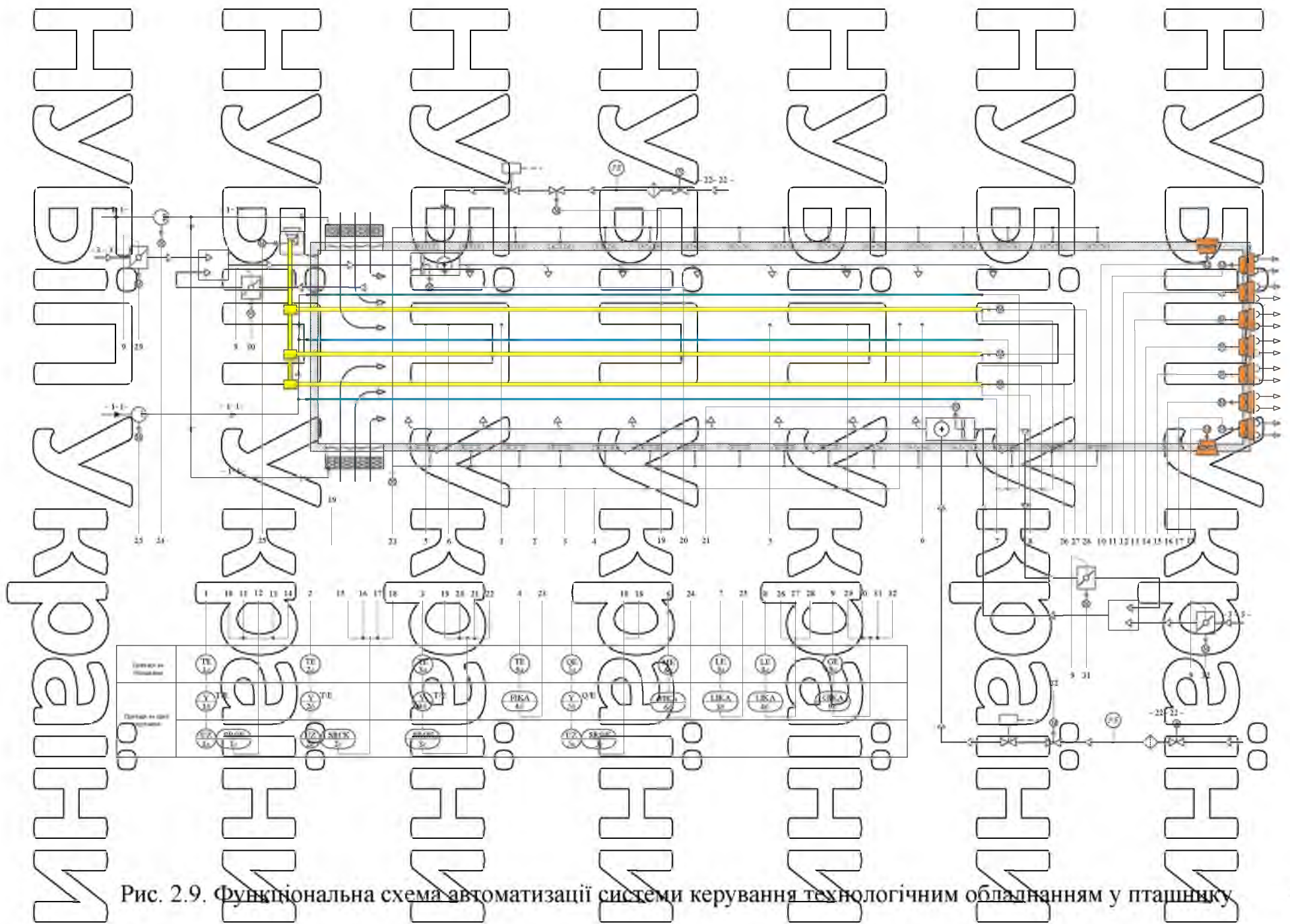


Рис. 2.9. Функціональна схема автоматизації системи керування технологічним обладнанням у пташнику



## РОЗДІЛ 3

# ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ У ПТАШНИКУ ТА ЗАСОБІВ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

## 3.1. Вибір алгоритму керування

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта керування. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного алгоритму керування. Встановлено, що критерієм для правильного вибору алгоритму регулювання може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу,

тобто  $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$  [17].

Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді виразу (2.22).

При виборі типу регулятора рекомендується орієнтуватися на величину

відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування  $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$ :

- якщо  $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$ , перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму.

Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу керування.

- якщо  $0,2 < \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 1,0$ , перевагу віддають неперервному або

цифровому алгоритму (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування);

- якщо  $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} > 1,0$ , вибирають спеціальний цифровий регулятор із екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, для обґрунтування алгоритму і вибору регулятора, який відповідає цьому алгоритму, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу САК.

В нашому випадку передатна функція пташника для каналу "продуктивність вентиляції  $\rightarrow$  температура повітря"  $W_{ov}(s) = \frac{0,17}{355 \cdot s + 1} \cdot e^{-55 \cdot s}$ , при

цьому відношення  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{55}{355} = 0,16 \approx 0,2$ , тому необхідно використати неперервний алгоритм керування.

*Як було зазначено, у повітрі тваринницьких приміщень в результаті життєдіяльності тварин містяться шкідливі гази (вуглекислий газ, аміак, сірководень) та підвищена вологість, які підлягають видаленню з виробничого. Влітку необхідно видаляти надлишкове тепло. Вказані фактори обумовлюють той факт, що вентиляція у пташнику працює постійно, забезпечуючи мінімальний повітрообмін взимку при роботі опалювального обладнання або максимальний повітрообмін влітку.*

Відомо [17], що перехідний процес в САК характеризується часом регулювання  $t_p$ , перерегулюванням  $\sigma$ , максимальним динамічним відхиленням  $u_1$  та статичною похибкою. При використанні різноманітних алгоритмів керування для одного і того ж об'єкта не вдається добитися одночасної мінімізації відомих показників.

В цьому випадку САК прийнято налаштувати одним із трьох типових перехідних процесів: аперіодичний, із 20%-м перерегулюванням, із мінімальним інтегральним показником якості.

Методика вибору найкращого алгоритму керування для певного об'єкта полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання.

Для статичних об'єктів:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{OY} \cdot y_{МАКС}}, \quad (3.1)$$

де  $k_{OY}$  – коефіцієнт передачі об'єкту керування;

$y_{МАКС}$  – максимально допустиме збурення по навантаженню, в % ходу

РО;

$y_1$  – максимальне динамічне відхилення.

Проведемо розрахунки за умов наступних значень показників якості:

- максимальне динамічне відхилення  $y_1 = 1^\circ\text{C}$ ;
- статична похибка  $\Delta y = 0,5^\circ\text{C}$ ;
- допустимий час регулювання  $t_p = 700\text{с}$ ;
- перерегулювання за збуренням  $\sigma = 0,2$ ;
- допустиме можливе значення збурення за навантаженням (у %

переміщення регульовального органу)  $y_{МАКС} = 30\%$ .

За вихідними значеннями величина динамічного коефіцієнту

$$R_d = \frac{1}{0,17 \cdot 30} = 0,17.$$

Вибираємо для даного об'єкта перехідний процес із 20%-м перерегулюванням.

За графічними залежностями [17], визначаємо алгоритм керування – це ПІД-алгоритм.

Перевіримо, чи забезпечуватиметься при цьому необхідний час

регулювання за виразом

$$t = \psi \cdot \tau, \quad (3.2)$$

де  $\psi$  – відносний час регулювання, для статичного об'єкту  $\psi = 7$  [17].

Тоді  $t_{P.ПІД} = \psi \cdot \tau = 7 \cdot 55 = 385$ , видно, що  $385 < 700$ , тобто необхідний

час регулювання забезпечується.

Перевіримо на виникнення при цьому статичної похибки.

За графічними залежностями [17], визначасмо

$$\frac{\Delta u}{k_{OU} \cdot U_{MAX}} = 0,15, \Delta u = k_{OU} \cdot U_{MAX} \cdot 0,15 = 0,17 \cdot 30 \cdot 0,15 = 0,9^{\circ} \text{C}$$

Умова  $0,9^{\circ}\text{C} < 1^{\circ}\text{C}$  виконується, тобто ПД-алгоритм керування

задовольняє технологічні вимоги.

### 3.2. Реалізація алгоритму керування

Автоматизована система контролю і управління мікрокліматом АСУ призначена для контролю і управління виконавчими механізмами, що

забезпечують підтримку кліматичних параметрів повітряного середовища

пташника в заданих межах в ручному, автоматичному і аварійному режимах,

в відповідно до технології утримання птач у кліткових батареях. АСУ дозволяє

накопичувати і організовувати бездротову (і дротову) передачу інформаційно-аналітичного матеріалу на диспетчерський комп'ютер для оцінки ефективності

роботи обладнання та технологій.

Функціональна структурна схема автоматизованої системи управління (АСУ) параметрами мікроклімату в пташнику зображена на рис. 3.1

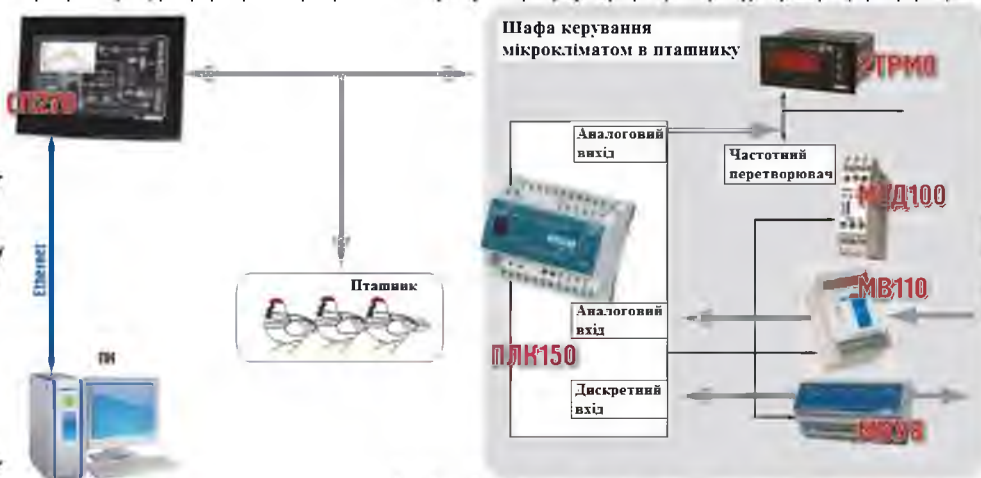


Рис. 3. Функціональна структурна схема автоматизованої системи управління параметрами мікроклімату в пташнику

АСУ забезпечує контроль:

- температури всередині пташника та зовнішнього середовища;
- вологості всередині пташника по зонам і назовні пташника;
- повітрообміну;
- розрідження повітря;
- енергопостачання (контроль вступних фаз);
- виконавчих механізмів;
- освітлення;
- потужність і споживання електроенергії (по кожній групі виконавчих елементів);
- споживання води.

Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК150 складає основу автоматизованої системи управління (рис. 3.2).

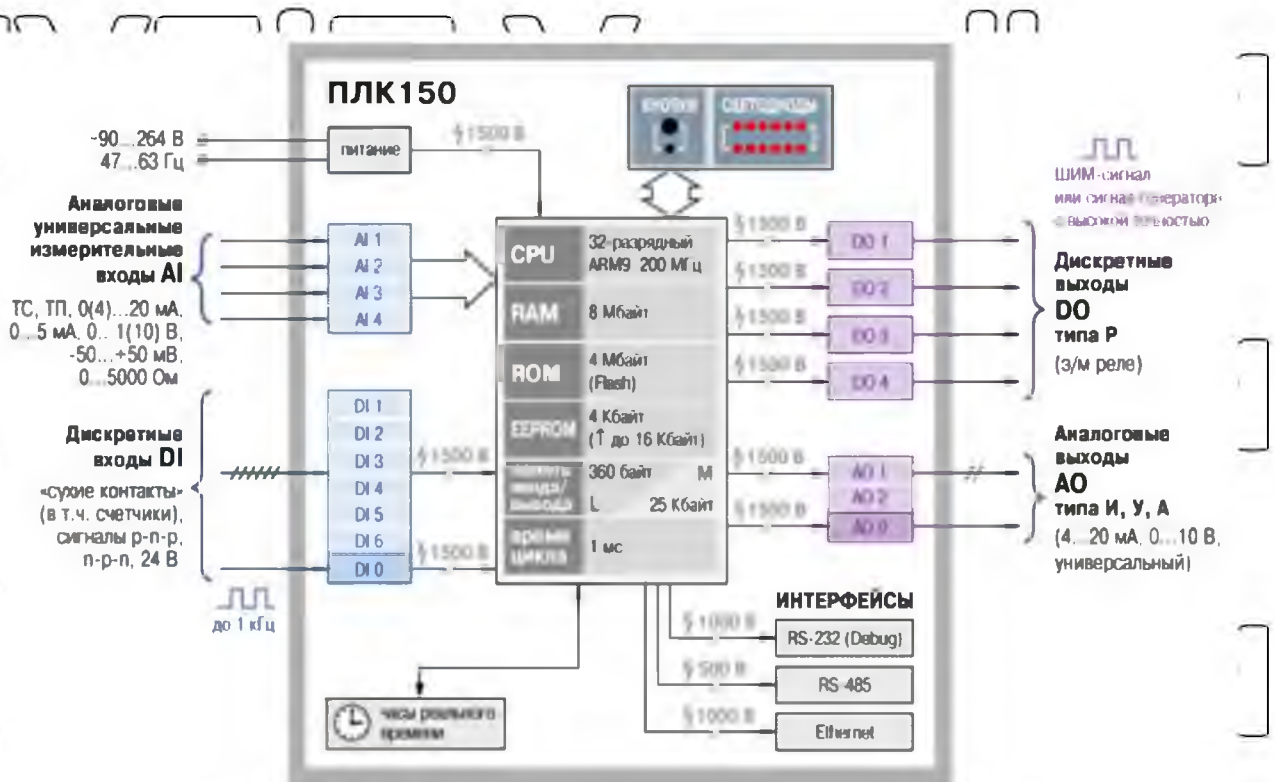


Рис. 3.2. Функціональна схема програмованого логічного контролера

ПЛК150 компанії ОВЕН



Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК150 має:

- вхідні контакти:

- аналогові універсальні вимірювальні входи **AI**;

- дискретні входи – входи **DI**;

- вихідні контакти:

- аналогові виходи **AO**;

- дискретні виходи **DO**.

До аналогових входів PLC150 як індикатор підключено 2ТРМО і

частотний перетворювач для керування електродвигунами системи

вентиляції

### 3.2.1. Вибір частотного перетворювача для керування

електродвигунами приводу вентиляторів

У САК температурним режимом у пташнику в літній період в якості

пристрою для керування електродвигунами приводу витяжних вентиляторів

передбачається використати частотний перетворювач серії ПЧВ3 фірми ОВЕН (рис. 3.3).

Ці перетворювачі оснащені вбудованим модулем реалізації ПІ- або

ПІД-алгоритм керування.

Частотні перетворювачі (інвертори) служать для плавного, безступінчастого регулювання швидкості трифазних асинхронних

електродвигунів. Регулювання відбувається за рахунок створення на виході

трифазного струму змінної частоти. Перетворювач дозволяє відстежувати і

відображати на цифровому табло основні параметри – задану швидкість,

вихідну частоту, струм і напругу двигуна, вихідну потужність і момент, стан

дискретних входів, загальний час роботи перетворювача і т.д.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд частотного перетворювача ПЧВ3 ОВЕН

Технології, реалізовані у частотних перетворювачах типу ПЧВ3 ОВЕН, роблять дану серію однією з самих досконалих розробок в даному класі. Серія ПЧВ3 охоплює діапазон потужності від 0,75 до 90 кВт.

Перетворювачі даної серії відрізняються невеликими габаритами при різноманітні функції і широко використовуються у промисловості та сільському господарстві.

Можливості перетворювача серії ПЧВ3:

- діапазон викідних частот 0,2-400 Гц;
- 15 програмованих установок швидкості;
- векторне керування із самоналагодженням на двигун або  $U/f$ -керування (поєднання векторного керування та функції компенсації ковзання дозволяє забезпечувати не менше 150% від початкового моменту двигуна, починаючи з частоти 1 Гц);
- функція оптимізації часу розгону/гальмування;
- вбудований ПІ- (ПІД-) регулятор (із прямою та зворотною характеристикою) може бути використаний, наприклад, для регулювання температури, витрати або тиску;

- передбачено два способи зупинки двигуна: контрольованим гальмуванням або вільним вибігом;

- автоматичний перезапуск після провалу живлення із можливістю пуску на двигун, що обертається;

- вбудований електронний захист від перевантаження за струмом, захист від низької напруги,

- вбудований інтерфейс RS-485 зв'язку з ПК (швидкість обміну даними складає до 19500 бод).

Потужність перетворювача частоти, або необхідна їх кількість для живлення усіх електродвигунів приводу вентиляторів, визначається за таблицею 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти

типу ПЧВ3 фірми ОВЕН (ступінь захисту IP54)

Номер за каталогом	Потужність, кВт	Струм в установленому режимі, А	Перевантаження за струмом, 60 сек. А	Габарити, ВхШхГ	Маса, кг
ПЧВ3-К75-В-54	0,75	2,2	2,4	143x107x150	2
ПЧВ3-1К5-В-54	1,5	3,7	4	143x107x150	2
ПЧВ3-2К2-В-54	2,2	5,3	5,6	143x107x150	2
ПЧВ3-3К0-В-54	3	7,2	7,9	184x142x150	3,350
ПЧВ3-5К8-В-54	5,5	12	13,2	184x142x150	3,350
ПЧВ3-7К5-В-54	7,5	15,5	17,6	232x180x170	6,450
ПЧВ3-11К-В-54	11	24	24,8	232x180x170	6,450
ПЧВ3-15К-В-54	15	32	33,6	232x180x170	11,650
ПЧВ3-18К-В-54	18	37,5	40,7	330x245x190	11,650
ПЧВ3-22К-В-54	22	44	47,9	330x245x190	26,400

У попередніх розділах було визначено, що для забезпечення необхідного повітрообміну у пташнику необхідна кількість вентиляторів CN-150 55" (таблиця 2.1) із продуктивністю 44037 м<sup>3</sup>/год. становить 8 шт.

Для електроприводу такого вентилятора згідно з каталожними даними використовується електродвигун АИР80А4 – трифазний асинхронний електродвигун потужністю 1,1 кВт із частотою обертання валу 1500 об./хв. (таблиця 3.2)

## Основні технічні характеристики електродвигуна AIP80A4U2 IM1084

Характеристика електродвигуна	AIP80A4
Потужність, кВт	1,1
Частота обертання поля статора, об./хв.	1500
Частота обертання валу, об./хв.	1390
Тип	асинхронний
Напруга живлення, трифазна, В	220/380
Номинальний струм, А	2,85
ККД, %	76,2
Номинальний крутний момент, Н·м	7,398
Співвідношення моментів $M_{II}/M_H$	2,3
Співвідношення моментів $M_{max}/M_H$	2,3
Кратність пускового струму $I_{II}/I_H$	6,0
Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>	0,0028
Діаметр валу, мм	22
Вага, кг	14
Рівень шуму, дБ	до 61
Режим роботи	Тривалий S1
Термічний клас ізоляції обмоток	F до 150°C

Отже, загальний струм споживання восьми зазначених електродвигунів складає  $2,85 \cdot 8 = 22,8\text{А}$ , а їх потужність складає 8,8 кВт, і за таблицею 3.1 необхідно використати частотний перетворювач ПЧВ3-11К-В-

54.

## 3.2.2. Вибір первинного вимірювального перетворювача

До первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) висуваються наступні вимоги:

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима нелінійність не повинна перевищувати 0,1...3,0%);
- висока чутливість;
- стабільність характеристик у часі;

- швидкодія;  
 - стійкість до хімічних впливів контролюючого і навколишнього середовища (первинні перетворювачі, розміщені у захисній оболонці);  
 - мінімальний зворотній вплив на контролюючий параметр та зручність монтажу і обслуговування.

Вимірвальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають в два етапи:  
 - на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління та умовами його роботи визначається різновид перетворювача;

- на другому етапі, після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

ПВП рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини і були якнайближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності ПВП і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії (інерційності) ПВП, яка характеризується його постійною часу.

Так, при обґрунтуванні вибору ПВП температури у пташнику в літній період необхідно в першу чергу звернути увагу на те, вимірювання якого діапазону зміни температури відповідно до технологічних умов він повинен забезпечити.

Діапазон температури у пташнику за нормативними показниками знаходиться у межах від  $+16...+18^{\circ}\text{C}$ , але влітку підвищення температури може сягати до  $+32^{\circ}\text{C}$  і вище.

Для того, щоб ПВП у процесі вимірювання температури на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу  $T_{\text{ПВП}}$  повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта  $T_{\text{ОУ}}$ .

НУВБІП | У К Р А І Н І



Постійна часу об'єкту  $T_{ov} = 355 \text{ с}$ . З огляду на сказане, максимальна постійна часу перетворювача повинна бути не більше  $\frac{355}{10} = 35,5 \text{ с}$ .

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, а також особливості підключення датчиків температури до частотних перетворювачів типу ПЧВЗ-11К-В-54 для вимірювання температури у пташнику обраний термоперетворювач опору загальнопромислового виконання ТСМУ-2212-50М, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

### Основні технічні характеристики термоперетворювача опору ТСМУ-2212

Діапазон вимірюваних температур, °С	-5...+70
Номінальна статична характеристика (НСХ)	50М
Клас допуску	В
Показник теплової інерції, с	8 (при $\varnothing$ гільзи 6мм)
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
Матеріал захисної арматури	Ст. 12X18Н10Т
Діапазон умовного тиску, МПа	0,4...4,0
Стійкість до вібрації	Група вик. N3
Кліматичне виконання	У30

Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом типу ТСМУ призначені для неперервного перетворення температури середовища (газів, пари, рідин та сипких середовищ) у пропорційний струмовий сигнал 0-5 або 4-20 мА дистанційної передачі.

Датчик складається із вбудованого в головку вимірювального перетворювача із вихідним сигналом 0-5 або 4-20 мА та термозенду (рис. 3.4).

Вимірюваний параметр – температура – лінійно перетворюється термочутливим елементом у пропорційну зміну омичного опору, який, в свою чергу, перетворюється вимірювальним перетворювачем у струмовий вихідний сигнал.

Термоперетворювач ТСМУ-2212 відповідає вимогам ДСТУ 2858-94.

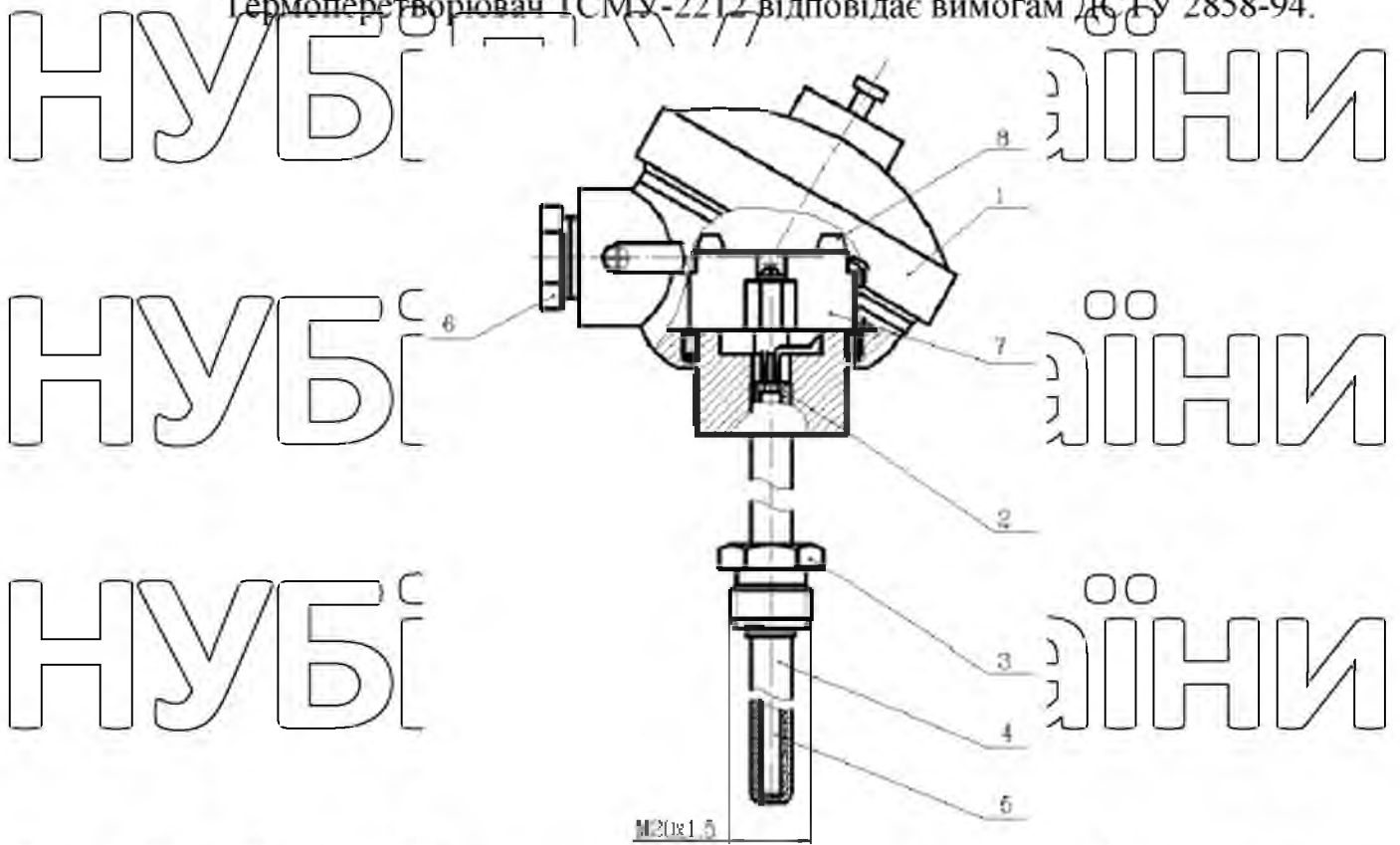


Рис. 3.4 Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом ТСМУ-2212

1 – корпус вимірювального перетворювача; 2 – пробка; 3 – накидна гайка; 4 – термозонд; 5 – термочутливий елемент; 6 – кабельний вхід; 7 – вимірювальний перетворювач; 8 – колодка вимірювального перетворювача

Датчик із роз'ємом	Коло	Конт.	а	б
	-Uп	4		
+Uп	1			

Датчик із штуцером	Коло	Конт.	а	б
	-Uп	-Uп		
+Uп	+Uп			

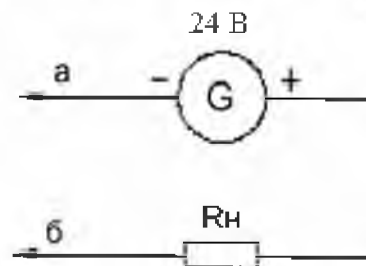


Рис. 3.5. Схема зовнішніх з'єднань датчиків типу ТСМУ

із вихідним сигналом 4-20 мА

Для визначення передатної функції ЦВГ скористаємось його номінальною статичною характеристикою (рис. 3.6).

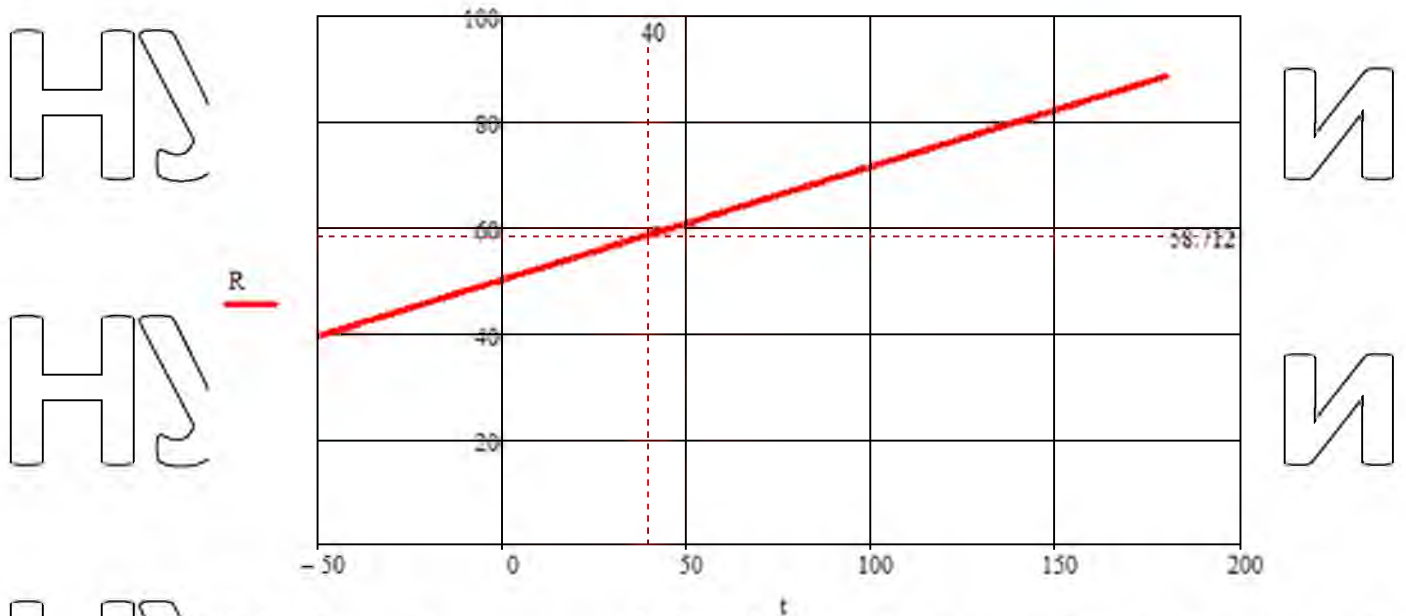


Рис. 3.6. Номінальна статична характеристика термсперетворювача опору ТСМУ-2212 (50М)

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна

функція якого має вигляд  $W_{пвп}(s) = \frac{k_{пвп}}{T_{пвп} \cdot s + 1}$

Коефіцієнт передачі  $k_{пвп}$  (чутливість), визначається за формулою

$$k_{пвп} = \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{20 - 4}{70 - (-5)} = 0,217 \frac{\text{мА}}{^\circ\text{C}}, \quad (3.3)$$

де  $\Delta T$  – різниця значень вимірюваних датчиком температур, °C (таблиця 3.3);

$\Delta I$  – різниця струмів, що відповідає значенням температур в робочому

діапазоні, мА.

Враховуючи, що показник теплової інерції сприймаючого елемента складає  $T_{пвп} = 8$  с (таблиця 3.3), передатна функція датчика ТСМУ-2212

$$W_{пвп}(s) = \frac{k_{пвп}}{T_{пвп} \cdot s + 1} = \frac{0,217}{8 \cdot s + 1}$$

НУБІП України

### 3.2.3. Визначення передатної функції виконавчого механізму

Виконавчим механізмом системи автоматичного керування

температурним режимом у пташнику в літній період є електродвигун приводу вентилятора CN-150 55" AIR80A4U2 IM1084.

Найбільш раціональним способом плавного регулювання швидкості обертання є частотний. Можливість зміни швидкості цим способом впливає

із виразу для синхронної швидкості обертового магнітного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (3.4)$$

з якого видно, що швидкість  $\omega_0$  є прямо пропорційною частоті  $f$  напруги, що підводиться до обмоток статора.

Виведемо передатну функцію асинхронного електродвигуна при частотному керуванні. Позначимо через  $\omega_V$  швидкість обертання поля статора при частоті  $f_V$ . Тоді відносна швидкість поля

$$v = \frac{f_V}{f_H} = \frac{\omega_V}{\omega_0}, \quad (3.5)$$

де швидкість  $\omega_0$  пов'язана з номінальною частотою мережі виразом (3.4).

Введемо поняття фіктивного ковзання

$$s_\phi = \left( \frac{\omega_V}{\omega_0} \right) \cdot s = v \cdot s. \quad (3.6)$$

Дійсна швидкість обертання при частоті  $f$

$$\omega = \omega_V \cdot (1 - s). \quad (3.7)$$

Підставляючи у (3.7) значення  $\omega_V$  із (3.5) з урахуванням (3.6),

визначимо

$$\omega = \omega_0 \cdot (v - s_\phi). \quad (3.8)$$

Для малих значень ковзання обертаючий момент двигуна пропорційний ковзанню

$$M = \left( \frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (3.9)$$

Підставляючи (3.8) та (3.9) у вихідне рівняння

$$M - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.10)$$

(вважаючи при цьому  $M_c \cong 0$ )  $J \cdot s \cdot \omega = M$ , отримаємо

$$J \cdot s \cdot \omega_0 \cdot (v - s_\phi) = \left( \frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (3.11)$$

Цей вираз можна представити як

$$\frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H \cdot s \cdot s_\phi}{M_H} + \frac{s_\phi}{s_H} = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot s \cdot v}{M_H}. \quad (3.12)$$

Якщо за вхідну величину прийняти відносну швидкість поля  $v$ , а за

вихідну — відносіе ковзання  $\sigma = \frac{s_\phi}{s_H}$ , то вираз (3.12) матиме вигляд

$$T_{M1} \cdot s \cdot \sigma + \sigma = T_{M2} \cdot s \cdot v, \quad (3.13)$$

$$\text{де } T_{M1} = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} \text{ та } T_{M2} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H}.$$

Тоді передатна функція асинхронного електродвигуна при частотному керуванні

$$W(s) = \frac{\sigma(s)}{v(s)} = \frac{T_{M2} \cdot s}{T_{M1} \cdot s + 1}. \quad (3.14)$$

На практиці при частотному керуванні часто використовують іншу методику визначення передатної функції.

Передатна функція асинхронного електродвигуна у цьому випадку

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1}, \quad (3.15)$$

$$k_{BM} = \frac{\omega_H}{f}; \quad (3.16)$$



$$T_{BM} = \frac{J_{3B}}{\beta}, \quad (3.17)$$

де  $J_{3B}$  - зведений момент інерції електродвигуна та робочої машини (в даному випадку – вентилятора);

$\beta$  - жорсткість механічної характеристики;

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot s_{KP}}, \quad (3.18)$$

де  $M_{KP}$  - критичний момент електродвигуна;

$s_{KP}$  - критичне ковзання електродвигуна.

Розрахуємо необхідні величини для визначення передатної функції за виразами (3.15) – (3.18).

Вихідні дані – каталожні значення для електродвигуна (таблиця 3.2).

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{1,1}{1500} = 7,3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.19)$$

$$M_{KP} = M_H \cdot \mu_{KP} = 7,3 \cdot 2,31 = 16,79 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.20)$$

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1390}{1500} = 0,073. \quad (3.21)$$

$$\mu = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{ПСК}} = \frac{2,31}{2,30} = 1,004. \quad (3.22)$$

$$s_{KP} = \frac{s_H + \sqrt{s_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,073 + \sqrt{0,073 \cdot \frac{2,31 - 1}{1,004 - 1}}}{1 + \sqrt{0,073 \cdot \frac{2,31 - 1}{1,004 - 1}}} = 0,84. \quad (3.23)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад./с}. \quad (3.24)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1390}{60} = 145,5 \text{ рад./с}. \quad (3.25)$$

$$J_{IP} = J_{ДВ} + J_{PM} = 0,0028 + 0,0011 = 0,0039 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.26)$$

Тоді

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot S_{KP}} = \frac{2 \cdot 16,79}{157 \cdot 0,84} = 0,255 \frac{H \cdot m}{rad/c}$$

$$T_{BM} = \frac{J_{3B}}{\beta} = \frac{0,0039}{0,255} = 0,015 \text{ c.}$$

НУБІП України

$$k_{BM} = \frac{\omega_H}{f} = \frac{145,5}{50} = 2,91 \frac{rad/c}{Гц}$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} = \frac{2,91}{0,015 \cdot s + 1}$$

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 4

## РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

## НУВБІП УКРАЇНИ

На сучасному етапі розвитку автоматизації основним видом регуляторів стають цифрові. При виконанні імпульсної теореми для визначення їх параметрів налаштування можна застосовувати аналітичні і графічні методи. Проте, при необхідності аналізу процесів у самому цифровому регуляторі, самостійного створення програми, що реалізує алгоритм керування, при дослідженні впливу періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні характеристики цифрової системи, більш точним буде метод синтезу регулятора у Z-перетворенні.

## НУВБІП УКРАЇНИ

У цьому пункті розглядається методика розрахунку параметрів налаштувань ПД-регулятора при апроксимації неперервної частини систем другого порядку у вигляді послідовного з'єднання двох інерційних ланок:

$$W_{nc}(s) = \frac{K_i}{(T_1s+1)(T_2s+1)} \quad (4.1)$$

Передатна функція цифрового ПД-регулятора має вигляд:

$$W_{pp}(z) = K_p \frac{KT(z+1) + K_d(z-1)}{2(z-1)} + \frac{Tz}{Tz(z-1)} = \frac{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T}{2Tz(z-1)} \left( z^2 + \frac{KT^2 - 2K_d T - 4K_i}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} z + \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} \right) \quad (4.2)$$

Якщо в знаменнику неперервної частини є два полюси  $z_1$  і  $z_2$ , то знаменник має поліном другого степеня  $z^2 - (z_1 + z_2)z + z_1 z_2$ . Синтез цифрового ПД-регулятора полягає у знаходженні значень коефіцієнтів налаштування  $K_p$ ,  $K_i$  та  $K_d$ , які визначаються таким чином, щоб компенсувати два полюси Z-перетворення неперервної частини системи, що відповідають двом інерційним ланкам. При цьому отримується система двох рівнянь з трьома невідомими:

## НУВБІП УКРАЇНИ

$$\frac{K_i T^2 - 2K_p T - AK_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -(z_1 + z_2) = d \quad (4.3)$$

$$\frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = z_1 z_2 = 0$$

Оскільки рівняння (4.2) та (4.3) мають зайву змінну, то один з параметрів слід визначати за додатковими технологічними умовами. Наприклад, коефіцієнт інтегральної складової регулятора рекомендується визначати за добротністю за швидкістю  $K_p$ , яка визначається як величина, обернена коефіцієнту похибки за швидкістю  $C_1$  при поданні динамічної похибки  $\Delta x(t)$  у вигляді нескінченного ряду

$$\Delta x(t) = C_0 \cdot x_{ex}(t) + C_1 \cdot \frac{dx_{ex}(t)}{dt} + \frac{C_2}{2!} \cdot \frac{d^2 x_{ex}(t)}{dt^2} + \dots \quad (4.4)$$

Для астатичної системи добротність за швидкістю можна визначити як

$$K_v = \frac{\dot{x}_{ex}}{\Delta x_{yem}} \quad (4.5)$$

відношення швидкості зміни вхідного сигналу  $\frac{dx_{ex}(t)}{dt} = \dot{x}_{ex}$  до усталеної похибки

при лінійній зміні вхідного сигналу  $x_{ex}(t) = kt$ . Тоді швидкість

$$\dot{x}_{ex} = const = k, \text{ а } Z\text{-зображення вхідного сигналу } X_{ex}(z) = \frac{kTz}{(z-1)^2}.$$

Зображення динамічної похибки матиме вигляд:

$$\Delta X(z) = \frac{X_{ex}(z)}{1+W_{роз}(z)} = \frac{X_{ex}(z)}{1+W_{рег}(z)W_{нч}(z)} \quad (4.6)$$

Згідно з теоремою про кінцеве значення Z-перетворення усталена похибка буде дорівнювати:

$$\Delta x_{yem} = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \Delta X(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{X_{ex}(z)}{1+W_{рег}(z)W_{нч}(z)} =$$

$$= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{kTz}{(z-1)^2} = \frac{kT}{\lim_{z \rightarrow 1} [(z-1)(1+W_{рег}(z)W_{нч}(z))]} =$$

$$= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{kT}{(z-1) \cdot W_{рег}(z)W_{нч}(z)}$$

Враховуючи, що  $\dot{x}_{вх} = k$ , отримаємо:

$$\Delta x_{уст} = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{рег}(z) W_{нч}(z)] \quad (4.8)$$

Тоді для систем з ПД-регулятором:

$$K_V = \frac{\dot{x}_{вх}}{\Delta x_{уст}} = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{рег}(z) W_{нч}(z)] = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} \left[ (z-1) K_p + (z+1) \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} + (z-1) \frac{K_d(z-1)}{z} \right] W_{нч}(z) \quad (4.9)$$

Остаточно, добротність за швидкістю для систем з ПД-регулятором

$$K_V = \lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z) \cdot K_i \quad (4.10)$$

При цьому похибка слідкування при лінійній зміні вхідного сигналу  $x_{вх}(t) = kt$  буде дорівнювати:

$$\Delta x_{уст} = \varepsilon_{tr} = \frac{k}{K_V} \quad (4.11)$$

Коефіцієнт інтегруючої складової регулятора тоді визначається:

$$K_i = \frac{K_V}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z)} \quad (4.12)$$

Рекомендовані значення коефіцієнта добротності за швидкістю залежать від постійних часу об'єкту (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Залежність коефіцієнту добротності за швидкістю від постійних часу об'єкта

Постійні часу об'єкту $T$ , с	Коефіцієнт добротності за швидкістю $K_V$
$\approx 1$	3..10
$\approx 10$	0,3..1
$\approx 100$	0,01..0,04
$\approx 1000$	0,004..0,012

У подальших розрахунках нехтуємо інерційною складовою передатної функції електродвигуна, оскільки постійна часу є дуже малою (0,015 с).



Тоді неперервна частина системи керування має передатну функцію:

$$W(s) = \frac{0,17 \cdot 0,217 \cdot 2,91}{335 \cdot s + 1} = \frac{0,107}{3840 \cdot s^2 + 363 \cdot s + 1}$$

Визначаємо дискретну передатну функцію неперервної частини

системи, до якої входить і фіксатор нульового порядку (за допомогою

програми MATLAB):

```
>> w = tf([0.107],[2840 363 1]).
```

Будуємо АЧХ неперервної частини (рис. 4.1) системи та визначаємо

час квантування:

```
>> bode(w).
```

$$T_{к. \max} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{3,14}{0,106} = 30 \text{ сек.}$$

Час квантування задаємо 30 сек. Оскільки максимальний час

квантування  $T_{к. \max} = 30 \text{ сек.}$

```
>> wz = e2d(w, 30)
```

$$Wz = \frac{0,03297z + 0,01663}{z^2 - 0,9931z + 0,1227}$$

Sample time: 30 seconds

Discrete-time transfer function.

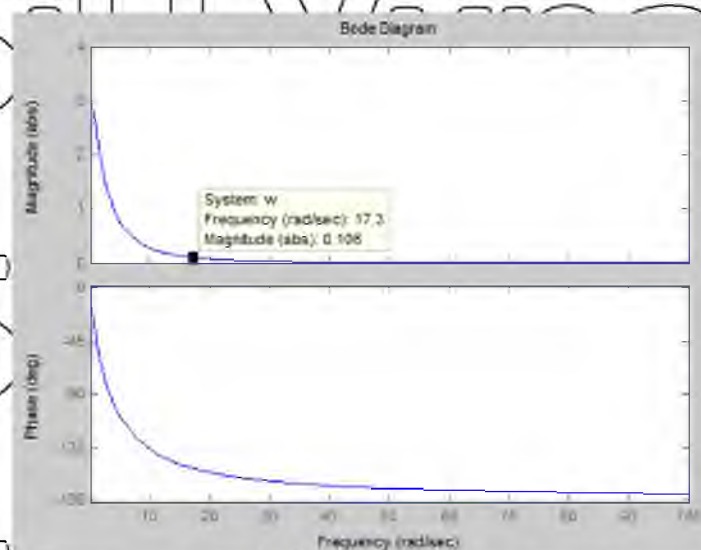


Рис. 4.1. АЧХ неперервної частини системи

Коефіцієнт  $K_T$  визначасмо, виходячи із заданої добротності за швидкістю:

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)W_{pez}(z)W_{нч}(z) = \lim_{z \rightarrow 1} W_{нч}(z) \cdot K_i \approx 3.018K_i.$$

$$K_i = 0.015.$$

$$\frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -0.9981;$$

$$\frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = 1.1227.$$

$$K_p = 2.821; K_d = 12.781.$$

Дискретна передатна функція цифрового ПІД-регулятора

$$W(z) = 2.821 + \frac{0.015(z+1)}{(z-1)} + \frac{12.781(z-1)}{z}$$

Створюємо модель цифрової системи з ПІД-регулятором в середовищі MATLAB/Simulink (рис. 4.2) та будуємо перехідний процес (рис. 4.3).

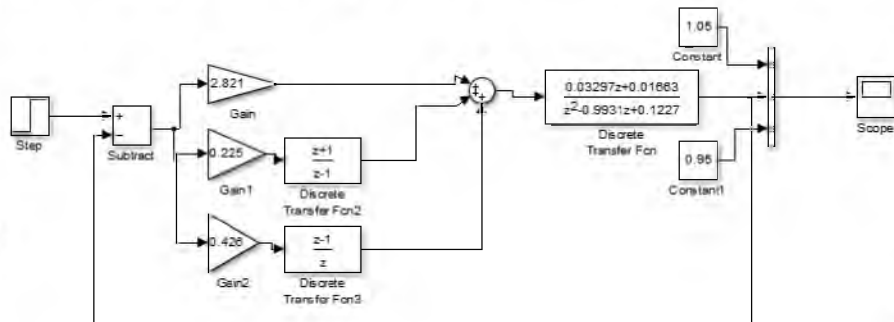


Рис. 4.2. Simulink-модель цифрової системи з ПІД-регулятором

1) Статична похибка:

$$\delta = X_{зад} - X_{уст} = 1 - 1 = 0.$$

2) Час регулювання:

$$t_p = 450 \text{ с.}$$

3) Перерегулювання:

$$\sigma = \frac{X_{max} - X_{уст}}{X_{уст}} \times 100\% = \frac{1 - 1}{1} \times 100\% = 0\%$$

4) Коливальність:  $\eta = 0$

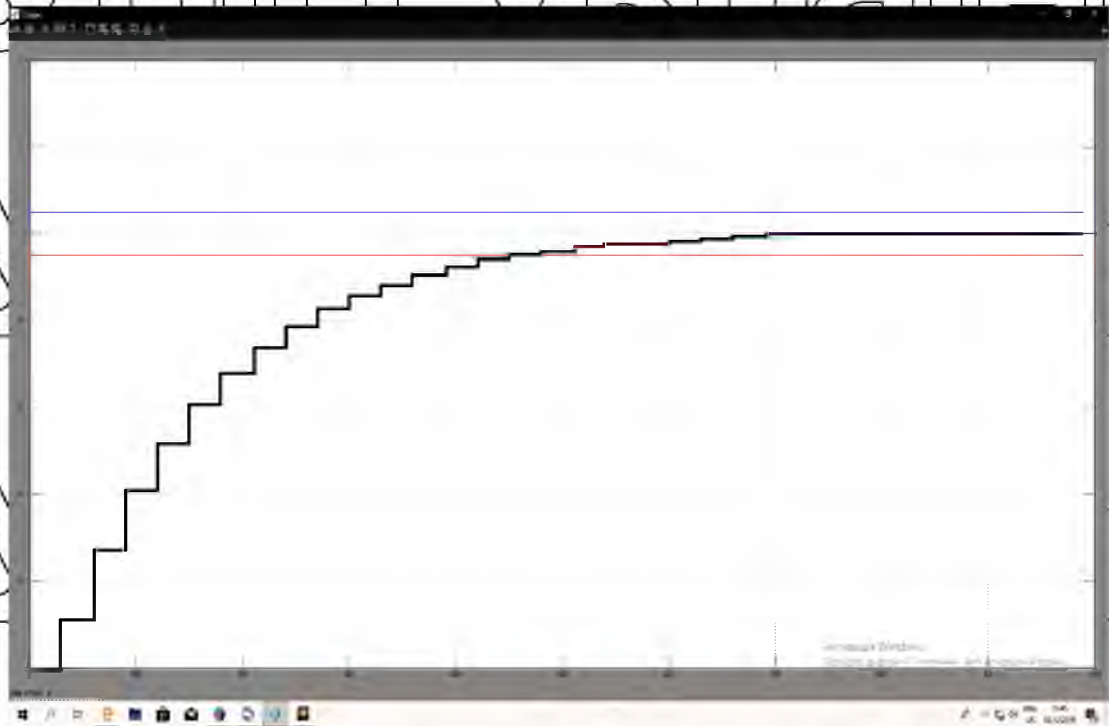


Рис. 4.3. Перехідний процес цифрової системи з ПІД-регулятором

За завданням  $t_p < T_{ок}$ ;  $\sigma = 0 \%$ ;  $\delta < 0,01$ ,  $\eta = 0$ . Видно, що показники якості повністю задовольняють вимогам технологічного процесу.

Також робимо висновок що система стійка, оскільки в ній відсутні коливання.

## РОЗДІЛ 5

## СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

## НУБІП України

## 5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування вентиляційним обладнанням у пташнику

## НУБІП України

При заміні в станції керування вентиляційною установкою ТСУ-2-КНУЗ "Климатика-1" у блоці регулятора тиристорного регулятора напруги на перетворювач частоти можливі два варіанти схемних рішень (додаток Г1, Г2).

За першим варіантом (додаток Г1) блок перемикача залишається без змін. В блок регулятора замість блоку силових тиристорів і плат керування вмонтовується перетворювач частоти необхідної потужності.

На платі управління і сигналізації монтується перемикачі режимів роботи SA1, задатники температури R2, R3 та частоти струму R1 та сигнальна арматура HL4. Робота перетворювача частоти передбачена в ручному і автоматичному режимі. Режим роботи задається перемикачем SA2. При роботі в ручному режимі сигнал керування на вхід перетворювача подається від датчика температури BK, в коло якого вмикається джерело живлення АУ1 напругою 24В.

При налагодженні перетворювач AF наструюється так, щоб закон регулювання напруги від зміни частоти був  $U \propto f^2$ .

За другим варіантом (додаток Г2) у блоці перемикача замість перемикача SQ передбачена установка двох контакторів KM1 і KM2. Контактор KM1 вмикає станцію на роботу в некерованому режимі, контактор KM2 – в керованому. Як контактори можна використати реверсивний магнітний пускач відкритого виконання, номінальний струм якого дорівнює або дещо більший за номінальний струм перетворювача. Перемикач режимів здійснюється перемикачем SA1.

## НУБІП України

Застосування контакторів дає можливість автоматично переводити систему в некерований режим роботи при частоті струму, близькій 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. Таким чином зменшуються втрати енергії в системі керування, подовжується строк роботи перетворювача і знижується ризик пошкодження ізоляції електродвигунів імпульсними перенапругами, які виникають на виході перетворювача частоти. Дослідження з перетворювачами частоти [15] показали, що при частоті 50 Гц напруга на виході перетворювача 380В, а при частоті 45 Гц – 320В, що в 1,2 рази менше, а значить, нижча амплітуда імпульсних перенапруг.

*У даній роботі прийнятий другий варіант із установкою двох контакторів.*

Сигнал на перемикання знімається з виходів АМ та 5 перетворювача частоти, напруга на цьому виході змінюється пропорційно частоті струму від 0 до 50 Гц відповідно 0 – 5В. Сигнал з виходу АМ підсилюється пристроєм АУ2. Навантаженням пристрою АУ2 є обмотка реле КV. Контакти КV увімкнені в кола керування контакторами КМ1 і КМ2 та сигнальних ламп НL4, НL5. Пристрій АУ2 складено на компараторі К554СА3А. До прямого входу компаратора підводиться напруга від виходів АМ і 5 перетворювача частоти. На інверсний вхід компаратора подається опорна напруга, яка формується подільником R1 – R3, підключеним до джерела струму напругою 24В. Сигнал з виходу компаратора підсилюється транзистором VT, навантаженням якого є реле КV1. Резистором R2 подільника схема наструюється так, щоб реле спрацьовувало при напрузі на виході АМ перетворювача струму 4,5В, що відповідає частоті струму 45 Гц.

Про те, в якому автоматичному режимі – керованому чи некерованому працює станція, сигналізують лампи НL4, НL5, увімкнені через контакти реле КV1.



Перетворювач частоти ПЧВЗ-11К-В-54 від струмів, перевантаження захищається вбудованим в нього блоком захисту. Електродвигуни вентиляторів, як і при існуючих станціях керування, від струмів короткого замикання автоматичними вимикачами, змонтованими у вентильованому приміщенні поряд з вентиляторами.

Схема електрична принципова системи керування вентиляційним комплексом у пташнику в літній період зображена на рис. 5.1. На ній, окрім вказаної системи керування вентиляційним обладнанням, зображена також система керування охолоджуючими панелями.

Схема керування охолоджуючими панелями передбачає роботу в автоматичному та ручному режимі.

Сигнал від датчика температури РК1, який встановлений у виробничому приміщенні пташника, надходить до регулятора А1 (двопозиційний регулятор ОВЕН 2ТРМ1) (рис. 5.2). Якщо температура у пташнику перевищить значення 28°C, регулятор своїм замикаючим контактом подає напругу керування на котушку проміжного реле КУЗ, яке, в свою чергу, подає напругу живлення на електромагнітний клапан подачі води на охолоджуючі панелі.

Технічні характеристики регулятора ОВЕН 2ТРМ1 наведені в таблиці 5.1.

Регулятор ОВЕН 2ТРМ1-13Р забезпечує:

- два універсальних входи для підключення широкого спектру датчиків температури, тиску, вологості, витрати, рівня і т.п.;
- два канали регулювання або реєстрації вхідної величини:
  - двопозиційне регулювання;
    - аналогове П-регулювання;
    - реєстрація на струмовому виході 4...20 мА.
  - цифрова фільтрація та корекція вхідного сигналу, масштабування шкали для аналогового входу;

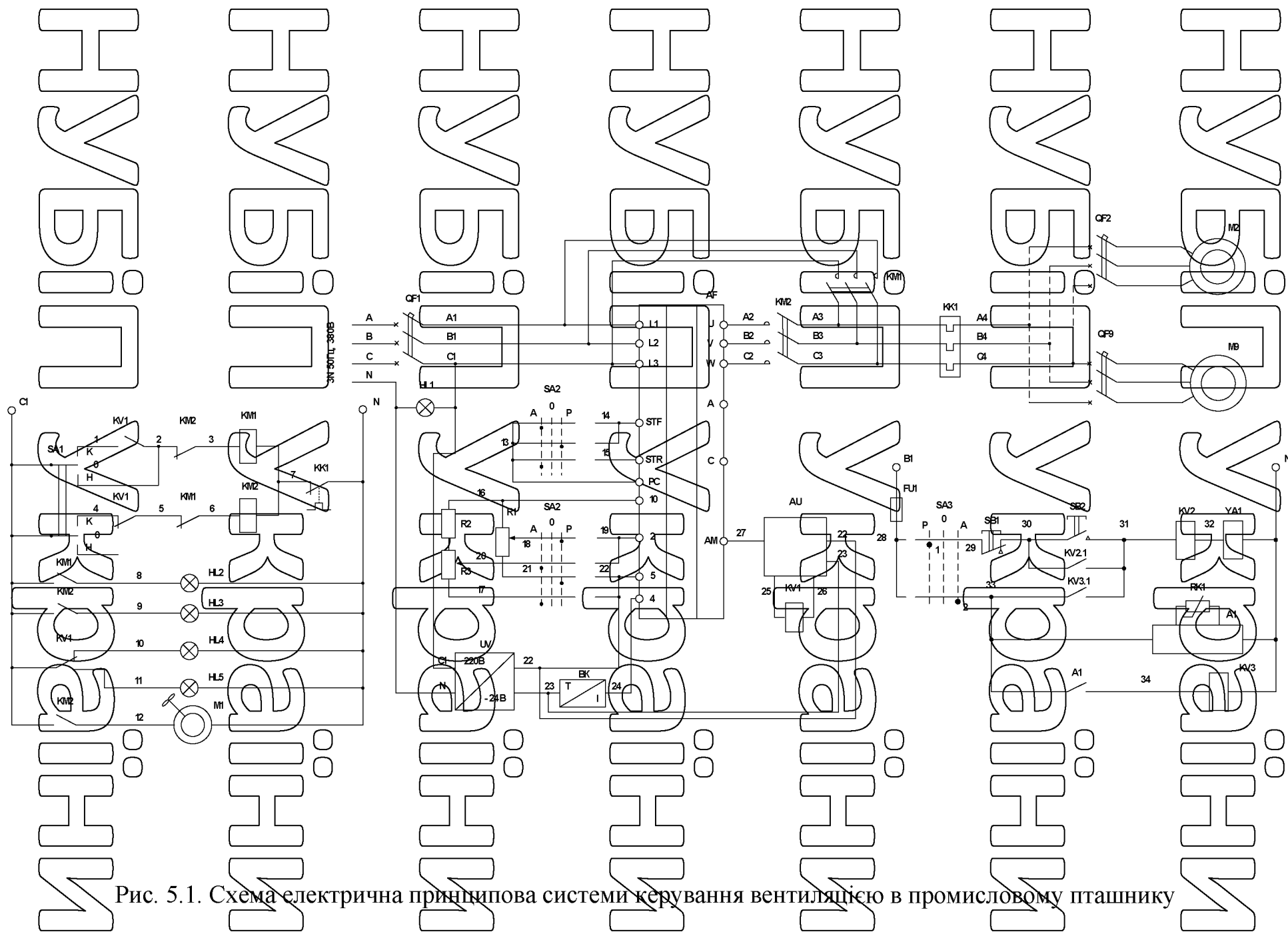


Рис. 5.1. Схема електрична принципова системи керування вентиляцією в промисловому пташнику

- розрахунок та індикація квадратного кореня з вимірюваної величини (наприклад, для регулювання миттєвої витрати);

- вимірювання різниці двох вимірюваних величин та її індикація (наприклад, для підтримання вологості психрометричним методом);

- універсальне джерело живлення. Дозволяє жити прилад як від джерела змінного струму напругою 90...245 В при 47...63 Гц (номінал 220В), так і від джерела постійного струму напругою 20...375 В (номінал 24 В);

- вбудоване джерело живлення 24В для живлення активних датчиків, вихідних аналогових пристроїв (ЦАП) та ін.;

- програмування кнопками на лицевій панелі приладу;

- збереження налагоджувальних налаштувань при відключенні живлення;

- захист налаштувань від несанкціонованих змін.

Таблиця 5.1.

## Технічні характеристики ОВЕН 2ТРМ1

Споживана потужність	не більше 7ВА
Кількість універсальних входів	2
Час опитування входу: - для термоперетворювачів опору - для інших датчиків	не більше 0,8 с не більше 0,4 с
Границя основної приведенної похибки вимірювання: - для термоелектричних перетворювачів - для інших датчиків	±0,5% ±0,25%
Кількість вихідних пристроїв	2
Тип вихідних пристроїв (для модифікації Р)	електромагнітне реле
Макс. струм контактів електромагнітного реле при 220В 50Гц	8А
Габаритні розміри та ступінь захисту корпусу	Ш1 96x96x65, IP54
Діапазон вимірювань	0...100%
Вимірювальна здатність	0,1%
Температура навколишнього середовища	-20...+50°C
Відносна вологість повітря	30...80%



Рис. 5.2 Зовнішній вигляд двопозиційного регулятора SVEN 2TRM1

## 5.2. Розробка схем електричних з'єднань та підключень САК вентиляційним обладнанням у пташнику

Схеми з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципових схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил: схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування; усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань; позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Схема електрична з'єднань САК вентиляційним обладнанням у промисловому пташнику зображена на рис. 5.3, схема електрична підключень – на рис. 5.4.

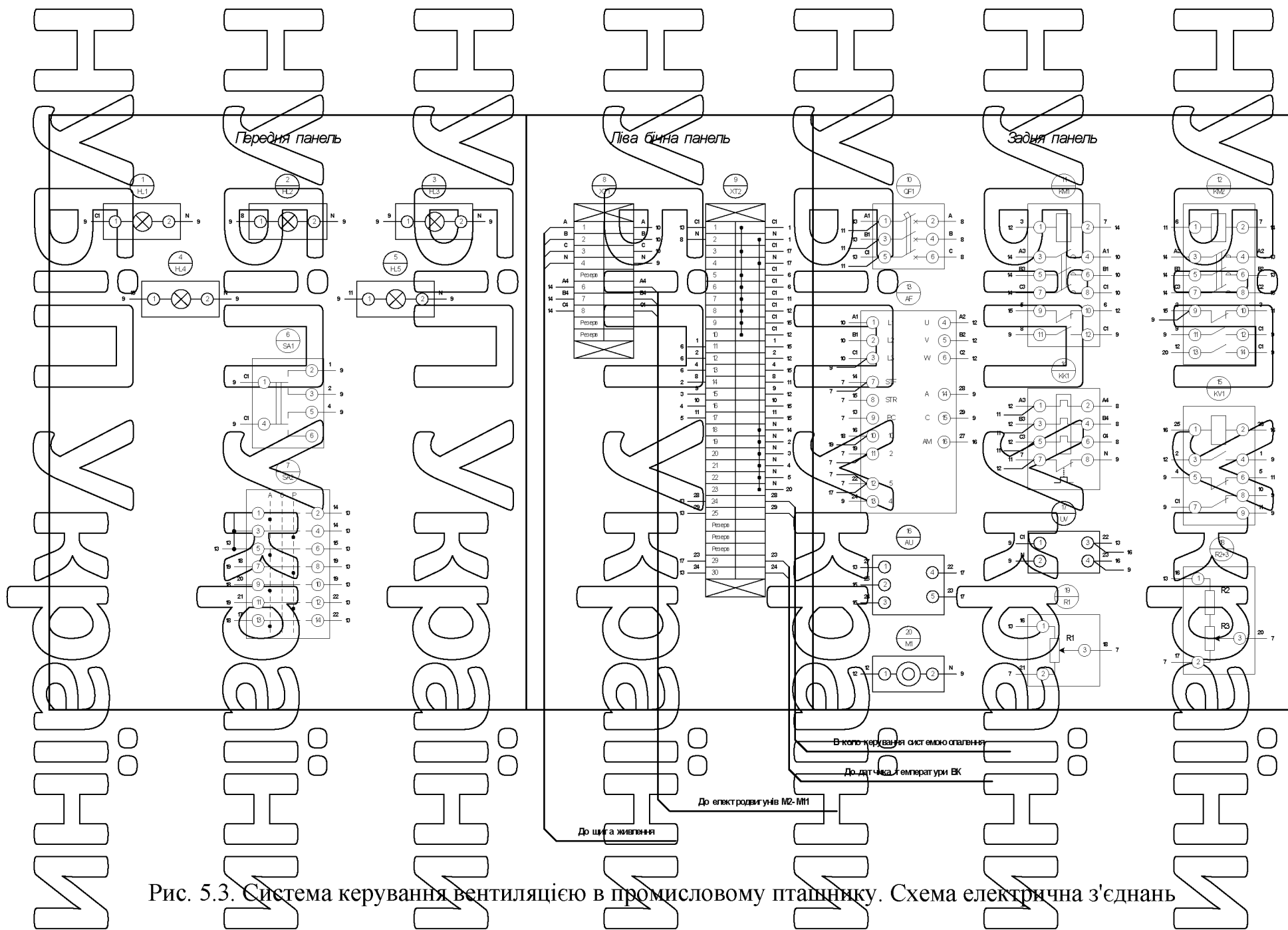


Рис. 5.3. Система керування вентиляцією в промисловому пташнику. Схема електрична з'єднань



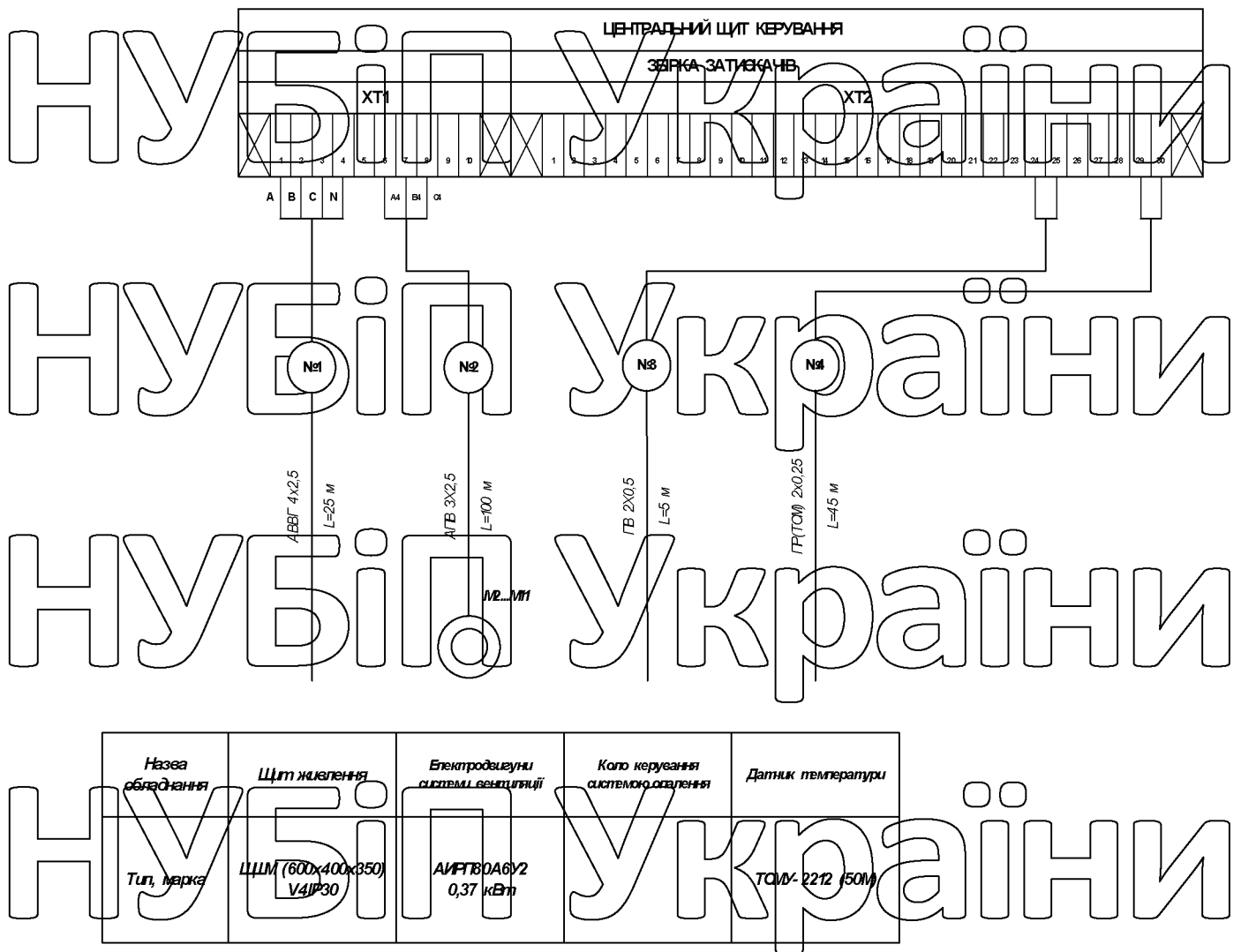


Рис. 5.4. Система керування вентиляцією в промисловому пташнику.

### Схема електричних підключень

## 5.3. Вибір апаратів захисту та керування

Як було зазначено, у САК вентиляційним комплексом у промисловому пташнику для утримання курей-несучок використовуються 8 асинхронних електродвигунів потужністю 1,1 кВт кожний. При цьому для керування групою із 8 вентиляторів використовується перетворювач ОЦВ3-11к-В-54 ОВЕН (обґрунтовується у розділі 3 майстерської роботи).

За електричною принциповою схемою САК, вентиляційним комплексом у пташнику, для керування та захисту електродвигунів приводу вентиляторів використовується наступне обладнання:

- для пуску, зупинки та захисту групи електродвигунів та перетворювача частоти від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач QF1;

- для захисту кожного окремого із 8 електродвигунів M2-M9 від струмів короткого замикання та перевантажень використовуються автоматичні вимикачі QF2-QF9, які встановлюються у місцях розташування

електродвигунів. Для можливості технічного обслуговування окремого електродвигуна без вимикання усієї вентиляційної системи:

- для дистанційного керування електродвигунами M2-M9 використовуються електромагнітні пускачі KM1 та KM2;

- для захисту групи електродвигунів M2-M9 згідно з рекомендаціями по експлуатації частотного перетворювача ПЧВ3-11к-В-54 ОВЕН від перевантажень використовується теплове реле КК1;

- в колі керування для перемикання режимів роботи використовуються пакетні перемикачі SA1, SA2; для комутації окремих

ділянок кола управління використовується проміжне реле напруги KV1; для світлової сигналізації в колі управління використовуються сигнальні лампи НЛ1-НЛ5.

Для приводу кожного з вентиляторів CN-150 55" використовується електродвигун AIP80A4Y2 IM1084 (таблиця 3.1, розділ 2).

**Вибір автоматичного вимикача QF1.** При виборі автоматичного вимикача для захисту електричної лінії, яка живить декілька електродвигунів, необхідно дотримуватись наступних умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{H.AB} \geq U_{Ж}; \quad (5.1)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача і номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинні дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{H.AB} \geq \sum_{i=1}^n I_{H.i}, \quad (5.2)$$

де  $I_{H.i}$  - номінальний струм і-го одночасно працюючого двигуна, А;  
- номінальний струм електромагнітного (та теплового за наявності) розчіплювача має дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{H.ROZCH} \geq \sum_{i=1}^n I_{H.i}, \quad (5.3)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача в даному випадку

$$I_{BDC.ROZCH} \geq 1,8 \cdot \left( \sum_{i=1}^n I_{H.i} + I_{ПУСК.НАЙБ.} \right), \quad (5.4)$$

$I_{ПУСК.НАЙБ.}$  - пусковий струм найбільшого за пусковим струмом електродвигуна, А.

Проведемо розрахунок (табл. 5.2) за умови, що при роботі вентиляційної установки одночасно працюють усі електродвигуни.

Таблиця 5.2.

## Вибір автоматичних вимикачів

Електродвигун	Автоматичний вимикач QF1, виконання умов
<p><b>Група двигунів</b> <b>AIP80A4U2 IM1084</b> (M2-M9)</p> <p>Потужність 1,1 кВт Струм <math>I_H = 2,85</math> А Пусковий струм <math>I_{8шт} = 8 \cdot 2,85 = 22,8</math> А <math>I_{пуск} = 6,0 \cdot 2,85 = 17,1</math> А <math>I_{відс.розч.} = 1,8 \cdot (8 \cdot 2,85 + 17,1) = 71,82</math> А</p>	<p><b>GV2ME36</b> (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами)</p> <p><math>U_{ав} = 690</math>В, <math>U_{ав} \geq U_m</math>, <math>690</math>В <math>&gt;</math> <math>380</math>В <math>I_{ном.ав} = 36</math>А; <math>I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.об}</math>, <math>36</math>А <math>&gt;</math> <math>22,8</math>А <math>I_{ном.розч.} = 416</math>А, <math>I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.об}</math>; <math>416</math>А <math>&gt;</math> <math>71,82</math>А (умова 5.4)</p> <p>Регулювання захисту теплових розчіплювачів 28...36А</p>

**Вибір автоматичних вимикачів QF2-QF9.** При виборі автоматичного вимикача для захисту окремого електродвигуна, необхідно дотримуватись наступних умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}, \quad (5.5)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм електродвигуна

$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв}, \quad (5.6)$$

- номінальний струм електромагнітного та теплового розчіплювача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм електродвигуна з подальшим регулюванням струму неспрацювання теплового розчіплювача на номінальний струм електродвигуна

$$I_{н.розч} \geq I_{н.дв}; \quad (5.7)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менше 1,5...1,6 пускового струму електродвигуна

$$I_{відс.розч} \geq (1,5 \dots 1,6) \cdot I_{пуск.дв}, \quad (5.8)$$

Таблиця 5.3.

## Вибір автоматичних вимикачів

Електродвигун	Автоматичний вимикач QF2-QF9, виконання умов
<p><b>Окремо двигуни АИР80А4У2 ІМ1084 (М2-М9)</b></p> <p>Потужність 1,1 кВт</p> <p>Струм <math>I_n = 2,85A</math></p> <p>Пусковий струм <math>I_{пуск} = 6,0 \cdot 2,85 = 17,1 A</math></p> <p><math>1,6 \cdot I_{пуск} = 27,36A</math></p>	<p><b>GV2ME10</b> (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами)</p> <p><math>U_{ав} = 690В, U_{ав} \geq U_m, 690В &gt; 380В</math></p> <p><math>I_{ном.дв} = 6,3A, I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}, 6,3A &gt; 2,85A</math></p> <p><math>I_{ном.розч} = 78A, I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв}, 78A &gt; 2,85A</math></p> <p><math>I_{від.розч} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск}, 78A &gt; 27,36A</math></p> <p>Регулювання захисту теплових розчіплювачів 2,5...4,3А</p>

### Вибір електромагнітних пускачів КМ1-КМ2. Електромагнітні

пускачі вибирають за наступними умовами:

- номінальна напруга електромагнітного пускача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{н.еп} \geq U_{ж}; \quad (5.9)$$

- номінальний струм комутації силових контактів електромагнітного пускача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм електродвигуна

$$I_{н.еп} \geq I_{н}; \quad (5.10)$$

- номінальна напруга живлення втягувальної котушки електромагнітного пускача повинна дорівнювати напрузі кола керування

$$U_{н.кот} \geq U_{кер}. \quad (5.11)$$

- за струмом теплового реле та за струмом неспрацювання

теплового реле (при відповідній комплектації).

Крім того, слід враховувати необхідність наявності допоміжних контактів магнітного пускача в колі керування.

Враховуючи умови (5.9) – (5.11), для даної системи автоматичного

керування вибираємо електромагнітні пускачі ПМЛ-2560ДМ (ДСТУ ІЕС 60947-4-1) – неперевисивний, без оболонки, без теплового реле, із ступенем захисту IP20, із змінним струмом кола управління, з додатковими контактами кола управління, номінальним робочим струмом (категорія використання АС-

3) при напрузі  $U_{н.еп} = 380 \text{ В}$  силового кола  $I_{н.еп} = 30 \text{ А}$ , номінальною напругою

втягуючої котушки  $U_{н.кот} = 220 \text{ В} (50 \text{ Гц})$ .

### Вибір теплового реле КК1. Теплові реле для захисту групи

електродвигунів від перевантажень вибирають за наступними умовами:

- струм теплового реле повинен дорівнювати або бути більшим за

номінальний струм групи електродвигунів:

$$I_{н.тр} \geq I_{н}; \quad (5.12)$$



- струм неспрацювання теплового реле повинен дорівнювати або бути більшим за номінальний струм групи електродвигунів з подальшим регулюванням струму неспрацювання:

$$I_{\text{НЕСП.ТР}} \geq I_{\text{Н}}. \quad (5.13)$$

Враховуючи умови (5.12) – (5.13) та значення номінальних струмів групи електродвигунів М2-М9, вибираємо теплове реле типу РТЛ1016 з наступними показниками (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4.

#### Технічні характеристики теплового реле КК1

Електро- двигун за принциповою схемою	Номінальний струм електродвигуна, $I_{\text{Н.Т.Р}}, \text{А}$	Теплове реле за принциповою схемою	Тип теплового реле	Номінальний струм теплового реле, $I_{\text{Н.Т.Р}}, \text{А}$	Діапазон регулювання струму неспрацювання, $I_{\text{НЕСП.ТР}}, \text{А}$
Група М2-М9	22,8	КК1	РТЛ2516	30	20 – 35

Вибір пакетних перемикачів SA1, SA2.

Вибір пакетного перемикача SA1. Згідно з принциповою схемою, для перемикачів в колі керування режимів "Керований" або "Некерований", вибираємо пакетний перемикач типу ПМО, призначений для комутації електричних кіл управління, сигналізації та захисту напругою від 12 до 220В постійного струму та від 24 до 380В змінного струму частотою 50, 60 та 400Гц при струмах від 0,25 до 6,3А в стаціонарних установках.

Структура умовного позначення ПМОФ 90-444444/І-Д46 УЗ:

ПМО – перемикач малогабаритний загальнопромисловий;

Ф – конструктивне виконання (Ф – з фіксацією);

90 – положення фіксації (90 – через 90°);

444444 – рухомі контакти (шість сегментів на 4 положення (1-0-2-3));

І – виконання за установкою (І – з монтажного блоку);

Д46 – номер схеми за каталогом виробника;

УЗ – кліматичне виконання і категорія розміщення (за ГОСТ 15150-69 та ГОСТ 15543.1-89 відповідно).

Перемикач працює в усіх режимах, встановлених ГОСТ 16708-84.

Вибір пакетного перемикача SA2. Згідно з принциповою схемою, для перемикачів режимів "Ручний" або "Автоматичний", вибираємо пакетний перемикач УП5313-С229, призначений для комутації електричних кіл управління, сигналізації та захисту напругою від 12 до 220В постійного струму та від 24 до 380В змінного струму частотою 50, 60 та 400Гц при струмах від 0,25 до 6,3А в стаціонарних установках.

Вибір проміжного реле КV1. Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола керування:

$$U_{H.PELE} \geq U_{K.VIP};$$

- максимальною комутаційною здатністю допоміжних контактів (струм кола управління повинен дорівнювати або бути меншим за номінальний струм реле):

$$I_{H.PELE} \geq I_{K.VIP};$$

- за кількістю та призначенням допоміжних контактів (нормально розімкнені, нормально замкнені, перемикаючі).

Згідно з принциповою схемою та умовами (5.14) та (5.15), вибираємо реле загального призначення типу РП-21-210 УХЛ3 (з 1 замикаючим, 1 розмикаючим, 1 перемикаючим контактом).

Перевагами цього типу реле є малі габаритні розміри, економічність, висока якість виконання контактів, велика комутаційна здатність, тривалий строк служби. Технічні характеристики реле наведені в таблиці 5.5.

Вибір ламп світлової сигналізації HL1-HL5. Для світлової сигналізації в колі керування вибираємо сигнальні лампи СКЛ-16.2 А-ЖМ-220 (жовта) (HL1) та СКЛ-16.2 А-ЗМ-220 (зелена) (HL2 – HL5) з підсвічуванням світлодіодною матрицею на 220 В, з вигнутим розсіювачем світла, в підключенням проводів під заживний гвинт М4.

Ступінь захисту IP54 (за ГОСТ14254-96), гарантований строк служби 10 років, гарантійне нарахування на відмову – 25000 годин.

Таблиця 5.5.

### Технічні характеристики реле РП-21-210 УХЛЗ

Номинальна напруга, В	240 (50 Гц)
Напруга управління, В	~ 12...220 ☉ 6...220
Номинальний струм контактів, А	5
Мінімальний струм контактів, А	0,025
Кількість контактів	(1з) + (1р) + (1н)
Механічний ресурс, циклів	20 млн.
Робоча температура, °С	- 40...+ 55
Кліматичне виконання	УХЛ (за ГОСТ 15150-69)
Категорія розміщення	3 (за ГОСТ 15150-69)
Ступінь захисту корпусу / контактів	IP40 / IP00

#### 5.4. Вибір проводів та кабелів

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{тр. доп} \geq I_{розр}, \quad (5.16)$$

де  $I_{розр}$  - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається за формулою

$$I_{\text{РОЗР.ДВ}} = \frac{10^3 P_{\text{Н.ДВ}}}{\sqrt{3} U_{\text{Н}} \eta_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{H}}} \quad (5.17)$$
 Розрахунковий струм магістралі, від якої живиться декілька електродвигунів, визначається за виразом

$$I_{\text{М.РОЗР}} = K_o \sum_{i=1}^m I_{\text{РОЗР.ДВ.}i}, \quad (5.18)$$
 де  $K_o$  - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів;  
 $\sum_{i=1}^m I_{\text{РОЗР.ДВ.}i}$  - сума всіх розрахункових сил струму, А.

### Вибір кабелю живлення кожного окремого електродвигуна М2-М9.

Визначимо тривало допустимі струми для електродвигунів за виразом (5.17)

Тривало допустимий струм кожного з електродвигунів М2-М9 приводу вентиляторів

$$I_{\text{РОЗР.ДВ}} = \frac{10^3 \cdot 1,1}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,762 \cdot 0,78} \cdot \frac{1100}{3912} = 2,85 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм магістралі, від якої живляться електродвигуни М2-М9 за виразом (5.18)

$$I_{\text{М.РОЗР.}} = 1,8 \cdot 2,85 = 22,8 \text{ А}$$

Враховуючи умову (5.16) та відповідне розраховане значення тривало допустимого струму окремого електродвигуна та групи електродвигунів, для підключення групи електродвигунів до шафи керування вибираємо кабель АПВ 3x4 (ГОСТ 16442-70) – провід з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, перерізом струмопровідних жил  $4\text{мм}^2$ , тривало допустимий струм якого дорівнює 27 А [9]. Кабель прокладається в трубі.

### Вибір проводів живлення кола керування.

До складу кола керування входять:

- котушки електромагнітних пускачів КМ1 та КМ2 (споживана потужність кожної  $68 \pm 8 \text{ ВА}$ );
- котушка проміжного реле КV1 (споживана потужність 3,5 ВА);
- лампи світлової сигналізації НЛ2-НЛ5 (світлодіодні лампи);

- електродвигун М1 охолодження шафи керування (електродвигун двофазний ТС7063 Н002 з напругою живлення 220В та еноживаним струмом 0,053А).

Оскільки вказане електрообладнання є малопотужним, можна вважати, що струм кола керування не перевищує 5А. Тому для живлення кола керування вибираємо провід ПВ1х0,5 (ГОСТ 6323-79) – провід з мідною жилою перерізом 0,5 мм<sup>2</sup> в полівінілхлоридній оболонці, тривало допустимий струм якого дорівнює 11 А [9].

**Вибір кабелю живлення шафи керування.** Тривало допустимий струм на вході в шафу керування дорівнює сумарному струму кола керування та електродвигунів

$$I_{M.ROZR} = I_{VUP} + K_O \cdot \sum_{i=1}^m I_{ROZR.DV.i} \quad (5.19)$$

Оскільки електродвигуни працюють одночасно, коефіцієнт одночасності  $K_O = 1$ .

Для живлення шафи керування вибираємо кабель АВВГ 4х4 (ГОСТ 16442-70) – кабель з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 4 мм<sup>2</sup>, тривало допустимий струм яких дорівнює 27 А [9]. Кабель прокладається в трубі.

### 5.5. Вибір щита керування

Щити і пульти – це пости керування, контролю, сигналізації електрифікованих і автоматизованих об'єктів. На них розміщують апаратуру керування, контрольно-вимірювальні прилади, засоби сигналізації та захисту.

На фасадних сторонах щитів і пультів можуть бути нанесені мнемонічні схеми, накладні надписи (пояснюючі), освітлювальні пристрої тощо.



Щити і пульты на стадії проектування вибирають на підставі таких нормативних документів: ГОСТ 20504-81 "Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры", ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) "Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов. Загальні технічні умови "ОСТ 36.13-76 "Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов". На додаток до ОСТ 36.13-76 розроблені інструкції РМ4-107-82.

Згідно з вище вказаними нормативними документами щити і пульты розраховано, на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від  $-30$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульты спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо. Щити та пульты умовно позначають згідно з вимогами ОСТ 36.13-76.

Шафові щити використовують:

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються зашкідливістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньо щитових проводів;
- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;
- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри всіх пристроїв схеми керування вентиляційною установкою, а також наявність системи охолодження для перетворювача частоти ПЧВ3-11к-В-54 ОВЕН, вибираємо щит шафовий малогабаритний типу ІЩМ (600x400x350)V4IP30 (ОСТ 36.13-76) [16].

## РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для визначення економічної ефективності впровадження енергозберігаючих заходів до цього часу застосовувалась методика розрахунку мінімальних приведених затрат, в якій виділені два взаємодоповнюючі напрямки розрахунку ефективності капіталовкладень – абсолютної ефективності, та порівняльної ефективності пропонованих варіантів. В її основу покладено визначення додаткових капіталовкладень, прибутку від впровадження енергозберігаючих заходів, терміну окупності капіталовкладень та визначення мінімальних приведених витрат:

$$\Pi_i = C_i + E_n \cdot K_i; \quad (6.1)$$

де:  $\Pi_i$  - приведені витрати;

$C_i$  - експлуатаційні витрати;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_i$  - розмір капіталовкладень при  $i$ -му варіанті.

При наявності різночасових витрат їх приводять до поточного моменту шляхом використання коефіцієнту приведення:

$$K_n = \frac{1}{(1 + E_{нп})^t}; \quad (6.2)$$

де:  $t$  - період приведення, років;

$E_{нп}$  - норматив для приведення різночасових витрат.

Проте цей коефіцієнт не відображає реальної вартості капіталу, тому що норматив для приведення різночасових витрат ( $E_{нп}$ ) встановлюється директивно і незалежно від вищезгаданих факторів. Ще одним недоліком є те, що максимальний період, який охоплюють приведені енерговитрати – це період окупності капіталовкладень, а процеси, які можуть вплинути на ефективність запровадження проекту енергозбереження, поза цим терміном

не враховуються. До основних недоліків методики, заснованої на приведених витратах, можна віднести:

- неточність результатів;
- нединамічність розрахунків;
- використання "штучних" нормативів;

визначення ефективності витрачання тільки власних коштів тощо.

Слід відмітити, що не існує якогось одного універсального методу оцінки, або показника ефективності запровадження енергозберігаючих заходів, ідеально придатного на всі випадки життя.

Більш повніше оцінити ефективність проекту енергозберігаючих заходів можна за допомогою методів, заснованих на дисконтованих оцінках, тобто з врахуванням тимчасової цінності грошей та відсоткових коштів, що дозволяє врахувати нерівномірність або нерівнозначність однакових сум надходжень чи платежів, що стосуються різних періодів часу.

Основними ключовими моментами цієї методики є визначення чистого дисконтованого доходу ( $NPV$ ), індексу прибутковості ( $PI$ ) та ставки дисконтування ( $IRR$ ) – при якій  $NPV = 0$ . Чистий дисконтований дохід визначається як перевищення інтегрального ефекту над інтегральними витратами за формулою:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t_x} \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{III})^t} - K; \quad (6.3)$$

де  $R_t$  – прибуток досягнутий за  $t$ -й рік впровадження проекту;

$Z_t$  – витрати, що здійснюються за  $t$ -й рік впровадження проекту;

Індекс прибутковості представляє собою відношення доходу до інвестицій та дозволяє зіставити дві частини чистого дисконтованого доходу ( $NPV$ ) – дохідну і інвестиційну.

Розраховують  $PI$  за формулою:

$$PI = \frac{1}{K} \sum_{t=1}^{t_k} \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{\text{ДП}})^t} \quad (6.4)$$

Якщо  $PI > 1$  - проект ефективний, якщо  $PI < 0$  – неефективний. У випадку, коли  $PI = 0$  - дисконтований ефект дорівнює дисконтованим витратам, і проект у цьому випадку не приносить ні доходу ні збитків.

Вихідними даними при розрахунку впровадження системи автоматичного керування температурним режимом у пташнику є:

- кількість пташників, що підлягають переобладнанню – 4;
- оборотність обладнання – 5 раз на рік;
- ціна 1 кВт·год. електроенергії для промисловості – 2,92 грн.

Основні показники для розрахунку економічної ефективності запровадження проекту наведено в таблиці 6.1.

При аналізі інвестиційного проекту розраховано наступні показники ефективності:

- термін окупності – розраховано за періодом відшкодування затрачених інвестицій;

- рівень беззбитковості проекту;

- запас міцності проекту;

- чутливість (ризик) проекту, ключовими факторами чого є зменшення обсягу реалізації продукції; підвищення ціни реалізації продукції; збільшення змінних витрат.

Основні показники ефективності проекту наведені в таблиці 6.2.

Аналіз даних табл. 6.2 показує, що інвестиції, спрямовані на впровадження САК температурним режимом у пташнику, відшкоднуються за один рік. Проект володіє достатнім запасом міцності (77,2%). З факторів, які впливають на чутливість (ризик) проекту, найбільш критичним є збільшення змінних витрат на виробництво продукції.

Таблиця 6.1.

## Основні показники інвестиційного проекту

Показники	Роки			
	0	1-й	2-й	3-й
Обсяг інвестицій, тис. грн.	136	9	9	0
Обсяг реалізованої продукції, тис. шт.	-	682,5	739,4	796,2
Вартість реалізації одиниці продукції, грн./10000 шт.	-	9000	9000	9000
Надходження від реалізації (виручка), тис. грн.	-	6142,4	6654,5	7165,7
Податок з реалізації (ПДВ), %	-	20	20	20
Всього від реалізації, тис. грн.	-	1024	1109	1195
Змінні витрати, тис. грн.	-	3754,0	4067,0	4379,0
Постійні витрати	-	661	746	789
в т. ч. амортизац. відрахув, тис. грн.	-	220	249	263
Всього витрат, тис. грн.	-	4415	4813	5168
Прибуток до оподаткування, тис. грн.	-	704	732	803
Податок на прибуток, %	-	30	30	30
Чистий прибуток, тис. грн.	-	492	512	562
Чистий грошовий потік, тис. грн.	-	713	761	825

Таблиця 6.2.

## Показники ефективності впровадження САК температурним режимом у пташнику

Назва показника	Значення
Чистий дисконтований дохід (NPV), тис. грн.	2291
Індекс прибутковості (PI)	15,83
Ставка дисконтування (IRR), %	35
Термін окупності, років	1,0
Рівень беззбитковості проекту, %	22,8
Запас міцності проекту, %	77,2
Коефіцієнт еластичності NPV (чутливість проекту) при:	
- зменшенні обсягу реалізації продукції на 15 %	5,92
- зниженні ціни реалізації продукції на 15 %	6,15
- збільшенні змінних витрат 15 %	6,24



## ВИСНОВКИ

# НУБІП України

Магістерська робота виконана відповідно до завдання на дипломне проектування.

# НУБІП України

Мету магістерської роботи досягнуто.

Обґрунтовано рівень автоматизації промислового пташника як об'єкта автоматизації.

Виконано:

# НУБІП України

- технологічна характеристика підприємства та об'єкта автоматизації;
- аналіз пташника як об'єкта керування;
- оцінка стану й рівня автоматизації утримання курей-несучок.

Виконаний аналіз технологічного процесу утримання курей-несучок та рівень його автоматизації. Визначені шляхи підвищення рівня автоматизації.

# НУБІП України

Розраховані параметри тунельної вентиляції.

Виконана електрична частина кваліфікаційної магістерської роботи. Спроектована і проведено дослідження САК. Проведено аналіз і синтез динамічних характеристик САК температурним режимом у пташнику.

# НУБІП України

Показники якості наступні:

- час регулювання, с:  $t_{рег} = 450$ ;
- перерегулювання, %:  $\sigma = 0$ ;
- статична похибка, в.о.:  $\delta = 0$ ;
- характер перехідного процесу – аперіодичний.

# НУБІП України

Впровадження розробленої САК у виробництво є економічно доцільним.

# НУБІП України

## ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва / І.І. Мартиненко, Б.Л. Головінський, В.П. Лисенко, О.І. Мартиненко, В.М. Решетюк, за ред. І.І. Мартиненка – К.: Урожай, 1995.- 224с.
2. Бесулін В. О Птахівництво і технологія виробництва яєць та м'яса птиці: підруч. [для студ. зооінж. ф-тів вищ. аграр. закл. освіти III-IV рівнів акредитації] / [В. І. Бесулін, В. І. Гужва, С. М. Куцак та ін.]. – Біла Церква: Білоцерк. держ. аграр. ун-т, 2003. – 447 с.
3. Васильев С.І. Технологія виробництва продукції тваринництва – Х.: Вид-во НМЦ заоч. навч. с.г. вузів України, 1998. – 431 с.
4. Гончар В.Ф. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок: Навч. Посібник. / В.Ф. Гончар, Л.П. Тищенко. – К.: Вища школа. Головне вид-во, 1989. – 343 с.
5. Горобець В. Г. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря у птахівничих приміщеннях / В. Г. Горобець, В. І. Троханяк, 147 Ю. О. Богдан. // Науковий вісник НУБіП України "Техніка та енергетика АПК". – К.: ВЦ НУБіП України, – 2015. – №224. – С. 204–208.
6. Дзюбенко П.К. Вентиляція і мікроклімат птахівничих приміщень. К.: Урожай, 1972. – 124 с.
7. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
8. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
9. Зарик М. Система випарного охолодження: порівняння ефективності паперових та пластикових касет / М. Зарик, Б. Фейрчайлд // Обладнання. Міжнародний інформаційно-технічний журнал. – Харків: «Центр-Інформ», 2014. – № 1 (січень). – С. 64-69.
10. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лаврінченко, О.С. Марченко, Д.П. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
11. Кістеня Г. Є. Комплексна автоматизація у тваринництві / Г. Є. Кістеня, А. Д. Носач. – К.: Урожай, 1980. – 135 с.
12. Кривобок Е. М. Енерго- та ресурсозберігаюча технологія кондиціонування мікроклімату тваринницьких будівель / Е. М. Кривобок, О. Е. Ілляш // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 1998. – Вип. 2. – С. 281-288

13. Курсове і дипломне проектування. Монтаж, обслуговування та ремонт електротехнічних установок в АПК: навчальний посібник / [Кашенко П.С., Біденко О.І., Устименко О.А та ін.]. – Київ: Аграрна освіта, 2008. – 502 с.
14. Лисенко В. П. Технічні засоби комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках / В. П. Лисенко, Б. Л. Головінський, В. М. Решетюк, В. М. Штепа, А. А. Руденський, Б. Л. Голуб, Д. С. Лавінський, В. Л. Щербатюк // Біо-ресурси і природокористування. – 2010. – Том 2, № 3-4. – С. 111-117.
15. Мартиненко І. І. Автоматика в сільськогосподарському виробництві // І. І. Мартиненко, Б. Л. Головінський, Р. Д. Проценко. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.
16. Мартиненко І.І., Лавріненко Ю.М., Решетюк В.М., Лавінський Д.С. Система автоматичного керування витяжною вентиляцією у пташниках та свинарниках з частотним регулюванням. Рекомендації для птахофабрик та тваринницьких комплексів. Київ: НАУ, 2003. – 31 с.
17. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
18. Мельник Ю. Ф. Машини для тваринництва та птахівництва: навч. посіб. / Ю. Ф. Мельник, Ю. Я. Лузан, О. О. Шевченко та ін. – Дослідницьке: Укр. НДІ прогнозування та виробування техніки і технологій для с.-г. вир-ва ім. Л. Погорлого, 2009. – 207 с.
19. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2012. – 540 с.
20. Пригунов Ю.М., Новак В.А. Мікроклімат тваринницьких і птахівничих приміщень. К.: Будівельник, 1986. – 80 с.
21. Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництва. – К.: Видавничий центр НУБІП України, 2008. – 62 с.
22. ТУ У 29.3-14311643-051:2007. Обладнання для утримання батьківського поголів'я курей несучок ОКБП-2, ОКБП-3.
23. Мікроклімат на птахофабриці. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://sagrada.biz/press-centr/stati/mikroklimat-na-ptitsefabrike/>
24. Попередження теплового стресу птиці в умовах промислового вирощування. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://sagrada.biz/press-centr/stati/teplovoy-stress-sistemy-isparitel'nogo-okhlazhdeniya/>
25. Обладнання ARDUINO: контролери, первинні перетворювачі, виконавчі механізми... Електронний ресурс. Режим доступу: <https://arduino.ua/ua>
26. Характеристика поголів'я бройлерів кросу Cobb 500. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://cobb.in.ua/brojleriy-kobb-500/>

# НУБІП України

## ДОДАТКИ ДОДАТОК А1

Кількість теплоти, вуглекислоти та водяної пари, що виділяється птицею

(за НТП-СХ.4-69)

Види та вікові групи птиці	Жива вага птиці, кг	Кількість, що виділяється на 1кг живої маси птиці		
		Вільного тепла, кДж/год.	CO <sub>2</sub> , л/год.	Водяної пари, г/год.
<b>Доросла птиця</b>				
<b>При утриманні в клітці:</b>				
- кури яєчних порід	1,5-1,7	28,5	1,7	5,1
<b>При утриманні на підлозі:</b>				
- кури яєчних порід	1,5-1,7	33,1	2,0	5,8
- кури м'ясних порід	2,5-3,0	30,2	1,8	5,2
- індики	6,8	28,1	1,7	5,0
- качки	3,5	20,1	1,2	3,6
<b>Молодняк птиці</b>				
<b>Кури яєчного спрямування</b>				
- від 1 до 10 днів	0,06	56,6	2,3	3,5
- від 11 до 30 днів	0,25	39,6	2,2	6,6
- від 31 до 60 днів	0,6	31,0	1,9	5,4
- від 61 до 150 днів	1,3	28,5	1,7	5,0
- від 151 до 180 днів	1,6	26,8	1,6	4,8
<b>Кури м'ясного спрямування</b>				
- від 1 до 10 днів	0,08	54,2	2,2	4,0
- від 11 до 30 днів	0,35	34,0	2,0	6,3
- від 31 до 60 днів	1,2-1,4	30,2	1,8	5,4
- від 61 до 150 днів	1,8.. 2,0	28,1	1,7	5,0
- від 151 до 210 днів	2,5	25,2	1,6	4,8

Примітка)

1. Кількість вуглекислоти, тепла та водяної пари, що виділяються, для молодняку усіх видів приведено для кінцевого віку (маси) вікової групи.

2. Кількість виділень приведено при температурі внутрішнього повітря ( $t_B$ , °C): для молодняку до 30 днів - при +24°C, для молодняку старшого віку та дорослої птиці - при +16°C і при відносній вологості повітря в приміщенні 60...70%.

3. При інших температурах  $t_B$  норми виділення тепла і вологи визначаються із урахуванням коефіцієнтів, вказаних в додатку А2.

## ДОДАТОК А2

# НУБІП України

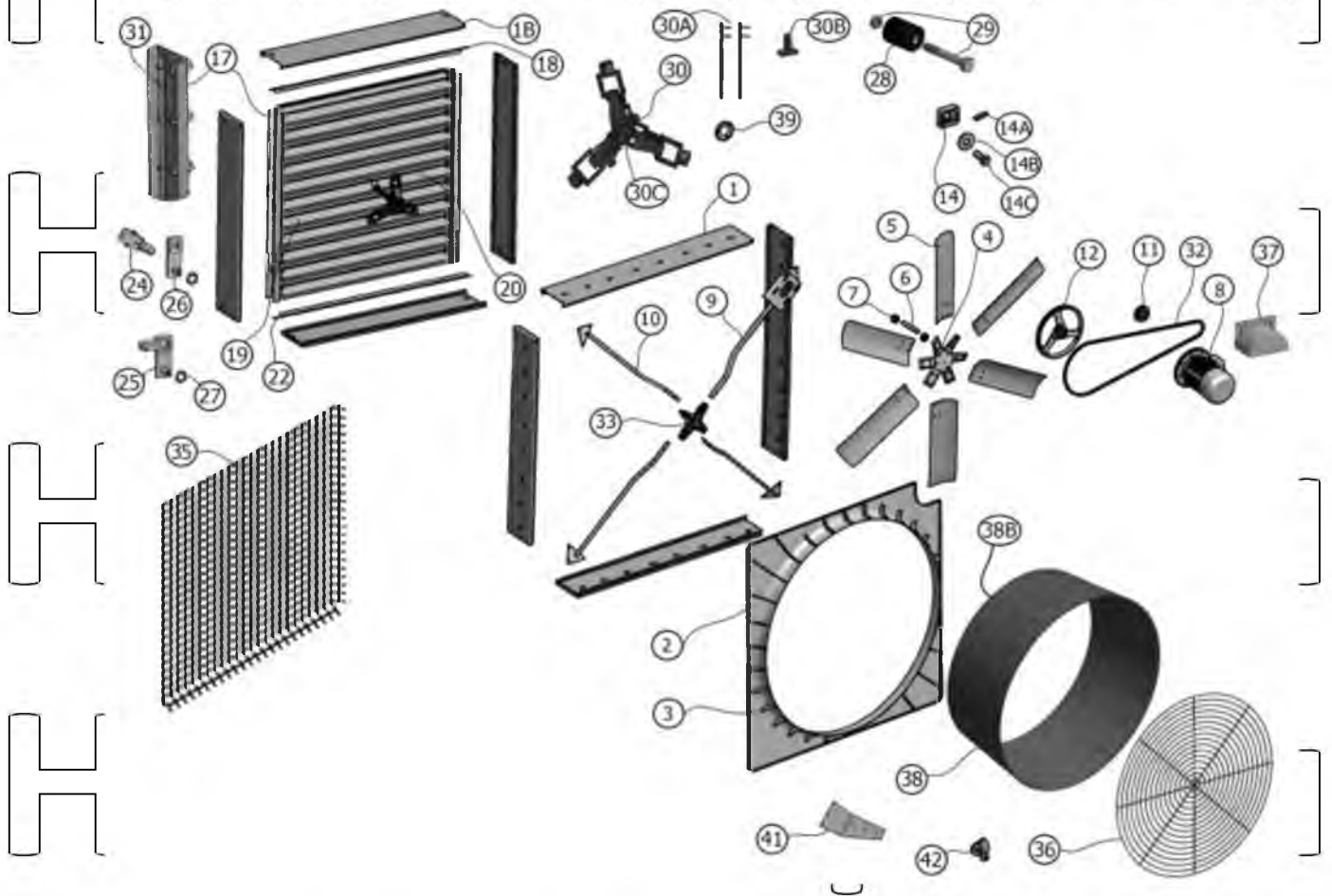
Поправочні коефіцієнти для визначення виділень теплоти та вологи птицею при різних температурах повітря у пташнику

Температура $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Коефіцієнт для визначення кількості		Коефіцієнт для визначення кількості	
	вільного тепла	водяної пари	вільного тепла	водяної пари
	молодняк віком від 30-денного віку та доросла птиця		Молодняк віком від 1 до 30 днів	
+4	1,15	0,85	-	-
+8	1,10	0,90	-	-
+12	1,05	0,95	-	-
+16	1,00	1,00	-	-
+20	0,95	1,05	1,05	0,95
+24	0,92	1,08	1,00	1,00
+28	0,90	1,10	0,95	1,05
+32	0,85	1,25	0,92	1,20
+36	0,80	1,30	0,80	1,30



## ДОДАТОК Б1

## Деталі високопродуктивного вентилятора CN-150 55"



1 – панель широкої рамки, 1В – панель вузької рамки; 2,3 – сопла; 4 – хаб для лопатей; 5 – лопаті; 6 – вісь; 7 – підшипник; 8 – двигун; 9 – важіль кріплення двигуна; 10 – важіль звичайний; 11, 12 – ролики; 14 – квадратна шайба; 14А – штифт; 14В – кругла шайба; 14С – болт; 17 – верхній кутник; 18 – профіль жалюзі; 19, 20 – планки жалюзі; 22 – нижній кутовий профіль жалюзі; 24 – з'єднувальні планки; 25, 26 – важелі; 27 – замок; 28 – вантаж; 29 – болт-гайка; 30 – відцентрова система; 30А – пара закріплюючих болтів; 30В – нога; 30С – захист підшипника; 31 – з'єднання; 32 – ремінь; 33 – хрестоподібний хаб; 35 – захисна сітка жалюзі; 36 – сітка; 37 – захист двигуна; 38 – сегменти конусу; 38В – болт і гайка для сегменту; 39 – велика шайба; 41 – полицки для конусу; 42 – кругла сітка

## ДОДАТОК В1

# НУБІП України

Лістинг математичної моделі охолодження повітря.

що складена за допомогою пакету MathCAD

НЗ Температура повітря навколишнього середовища  
(на вході у пташник через охолоджуючу панель), град. С  
 $t1 := 30$

НЗ Відносна вологість повітря навколишнього середовища  
(на вході у пташник через охолоджуючу панель), %  
 $\phi1 := 45$

НЗ Температура повітря на вході у пташник після охолоджувальної панелі. град. С  
 $t2 := 25$

НЗ Відносна вологість повітря на вході у пташник після охолоджувальної панелі, %  
 $\phi2 := 85$

НЗ Задана температура повітря у пташнику, град. С  
 $t3 := 18$

НЗ Середня питома теплоємність сухого повітря, Дж/(кг\*град. С)  
 $Cp := 1005$

НЗ Густина повітря у пташнику, кг/м<sup>3</sup>  
 $\rho p := 1.239$

НЗ Об'єм повітря у пташнику, м<sup>3</sup>  
 $Vp := 6912$

НЗ Продуктивність системи вунтиляції у пташнику, м<sup>3</sup>/с  
 $Vw := 90$

НЗ Об'єм повітря у просторі між охолоджувачем і входом у пташник, м<sup>3</sup>  
 $Vk := 300$

НЗ Тиск насиченої пари при температурі.

$$PN(t) := \frac{5.3431 + 0.02783 \cdot t + 0.03213 \cdot t^2 - 3.4032 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7.7192 \cdot 10^{-6} \cdot t^4}{735.6}$$

НЗ  $PN(t1) = 0.04372$

НЗ  $PN(t2) = 0.03238$

# НУБІП України

Вологовміст пароводяної суміші, г/кг с.п.

$$d(\phi, t) := 622 \cdot \frac{\phi \cdot PN(t)}{100 - \phi \cdot PN(t)}$$

$$d(\phi 1, t 1) = 12.482$$

$$d(\phi 2, t 2) = 17.603$$

Ентальпія вологого повітря, Дж/кг с.п.

$$I(\phi, t) := [1.0048 \cdot t + 0.001 \cdot d(\phi, t) \cdot (2500 + 1.96 \cdot t)] \cdot 1000$$

$$I(\phi 1, t 1) = 62083.487$$

$$I(\phi 2, t 2) = 69990.547$$

Кількість теплоти, яку необхідно вивести з виробничого приміщення пташника, Дж

$$Q_z := 2093830 \cdot 10^3$$

Витрати вентиляційного повітря для видалення надлишкової теплоти, м<sup>3</sup>

$$V_v := \frac{Q_z}{(I(\phi 2, t 2) - I(\phi 1, t 1)) \cdot \rho_p} = 213724.881$$

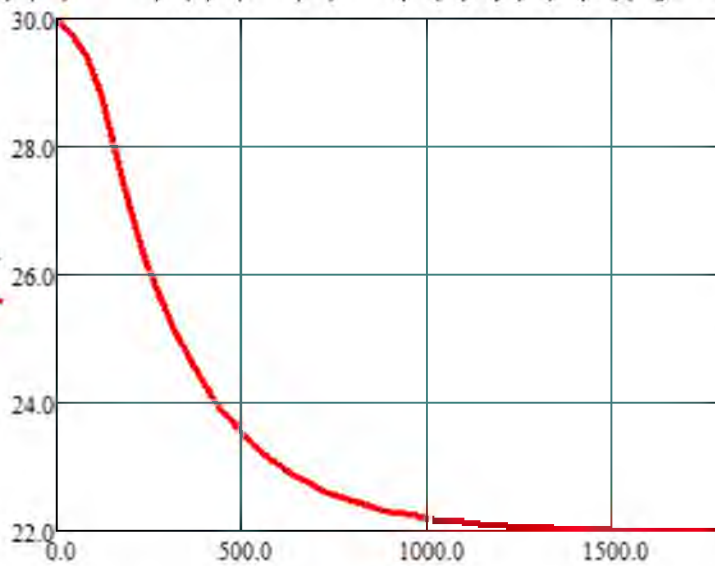
Витрати води на охолодження повітря, кг/с

$$G_w := \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\phi 2, t 2) - d(\phi 1, t 1))}{1000} = 0.571$$

$$Q_2(\tau, t) := \frac{V_w \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi 2, t 2) - I(\phi 1, t 1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_w}{V_p}$$

$$t_0 := 30$$

$$Y := \text{rkfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_2)$$



**Дослідження температурного режиму повітряного середовища при зміні продуктивності системи вентиляції**

$V_{w1} := 60 \quad V_{w2} := 75 \quad V_{w3} := 90$

Витрати води на охолодження повітря, кг/с

$G_{w1} := \frac{V_{w1} \cdot \rho_p \cdot (d(\phi 2, t_2) - d(\phi 1, t_1))}{1000} \quad G_{w1} = 0.381$

$G_{w2} := \frac{V_{w2} \cdot \rho_p \cdot (d(\phi 2, t_2) - d(\phi 1, t_1))}{1000} \quad G_{w2} = 0.476$

$G_{w3} := \frac{V_{w3} \cdot \rho_p \cdot (d(\phi 2, t_2) - d(\phi 1, t_1))}{1000} \quad G_{w3} = 0.571$

$Q_{21}(\tau, t) := \frac{V_{w1} \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi 2, t_2) - I(\phi 1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_{w1}}{V_p}$

$Q_{22}(\tau, t) := \frac{V_{w2} \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi 2, t_2) - I(\phi 1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_{w2}}{V_p}$

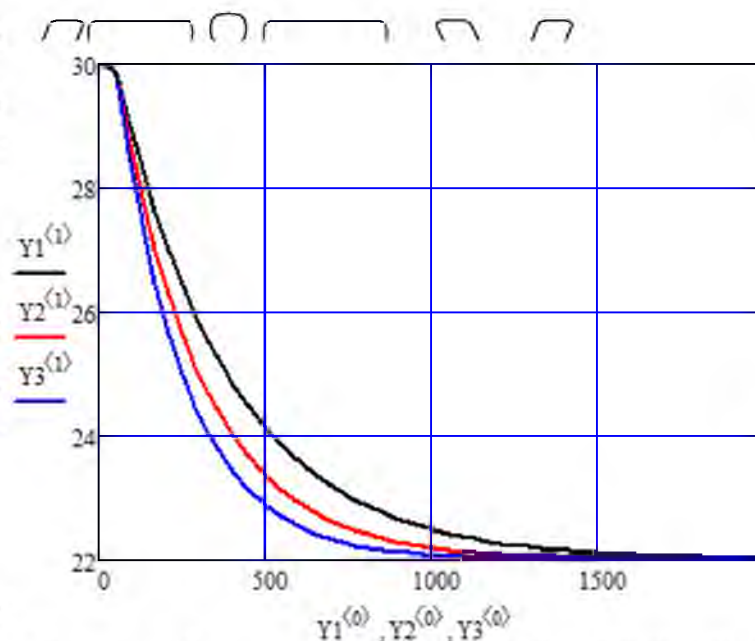
$Q_{23}(\tau, t) := \frac{V_{w3} \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi 2, t_2) - I(\phi 1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_{w3}}{V_p}$

$t_0 := 30$

$Y1 := \text{rfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{21})$

$Y2 := \text{rfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{22})$

$Y3 := \text{rfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{23})$



$Y1^{(0)}, Y2^{(0)}, Y3^{(0)}$



**Дослідження температурного режиму повітряного середовища при зміні температури повітря на виході з охолоджуючих панелей**



$$t_{21} := 28 \quad t_{22} := 26 \quad t_{23} := 24$$



Тиск насиченої пари при температурі.



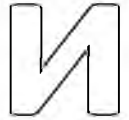
$$PN(t) := \frac{5.3431 + 0.02783 \cdot t + 0.03213 \cdot t^2 - 3.4032 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7.7192 \cdot 10^{-6} \cdot t^4}{735.6}$$

$$PN(t_1) = 0.04372$$

$$PN(t_{21}) = 0.03886$$

$$PN(t_{22}) = 0.03444$$

$$PN(t_{23}) = 0.03042$$



Вологовміст пароводяної суміші, г/кг с.п.

$$d(f, t) := 622 \cdot \frac{f \cdot PN(t)}{100 - f \cdot PN(t)}$$

$$d(\phi_1, t_1) = 12.482$$

$$d(\phi_2, t_{21}) = 21.248$$

$$d(\phi_2, t_{22}) = 18.756$$

$$d(\phi_2, t_{23}) = 16.508$$



Ентальпія вологого повітря, Дж/кг с.п.

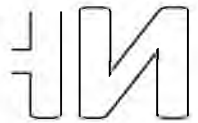
$$I(f, t) := [1.0048 \cdot t + 0.001 \cdot d(f, t) \cdot (2500 + 1.96 \cdot t)] \cdot 1000$$

$$I(\phi_1, t_1) = 6.208 \times 10^4$$

$$I(\phi_2, t_{21}) = 82419.733$$

$$I(\phi_2, t_{22}) = 73971.646$$

$$I(\phi_2, t_{23}) = 66161.711$$



Витрати вентиляційного повітря для видалення надлишкової теплоти, м<sup>3</sup>/год



$$V_{v1} := \frac{Q_z}{(I(\phi_2, t_{21}) - I(\phi_1, t_1)) \cdot \rho_p} = 83099.675$$

$$V_{v2} := \frac{Q_z}{(I(\phi_2, t_{22}) - I(\phi_1, t_1)) \cdot \rho_p} = 142152.824$$

$$V_{v3} := \frac{Q_z}{(I(\phi_2, t_{23}) - I(\phi_1, t_1)) \cdot \rho_p} = 414380.266$$



НУБІП України



Витрати води на охолодження повітря, кг/с

$$G_{w11} := \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\phi_2, t_{21}) - d(\phi_1, t_1))}{1000} = 0.977$$

$$G_{w21} := \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\phi_2, t_{22}) - d(\phi_1, t_1))}{1000} = 0.7$$

$$G_{w31} := \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\phi_2, t_{23}) - d(\phi_1, t_1))}{1000} = 0.449$$

$$Q_{21}(\tau, t) = \frac{V_w \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi_2, t_{21}) - I(\phi_1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_w}{V_p}$$

$$Q_{22}(\tau, t) = \frac{V_w \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi_2, t_{22}) - I(\phi_1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_w}{V_p}$$

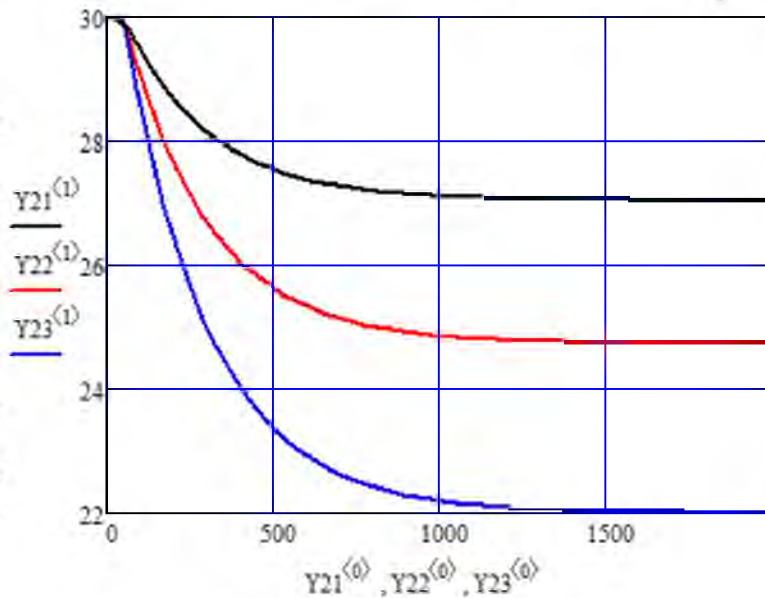
$$Q_{23}(\tau, t) = \frac{V_w \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi_2, t_{23}) - I(\phi_1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_w}{V_p}$$

$$t_0 = 30$$

$$Y_{21} := \text{rkfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{21})$$

$$Y_{22} := \text{rkfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{22})$$

$$Y_{23} := \text{rkfixed}(t, 0, 4000, 100, Q_{23})$$



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

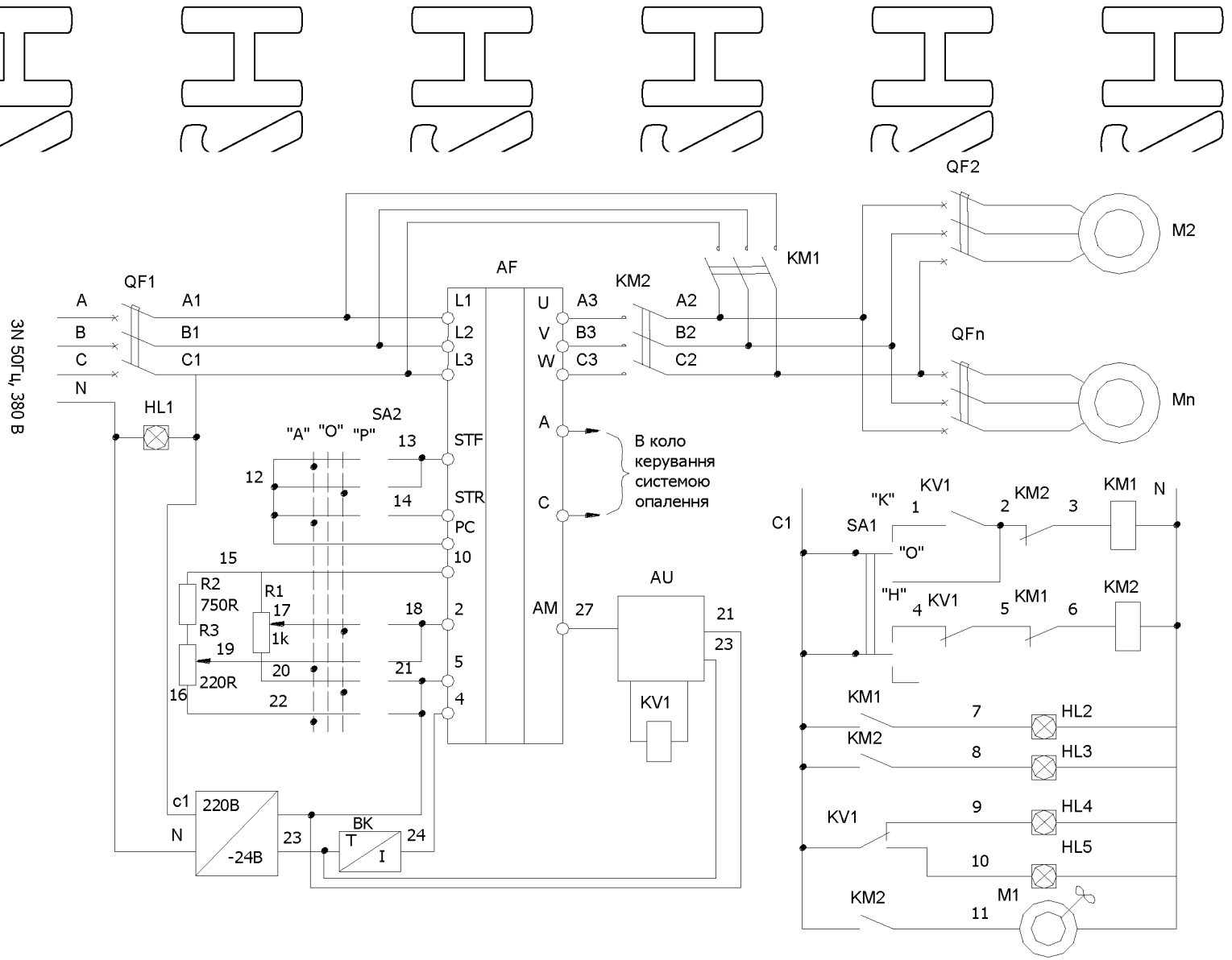
НУБІП України

## ДОДАТОК В1

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики  
пташника для каналу керування

Час $t_i, c$	Температура $T_i, ^\circ C$	$y(t_i)$	Час $t_i, c$	Температура $T_i, ^\circ C$	$y(t_i)$
0	30	0	920	22,280	0,965
40	29,768	0,029	960	22,240	0,970
80	29,416	0,073	1000	22,200	0,975
120	28,840	0,145	1040	22,168	0,979
160	27,840	0,270	1080	22,144	0,982
200	26,992	0,376	1120	22,120	0,985
240	26,264	0,467	1160	22,096	0,988
280	25,640	0,545	1200	22,080	0,990
320	25,112	0,611	1240	22,064	0,992
360	24,656	0,668	1280	22,056	0,993
400	24,272	0,716	1320	22,048	0,994
440	23,936	0,758	1360	22,032	0,996
480	23,656	0,793	1400	22,032	0,996
520	23,408	0,824	1440	22,024	0,997
560	23,200	0,850	1480	22,016	0,998
600	23,024	0,872	1520	22,008	0,999
640	22,872	0,891	1560	22,008	0,999
680	22,744	0,907	1600	22,008	0,999
720	22,632	0,921	1640	22,000	1,000
760	22,544	0,932	1680	22,000	1,000
800	22,456	0,943	1720	22,000	1,000
840	22,392	0,951	1760	22,000	1,000
880	22,328	0,959	1800	22,000	1,000





## ДОДАТОК Г2

Схема електрична принципова системи керування вентиляційною установкою з контакторами в блоці перемикачів