

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 004.031.6; 621.3.07; 615.47

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

02.06.-КМР.2438"С".2025.10.22.004.ПЗ

на тему **«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ В ПТАШНИКУ ІЗ
ПРОГНОЗУВАННЯМ ПРИРОДНИХ ЗБУРЕНЬ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми _____
(підпис)

Т.І. Лендел, к.т.н., доцент
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав _____
(підпис)

Р.О. Сендецький
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

В.В. Івашук, д.т.н., доцент
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
_____ О.О. Опришко
« ____ » _____ 2025 р.

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

Сендецькому Роману Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА
КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ В ПТАШНИКУ ІЗ
ПРОГНОЗУВАННЯМ ПРИРОДНИХ ЗБУРЕНЬ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 22.10.2025 року №2438«С»
Термін подання студентом магістерської роботи 14.11.2025 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. Аналіз енергетичних характеристик процесів виробництва курячих яєць та обґрунтування шляхів підвищення їх енергоефективності.
2. Передумови створення інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у пташнику із прогнозуванням природних збурень.
3. Розробка та реалізація системи автоматизованого керування енергетичними потоками в пташнику.
4. Технічна та програмна реалізація інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у пташнику.
5. Економічний ефект від впровадження розробленої системи у виробництво.

Дата видачі завдання «22» жовтня 2025 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Іващук В.В.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Сендецький Р.О.
(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень і скорочень	4
Вступ	5
РОЗДІЛ 1. Аналіз енергетичних характеристик процесів виробництва курячих яєць та обґрунтування шляхів підвищення їх енергоефективності	8
1.1. Птахівництво яєчного спрямування як вагома складова в структурі виробництва продукції АПК	8
1.2. Значення енергетичних витрат у структурі собівартості курячих яєць	11
1.3. Системи створення мікроклімату у промислових спорудах для утримання курей-несучок	14
1.4. Обґрунтування напрямку досліджень і постановка задачі створення системи автоматизованого керування	20
РОЗДІЛ 2. Передумови створення інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у пташнику із прогнозуванням природних збурень	28
2.1. Класифікація природних температурних збурень у системі керування	28
2.2. Особливості прийняття рішень з керування енергетичними потоками	41
РОЗДІЛ 3. Розробка та реалізація системи автоматизованого керування енергетичними потоками в пташнику	45
3.1. Адаптивний контур системи керування: розпізнавання образів майбутніх температурних змін	45
3.2. Адаптивний контур системи керування: прийняття рішень з керування в умовах невизначеності	63
РОЗДІЛ 4. Технічна та програмна реалізація інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у пташнику	75
4.1. Архітектура інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у промисловому пташнику	78
4.2. Система управління базою даних Microsoft SQL Server	82
РОЗДІЛ 5. Економічний ефект від впровадження розробленої системи у виробництво	92
Висновки	98
Література	100
Додатки	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- АПК – агропромисловий комплекс
- БО – біологічний об'єкт
- УГМЦ – Український гідрометцентр
- ПЛК – програмований логічний контролер
- ПРА – пуско-регулююча апаратура
- САК – система автоматичного керування
- СУБД – система управління базою даних
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations –
Продовольча та сільськогосподарська організація ООН

ВСТУП

Актуальність теми. Птахівництво в усьому світі розвивається швидкими темпами і є одним з основних (порівняно недорогих) джерел білкових продуктів харчування населення. Цьому сприяє економічна ефективність галузі, яка обумовлена скороспілістю птиці та низькими затратами кормів на виробництво продукції. За конверсією корму птахівництво перевершує всі інші підгалузі тваринництва. Так, на виробництво 1 кг протеїну продукції витрачається корму в бройлерів – 1,9 кг, корів – 2,7 кг, курей-несучок – 3,9 кг, свиней – 4,1 кг, бичків на відгодівлі – 10,6 кг. Тому перед птахівництвом стоїть стратегічне завдання задоволення потреб населення в недорогих білкових продуктах, в яких українці ще й досі відчувають дефіцит внаслідок кризи аграрного сектора. Стрімкий розвиток цієї галузі (особливо її яєчного напрямку) передбачається ще й через поживлення експорту курячих яєць та похідних продуктів до країн близького і далекого зарубіжжя, що пов'язано із дешевизною виробництва в Україні.

Забезпечення виробництва яєць, зокрема курячих, для задоволення потреб населення країни – завдання яєчного птахівництва. Ефективність індустріального виробництва яєць визначається цілою системою взаємозалежних показників: витрати на основне виробництво яєць у розрахунку на одну курку-несучку; несучість курей за рік; реалізаційна ціна; собівартість яєць; витрати кормів на одну курку-несучку за рік; вартість кормів; якість кормів та спосіб їх згодовування. Фахівці-економісти насамперед виділяють таку можливість для зростання і підвищення ефективності на кожному конкретному підприємстві, як зниження вартості кормів і поліпшення їхньої збалансованості, а також економне витрачання енергоресурсів унаслідок впровадження новітніх технологій на основі інновацій, адже на першому та другому місцях у загальних витратах (до

80...85%) і формуванні собівартості яєць – обсяг відповідно кормів та використаних енергоносіїв, їхня ціна.

Більшість із курей-несучок в усьому світі (в Україні зокрема), що вирощуються господарствами, утримуються у замкнених спорудах із керуванням світловим режимом, потужною вентиляцією, опаленням, механізованою годівлею й автоматичним збиранням яєць. Таким чином, завдання підвищення ефективності, тобто отримання максимального прибутку від виробництва має бути ключовим при функціонуванні таких систем керування.

Для створення системи керування, яка здатна реалізувати алгоритм функціонування об'єкта за вказаним критерієм, керування процесом утримання птиці слід вести залежно від фізичного стану біологічного об'єкта, його динамічних та адаптаційних можливостей, та враховуючи ймовірні природні збурення на об'єкт керування. Відомі на сьогодні системи керування подібного типу нехтують зазначеними чинниками, що призводить до додаткових затрат під час виробництва і, як наслідок, зменшення його прибутковості. Методи, які дозволяють втілити такі підходи керування, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії ігор і статистичних рішень, а також методах і засобах новітніх ІТ.

Мета і задачі досліджень. Метою досліджень є підвищення ефективності процесу промислового виробництва курячих яєць шляхом розробки інтелектуальної системи керування на основі прогнозування природних збурень і використання методів теорії ігор.

Основні задачі досліджень:

1. Провести аналіз сучасних систем керування процесом виробництва курячих яєць, виявити їхні недоліки та визначити напрямки подальших досліджень.

2. Дослідити можливі природні збурення на технічний об'єкт, здійснити їх класифікацію, створити математичні моделі, розробити систему

образів збурень, методику та алгоритм їх розпізнавання з метою прогнозування. На базі методів теорії ігор та статистичних рішень розробити алгоритм прийняття рішень з керування процесом утримання курей-несучок.

3. Провести формування структури, створити технічну реалізацію, розробити програмне та інформаційне забезпечення запропонованої системи. Провести економічні розрахунки ефективності впровадження у виробництво.

Об'єктом дослідження є процес промислового виробництва курячих яєць і система керування цим процесом.

Предметом дослідження є взаємозв'язки і закономірності процесів керування енергетичними потоками в промисловому пташнику в залежності від прогнозування зовнішніх температурних збурень на енергоефективність процесу промислового виробництва курячих яєць.

Методи дослідження. Методи досліджень базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії ігор, а також на методах і засобах новітніх інформаційних технологій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА КУРЯЧИХ ЯЄЦЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1. Птахівництво яєчного спрямування як вагома складова в структурі виробництва продукції АПК

Сучасний етап розвитку людства характеризується стрімким зростанням кількості населення планети та погіршенням екологічних умов існування, і за оцінками FAO (Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН) виникає небезпека виникнення глобальної продовольчої кризи. Це змушує уряди більшості країн світу ставити харчову безпеку на один рівень із оборонною. Крім того, спостерігається суттєве удорожчання енергетичних ресурсів – природнього газу, рідкого палива та електроенергії, що, в свою чергу, впливає на вартість виробництва продуктів харчування.

Під харчовою безпекою розуміють якісне і достатнє виробництво продуктів, які складають основу щоденного раціону кожної людини, а саме злаків, м'яса і м'ясопродуктів, молока, риби, овочів і фруктів. Вважається, що для забезпечення фізіологічних потреб людського організму необхідно споживати мінімум 150 г білку, при чому бажано 80 г – тваринного походження. Для цього людина має спожити за рік 80-85 кг м'яса і м'ясопродуктів, а також 350-365 шт. яєць [29].

Курячі яйця самі по собі та у складі великої кількості рецептів страв входять до раціону харчування людини з давніх часів, що обумовлене їх поживними якостями, можливістю виробництва і зберігання в різноманітних умовах.

Одне яйце за поживною цінністю можна приблизно порівняти з 40 г м'яса і 200 г коров'ячого молока. Воно забезпечує денну потребу дорослої людини в насичених і полінасичених жирах на 10-15%, у протеїні на 4-5%, у вітамінах А, Е, В₁₂ – на 20% [1]. У яйці, за різними оцінками, виявляють до 20 амінокислот, до 10 вітамінів і таку ж кількість ферментів, до 8 мінеральних солей.

Жовток яйця є особливо багатим на нутрієнти. Він складається приблизно з 50% сухої речовини, 16% протеїну, 33% жиру та 1% вуглеводів. Білок яйця містить близько 12% сухої речовини та 10% протеїну. За енергетичною цінністю при усій корисності яйця не вважають висококалорійним продуктом – 155-157 ккал на 100 г (при середній вазі 1 яйця в 60 г його калорійність складає близько 95 ккал), що дозволяє вважати їх цінним дієтичним продуктом харчування.

Поживні речовини курячого яйця завдяки збалансованій кількості засвоюються травневою системою людини на 95-98%. Вживання яєць підвищує опірність організму інфекційним захворюванням, нормалізує обмінні процеси організму, сприяє зміцненню нервової системи.

З точки зору технології виробництва і строку окупності капітальних вкладень, продукція птахівництва має чисельні переваги [29] порівняно з виробництвом продукції тваринництва:

- швидкоокупність. Так, оборотність коштів у птахівництві яєчного спрямування складає 1 місяць, при вирощуванні бройлерів – 2 місяці, у той же час при виробництві свинини – 11, яловичини – 18, молока – 8 місяців;
- рівень механізації та автоматизації птахофабрик є одним з найвищих в АПК;
- енергоємність у два рази нижча у порівнянні з виробництвом свинини і яловичини;
- питомі витрати кормових протеїнів на протеїн продукції у птахівництві у 3-5 разів нижчі, ніж у свинарстві та скотарстві;

- можливість за рахунок інтеграції різних птахівничих підприємств утворення виробничого циклу від селекції до споживача кінцевої продукції.

Від початку запровадження у 2004 р. Цільової програми "Птахівництво" Міністерства аграрної політики України [26] до початку 2022 р. галузь стійко та динамічно розвивалася. Основними факторами, що забезпечували зростання обсягів виробництва, були значні інвестиційні приватні надходження у поєднанні з істотною державною підтримкою, що дало змогу збільшувати виробничі потужності птахофабрик із одночасним їх технічним переоснащенням, запроваджувати сучасний менеджмент, покращувати племінні якості птиці.

За даними Держкомстату України, до складу АПК входять близько 800 птахівничих господарств різних форм власності, спеціалізацією близько 600 з яких є виробництво яєць. Серед них 57 є великими промисловими птахофабриками, що виробляють майже 90% усієї продукції України.

Внаслідок російської збройної агресії проти України було втрачено близько 20% промислового виробництва яєць в Україні [33]. Так, потужності низки великих виробників були зруйновані або опинилися в окупації через повномасштабну війну. Через бойові дії припинили свою діяльність або значно скоротили виробництво такі підприємства, як "Дмитрівська птахофабрика" на Донеччині та філія "Богодухівської птахофабрики" на Харківщині. Один з найбільших птахівничих комплексів України "Чорнобаївський" на Херсонщині тривалий час знаходився на окупованих територіях, після звільнення Херсону є наближеним до зони бойових дій, тому також припинив виробничу діяльність. Вказані обставини призвели до суттєвого удорожчання продукції – в серпні-вересні 2025 р. роздрібна вартість десятка яєць зросла з 32 до подекуди 70 грн.

Найважливіший фактор успіху будь-якого підприємства у ринкових умовах – можливість знижувати ціну продукції за рахунок економії витрат, тобто зменшення собівартості. Це стосується і птахівництва, і в сучасних умовах підгалузь потребуватиме динамічного відновлення і розвитку.

1.2. Значення енергетичних витрат у структурі собівартості курячих яєць

За даними [29], ефективність промислового виробництва курячих яєць визначає ціла сукупність пов'язаних один із одним показників: несучість курей за період виробництва; собівартість яєць; витрати кормів на одну курку-несучку; вартість кормів та їх якість, а також система годівлі; реалізаційна ціна. Аналіз динаміки собівартості показує, що її підвищення або зменшення на пряму відповідає динаміці змін реалізаційної ціни: при збільшенні собівартості на 43% на початку 2025 р. порівняно із 2021 реалізаційна ціна зросла на 47,2% [33].

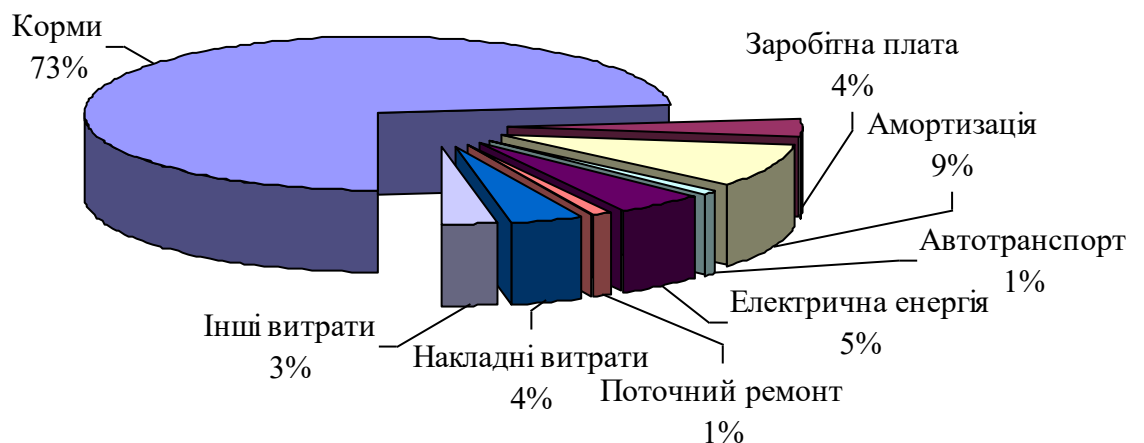


Рис. 1.1. Структура собівартості виробництва курячих яєць за усередненими показниками українських птахівничих підприємств у 2021 р.

Як показує діаграма (рис.1.1), найвагомішу частку у структурі собівартості виробництва курячих яєць складають корми та їх вартість. В середньому по Україні, частина вартості кормів у загальних виробничих витратах у галузі у 2000 р. становила 56,0%, у 2010 р. – 72,3%, у 2020 р. – 75,1%. Це обумовлене насамперед підвищенням вартості кормів: у 2000 році на 89% порівняно із 1998-1999 р., у 2010 р. на 64,7% порівняно з 2009 р., у 2020 р. на 69% порівняно із 2018-2019 р. Це вказує на те, що заходи щодо

зниження собівартості виробництва курячих яєць необхідно починати з раціонального приготування і використання кормової бази у галузі.

Наступними за вагомістю показником у загальних витратах і структурі собівартості курячих яєць є обсяги використання енергетичних ресурсів та їхня вартість, при чому на долю забезпечення оптимального мікроклімату припадає 60-70% річного енергоспоживання [6, 28]. Тут і зберігається певний резерв для її економії.

На фоні стабільного істотного збільшення цін на енергоресурси зберігається і значна тенденція щодо зростання частки матеріальних затрат. Так, ціна на електроенергію щорічно зростає на 16-17% [34]; ціна на природній газ наприкінці вересня 2019 р. на Українській енергетичній біржі складала 4,7 тис. грн. за тис. м³, наприкінці січня 2020 р. – 5,8 тис. грн., на кінець грудня 2020 р. – 6,3 тис. грн., а на середину вересня 2021 р. ціна вже зросла до 18,5 тис. грн. за тис. м³ [35].

Отже, основними шляхами вирішення проблеми зниження собівартості виробництва курячих яєць є використання ресурсозберігаючих технологій та залучення альтернативних видів енергії: сонця, вітру, переробки виробничих відходів і продуктів життєдіяльності людини.

Так, за умови використання для вирощування промислового стада курей-несучок 4-х ярусних кліткових батарей з відповідним комплектом устаткування замість традиційного обладнання досягається скорочення затрат праці обслуговуючого персоналу на 18-20%. При цьому покращуються мікрокліматичні умови утримання, завдяки чому зростає і продуктивність виробництва [27].

Останнім часом для забезпечення необхідного температурного режиму утримання курей-несучок широко впроваджуються енергоощадні системи обігріву пташників. Застарілі системи опалення від централізованих котелень та теплогенераторів із розгалуженою системою повітропроводів замінюють системами, що складаються з декількох теплогенераторів невеликої потужності, і обігрів приміщення відбувається завдяки безпосередньому

"викиду" нагрітого повітря. Це дозволяє досягнути економії 35-40% енергоресурсів, високого рівня автоматизації та відсутності обслуговуючого персоналу у виробничих приміщеннях задля високого рівня гігієни. Більшого рівня енергоощадності забезпечують безпаливні рекуперативні системи вентиляції. За рахунок відмови від традиційного тепло-вентиляційного обладнання та теплових мереж досягається 1,5-2 кратного зниження витрат на створення штучного мікроклімату.

З метою економії споживання води для напування птиці, поліпшення гігієнічних умов і мікроклімату у пташнику, подовженню тривалості експлуатації обладнання, сучасні кліткові батареї оснащуються ніпельними напувалками із краплевловлювачами. Системи водозабезпечення комплектуються очищувачами від механічних домішок та лічильниками витрат, а також медикаторами – пристроями, за допомогою яких можна дозовано додати у воду ветеринарні препарати із профілактичною метою.

Одним із шляхів зниження енерговитрат у птахівництві є використання диференційованого освітлення, що дозволяє скоротити витрати електроенергії, не знижуючи при цьому збереженість птиці, її продуктивність як у період вирощування, так і у період утримання. При цьому на заміну традиційним лампам розжарювання (ЛР) та люмінесцентним лампам (ЛЛ) із їх недоліками (низька світловіддача – 7-17 лм/Вт у ЛР та 50-70 у ЛЛ; нетривалий строк служби – 1 тис. год. у ЛР та 10-15 тис. год. у ЛЛ; проблеми з утилізацією ЛЛ та ін.) приходять джерела світла на основі світлодіодів [28].

1.3. Системи створення мікроклімату у промислових спорудах для утримання курей-несучок

У світовому виробництві курячих яєць переважна кількість курей-несучок утримується в замкнених спорудах, оснащених керованими механізованими системами годівлі і напування птиці, забезпечення параметрів мікроклімату, створення світлового режиму, збирання яєць, видалення посліду. Із початку промислового виробництва яєць, коли кури-несучки утримувалися на підлозі із вільним пересуванням у просторі, розроблені численні альтернативні системи утримання, але жодна з них не набула такого поширення, як кліткова система. Це пояснюється тим, що використання кліткової системи утримання дозволяє досягти максимального рівня механізації і автоматизації, а також найкращих гігієнічних умов, які забезпечують надійний захист від поширення серед птиці різноманітних хвороб.

Так, за даними [31] порівняння вартості виробництва яєць показує, що утримання курей-несучок у кліткових батареях є економічно найбільш доцільним та продуктивним (таблиця 1.1, 1.2).

Таблиця 1.1.

Вартість виробництва яєць при різних системах утримання курей-несучок

Система утримання	Вартість, євро
Утримання з вільним виходом	145
У великих вольєрах	125
У міні-вольєрах	112
Кліткове утримання із площею підлоги клітки	
- 750 см ² /гол.	111
- 430 см ² /гол.	98
- менше 400 см ² /гол.	94

Показники продуктивності курей-несучок при різних системах утримання

Система утримання	Строк несучості, днів	Яйцено-сність, %	Кількість яєць на 1 курку	Маса яйця, г	Маса яєць на 1 курку, кг	Падіж, %	Конверсія корму, кг
Кліткова	370	89,3	319	62,2	19,0	6,3	2,07
Вільний вигул	367	87,7	302	61,6	18,6	9,4	2,26
На підстилці	375	88,2	316	62,5	19,8	9,2	2,28
У вольєрах	391	88,1	325	62,6	20,0	10,7	2,24
Органічне утримання	347	87,5	294	63,7	18,6	6,7	2,27

При утриманні курей-несучок із вільним вигулом або у вольєрах суттєво зростають витрати людської праці у порівнянні із клітковим [31,32]. Крім того, закрите промислове птахівництво з екологічної точки зору є більш безпечним для оточуючого середовища [7]. Так зване "органічне" птахівництво та вільне утримання на 10-30% більше сприяють глобальному потеплінню порівняно із промисловим виробництвом всередині закритих споруд. До того, використання кліткового утримання птиці на 65-200% зменшують площу пташників, з яких складаються птахівничі комплекси.

Враховуючи прагнення України до вступу до ЄС, при проектуванні і будівництві птахівничих комплексів необхідно враховувати положення Директив Ради Європейського Союзу (№ 1988/166/ЄЕС, № 1999/74/ЄС від 19.07.1999 р.) щодо захисту умов утримання курей-несучок у кліткових батареях та інших виробничих системах. В них, зокрема, встановлюються такі вимоги до кліткових батарей: сумарна площа клітки повинна бути не меншою 2000 см²; площа підлоги на одну курку – не менше 750 см²; мінімум 12 см простору для їжі на одну курку; не менше 2-х доступних ніпельних або інших типів напувалок на одну тварину; при вигульному утриманні – доступність гнізда для знесення яєць, наявність підстилки, не менше ніж 15 см насесту на одну курку.

Досягнення високого рівня продуктивності та інтенсивності утримання птиці у промислових птахівничих спорудах вимагає комплексної автоматизації виробничих процесів.

Питаннями досліджень і оптимізації різних технологічних операцій, пов'язаних з утриманням птиці, присвячено багато робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників. Значного розвитку автоматизація птахівництва досягла за часів колишнього Радянського Союзу та в сучасній незалежній Україні, де цій проблемі присвячені численні роботи таких вчених, як Р.М. Славін, Г.Є. Кістень, І.І. Мартиненко, Ю.А. Куров, І. Ф. Кудрявцев, Ю.Н. Пчюлкін, Д.М. Мурусідзе, М.М. Неділько, Лисенко В.П.

Як наслідок, сучасні промислові птахівничі комплекси у світі є високотехнологічними виробництвами, з якими за рівнем механізації і автоматизації не може зрівнятися жодна інша галузь тваринництва.

Промисловий пташник для кліткового утримання курей-несучок оснащується наступними системами (рис. 1.2): система годівлі та напування птиці; система вентиляції повітря; система обігріву пташника; система збирання яєць; система освітлення; система видалення пташиного посліду.

Забезпечити оптимальні параметри мікроклімату (додаток А) з мінімальними затратами в приміщеннях для утримання курей-несучок можливо тільки за умови використання раціональних вентиляційно-опалювальних систем на базі високоефективних технічних засобів [23,24,27].

За характером створюваного у приміщенні тиску системи вентиляції промислових пташників поділяють на три типи:

- з надлишковим тиском;
- з розрідженням (вакуумного типу);
- системи рівного тиску (припливно-витяжні системи).

У 70-90-х роках минулого століття ці типи вентиляції реалізовувалися за допомогою різноманітних систем та комплектів обладнання. При цьому інженери і науковці досліджували ефективність різних алгоритмів керування в залежності від технічних можливостей регуляторів, централізованих та децентралізованих систем опалення, і т.д.

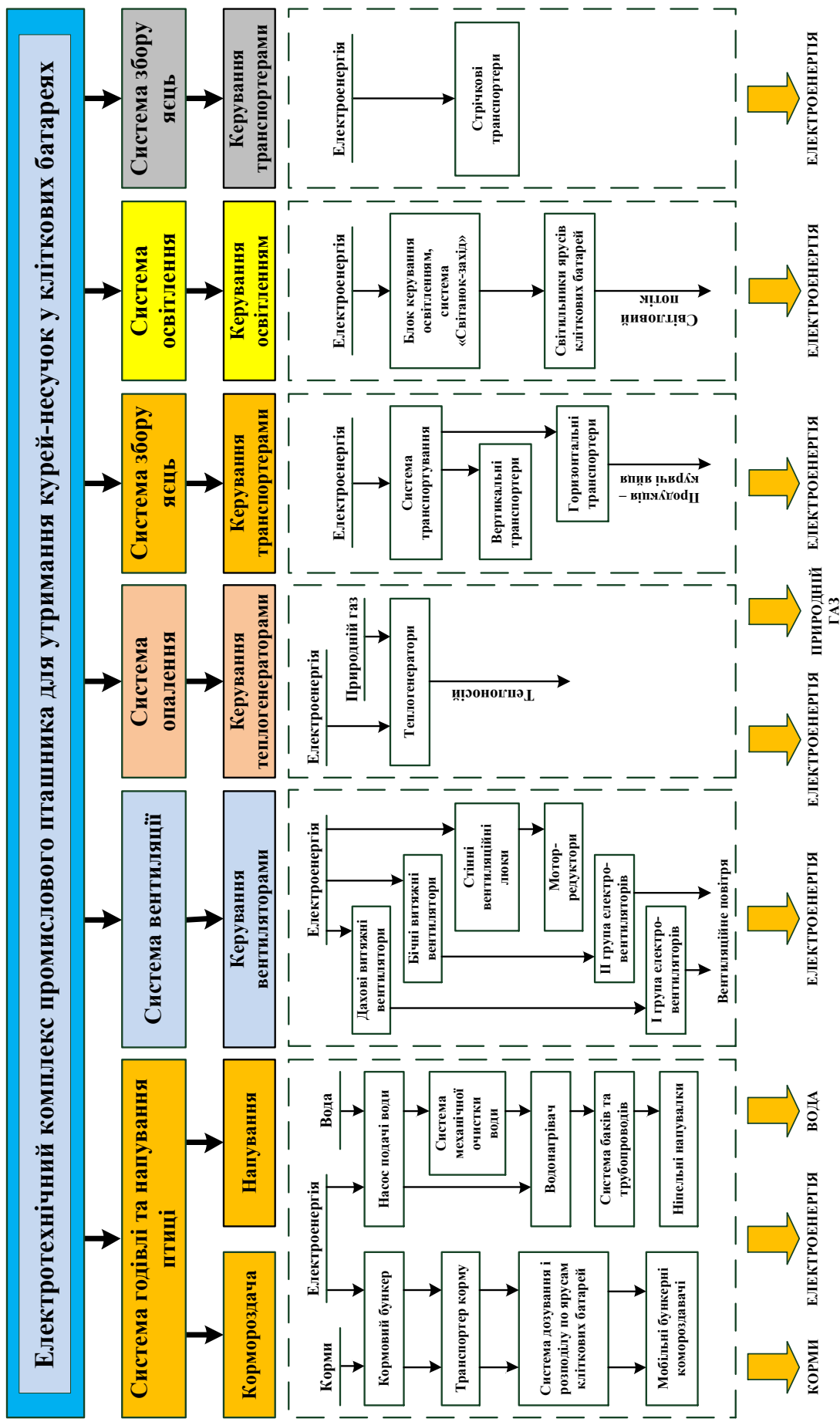


Рис. 1.2. Структурна схема обладнання промислового пташника з урахуванням енергетичних потоків

Комплект обладнання серії "Клімат", призначений для створення у птахівничих приміщеннях необхідного температурного режиму, за допомогою трипозиційного регулятора здійснює автоматичне керування роботою електровентиляторів. Для підтримання температури повітря на заданому рівні (із точністю до $\pm 1,5 \dots 2^\circ\text{C}$) змінюється швидкість обертання та кількість працюючих вентиляторів (керування роботою вентиляторів групами).

Система "Електроклімат" керування температурно-вологісним режимом здійснюється шляхом керування теплопродуктивності калориферів та плавної ступінчастої зміни частоти обертання вентиляторів.

Створення і автоматичне підтримання мікроклімату у тваринницьких приміщеннях забезпечують також системи "Клімат-4" та "Клімат-4М" із їхніми модифікаціями "Клімат-44", "Клімат-45" та "Клімат-47" (відрізняються використанням різних наборів та кількості вентиляторів). На відміну від "Клімат-4" система "Клімат-4М" необхідний повітрообмін реалізують зміною продуктивності вентиляторів за допомогою безступінчастої зміни числа їх обертів (регулювання напругою).

Вентиляційна установка МК-ВА УЗ – аналог системи "Клімат-4", оснащена тиристорним пристроєм керування із плавним регулюванням частоти обертання витяжних вентиляторів залежно від відхилення температури від заданого значення всередині вентиляованого приміщення.

Комплектне обладнання "Клімат-2" та "Клімат-3" призначене для повітряного опалення та припливно-витяжної вентиляції тваринницьких і птахівничих приміщень. Ці системи є удосконаленими версіями "Клімат-4" та "Клімат-4М" і додатково включають водяні калорифери, турбозволожувачі повітря та припливні вентилятори. Принципи регулювання параметрів мікроклімату у них не змінилися порівняно із базовими системами.

З тією ж метою було розроблено комплект припливно-витяжних установок ПВУ-4, ПВУ-6 та ПВУ-9. Для них характерне суміщення притоку та витяжки повітря в одному агрегаті, що виключає необхідність облаштування розподільчих повітропроводів у приміщеннях.

Розробники "Клімат-2000" – системи керування мікрокліматом пташника – декларують зниження затрат на обігрівання, годівлю, споживання електроенергії, витрат на ремонт та обслуговування обладнання, зменшення падіжу птиці, покращення умов утримання курей (зокрема без стресова технологія вирощування птиці) за рахунок створення оптимального мікроклімату.

Найбільш сучасними і розповсюдженими системами підтримання мікроклімату у промислових пташниках у світі є комплекти обладнання Viper та Amacs, що виготовляються компанією Big Dutchman (Німеччина) [1,11]. Такі системи здійснюють керування вентиляцією, опаленням, зволоженням повітря залежно від внутрішньої та зовнішньої температури та у відповідності з віком птиці. Температура повітря у птахівничому приміщенні підтримується при цьому на певному оптимальному рівні. Крім названого, вони управляють виробничими процесами та реєструють різноманітні параметри (ріст, падіж) та витрати матеріальних ресурсів (корми, вода, електроенергія).

Компанія DACS (Данія) розробила систему керування обладнанням птахівничих комплексів ACS5 [19].

Датська фірма DACS пропонує птахівництву систему керування ACS5 [99]. У приміщенні завжди автоматично підтримуються задані температура та вологість повітря завдяки точному регулюванню взаємозв'язків між процесами вентиляції, опалення та сушіння. За допомогою ACS5 можна також централізувати, відстежувати та регулювати усі виробничі процеси, які стосуються роботи з птицею.

Вітчизняне підприємство ПНВП «Технологічна автоматика» виготовляє системи керування мікрокліматом БРИЗ-М, БРИЗ-4М. Останні забезпечують автоматичну підтримку заданих температурних та вентиляційних режимів шляхом плавного керування нагрівачами та вентиляторами.

Німецька компанія Farmer Automatic GmbH & Co. KG розробила систему створення мікроклімату в пташниках [22], яка дозволяє знизити

кратність повітрообміну у приміщенні за рахунок використання спеціальних дахових розподільвачів повітря, застосування ефекту «windchill». Як наслідок, температура повітря, його відносна вологість та газовий склад утримуються в комфортних межах.

Система керування умовами утримання курей у пташниках фірми VAL-CO (США) – це система, побудована на основі контролера VENTRA, яка дозволяє здійснювати автоматичний контроль і керування такими параметрами, як температура, відносна вологість, тиск, швидкість руху повітря, а також споживання птицею корму та води. Залежно від значень зазначених параметрів вибирається стратегія керування вентиляційним та опалювальним обладнанням.

Проте усі розглянуті вище системи керування параметрами мікроклімату в промисловому пташнику не враховують можливої майбутньої зміни збурюючих дій, зокрема температурних, на технологічний об'єкт протягом усього періоду утримання та реалізують виключно режими стабілізації параметрів, враховуючи миттєві значення збурень, що не завжди є ефективним.

1.4. Обґрунтування напрямку досліджень і постановка задачі створення системи автоматизованого керування

Метою керування технологічними процесами при промисловому утриманні курей-несучок, як і в інших виробництвах сільськогосподарської продукції, є оптимізація показників ефективності життєдіяльності біологічних об'єктів (у даному випадку – птиці).

Процес вирощування і утримання *біологічних об'єктів* (БО) можна охарактеризувати чисельними показниками ефективності, серед яких у першу чергу виділяють такі:

- максимальна продуктивність БО за період його утримання;
- мінімальні витрати ресурсів на утримання БО – енергетичних, матеріальних, затрат праці;
- показники якості виробленої продукції;
- показники умов існування БО, які виключають загибель або мінімізують частку втрат найслабших представників незалежно від зовнішніх збурень на об'єкт.

Оптимізація названих показників ефективності життєдіяльності БО визначає мету керування технологічними процесами виробництва сільськогосподарської продукції, зокрема утримання курей-несучок.

Кількісно оцінити показник ефективності можна за виразом (1.1), у якому $f(x,u)$ – це функція, яка визначається станом БО (x) і прийнятим рішенням (u) щодо керування процесом у межах часу утримання від початку (t_n) технологічного процесу до його закінчення (t_k)

$$I = \int_{t_n}^{t_k} f(x,u)dt. \quad (1.1)$$

Прийняття рішень про керування умовами утримання БО за названими вище критеріями ефективності в сільськогосподарському виробництві є доволі складним завданням. На стан БО впливають не тільки заздалегідь визначені (детерміновані) дії, але й випадкові збурення, які обумовлені метеорологічними умовами і не можуть бути передбаченими і чітко визначеними. Відповідно, рішення про керування необхідно приймати в умовах невизначеності. Складовою визначення показника ефективності (1.1) стануть також випадкові умови або фактори y

$$I = \int_{t_n}^{t_k} f(x,y,u)dt. \quad (1.2)$$

У цьому випадку задача знаходження оптимального рішення для керування умовами утримання біологічних об'єктів формулюється таким чином: при заданому стані x з урахуванням невідомих факторів y знайти таке

керування u , яке б за можливості здело до максимуму показник ефективності I процесу. Застереження "за можливості" перетворює задачу в категорію задач, в яких вибір рішення здійснюється в умовах невизначеності.

У зв'язку з тим, що невизначеності в сільському господарстві є до деякої міри статистично визначені [30], розв'язок таких задач зводиться до знаходження математичного сподівання показника якості

$$\bar{I} = M[I]. \quad (1.3)$$

При урахуванні наведених вище показників якості при керуванні процесом утримання БО, власне задачу керування необхідно вважати багатокритеріальною, що призводить до істотного ускладнення її розв'язку.

За таких умов постановка задачі, яка формулюється як досягнення максимальної продуктивності БО з високою якістю при мінімальних затратах, повинна бути відкинута [3]. Тому найбільш прийнятним буде єдиний критерій I , який максимізує прибуток, що складається з різниці вартості B_n отриманої продукції і вартості B_e основних витрат на її виготовлення, враховуючи невизначеність стану об'єкта

$$I = \sum_{i=1}^k (B_{ni} - B_{ei}) \Rightarrow \max, \quad (1.4)$$

де k – кількість станів у часі, в яких перебуває система упродовж всього виробничого процесу від моменту посадки курей-несучок до припинення утримання.

При цьому в задачі обов'язково повинні враховуватись обмеження на ймовірність загибелі БО або певний відсоток втрат його представників.

В умовах промислового сільськогосподарського виробництва утримання БО передбачається у спорудах із таким технологічним обладнанням, яке значною мірою здатне компенсувати вплив зовнішніх природних збурень на технічний об'єкт. За умови, що максимуму продуктивності БО набуває при певних комфортних умовах, задачі керування зводилися до стабілізації окремих технологічних параметрів. Використанню

таких алгоритмів керування сприяла і низька вартість енергетичних ресурсів у недалекому минулому.

Стабілізація технологічних параметрів не є найефективнішим підходом, хоча і повинна забезпечувати найвищу продуктивність БО. По-перше, конструктивні параметри виконавчих елементів систем керування на жодному технічному об'єкті не здатні компенсувати усіх збурень, що можуть виникати впродовж усього періоду утримання БО. Так, за результатами досліджень [17] у пташнику, обладнаному вентиляційним комплексом та системою обігріву, система керування забезпечила режим стабілізації температури повітря із максимальним показником несучості протягом лише 56% усього часу утримання. По-друге, режим стабілізації у багатьох випадках не забезпечує отримання максимального прибутку при утриманні. Більшого ефекту а більш у ряді випадків досягають із використанням режимів, які реалізують алгоритми забезпечення постійного повітрообміну на заданому температурному рівні або відпрацьовують алгоритми нелінійних систем. Так, застосування різних режимів роботи системи при керуванні умовами утримання курей-несучок у пташнику дало можливість при незначній втраті несучості (менше 1 %) за рік значно знизити витрати кормів (до 7%) та енергоресурсів (до 20%).

Такі показники ефективності при керуванні процесами утримання птиці отримані за рахунок не стільки динамічних характеристик птахівничого приміщення як об'єкта управління, а завдяки аналізу зміни показників курей-несучок як БО (витрати кормів, несучість, енерговитрати на утримання) залежно від змін мікрокліматичних параметрів у пташнику.

Період промислового утримання курей-несучок у пташнику триває 13-14 міс. За цей час на пташник можуть впливати різноманітні зовнішні збурення: температура навколишнього середовища може змінюватися у межах від -40 до $+40^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря – від 25 до 100%. При цьому коливання температури, що повторюються із року в рік, дуже рідко

наближуються до вказаних граничних значень, і знаходяться у межах - 20...+32°C.

Розробка раціональних алгоритмів керування мікрокліматичними параметрами у промислових пташниках на весь період утримання курей-несучок, де реалізоване урахування та передбачення можливих збурень, є складною науковою задачею. Так, для отримання статистичних даних для оцінювання існуючих алгоритмів керування необхідно накопичити виробничі показники за один період утримання (13-14 міс.) на десяти однакових пташниках, або десять років спостерігати за роботою одного пташника. Іншими словами, для відпрацювання раціональних алгоритмів роботи системи керування виключно експериментальними методами необхідно витратити забагато часу і матеріальних ресурсів.

Вказані обставини обумовлюють необхідність розробки таких раціональних алгоритмів керування, які базуються на моделюванні характеристик пташника як об'єкта керування і характеристик можливих збурень.

Основним мікрокліматичним параметром, який забезпечує необхідний стан курей-несучок за умови наявності хоча би мінімального повітрообміну, є температура повітря у виробничому приміщенні [25].

Однією з біологічних ознак курей-несучок як БО є здатність до терморегуляції, тобто підтримання температури тіла на більш-менш сталому рівні. Терморегуляційний ефект поєднує діяльність багатьох систем організму, які спрямовані на підвищення виробітку тепла і обмеженню тепловіддачі при охолодженні тіла з одного боку, так і на обмеження теплопродукції і збільшення тепловіддачі при його нагріванні з іншого.

Життєдіяльність БО із терморегуляційними ознаками у природному середовищі демонструє їх спроможність зберігати свої фізіологічні характеристики та виживати при значних змінах параметрів зовнішніх умов, таких як температура та відносна вологість повітря, його газовий склад, тиск і т.д. При цьому загальний обмін речовин в організмі змінюється залежно від

значень названих параметрів. Мінімальний рівень обміну речовин відбувається лише при певних нейтральних температурах середовища, які різні для різних організмів та їх станів. Відхилення параметрів навколишнього середовища від нейтральних температур викликає стрес в організмі та вимагає додаткових енергетичних затрат на його подолання. Організм адаптується до нових умов шляхом фізіологічних змін, які допомагають зберегти сталість енергетичного потенціалу та відновити стабільність внутрішнього стану (активних життєвих параметрів і продуктивності), що є критерієм адаптації.

Якщо значення температури оточуючого середовища виходить за нижню або верхню критичну межу (для курей-несучок це відповідно 0 та 43°C), БО гине.

Отже, стани БО відрізняються один від одного в залежності від знаходження його у певній температурній зоні. При цьому відрізняються показники росту, споживання кормів, продуктивність. Тому постає необхідність у дослідженнях адаптаційних механізмів курей-несучок, змін показників ефективності утримання в залежності від температури оточуючого середовища.

Таким чином, для розробки системи керування, алгоритм функціонування якої визначається критерієм (1.3), коли \bar{I} є математичним сподіванням прибутку від отриманої продукції, керування процесом утримання необхідно здійснювати залежно від фізичного стану БО із урахуванням температурних збурень на об'єкт керування. Таке керування можливо реалізувати, розв'язавши наступні задачі:

- визначити типи природних температурних збурень, створити базу даних для розпізнавання їх образів, визначити можливі варіанти керування при дії таких збурень;
- розробити алгоритм прийняття рішень для керування процесом утримання БО;
- розробити програмне забезпечення для роботи з базою даних і прийняття управляючих дій;

- провести вибір технічних засобів для реалізації керування.

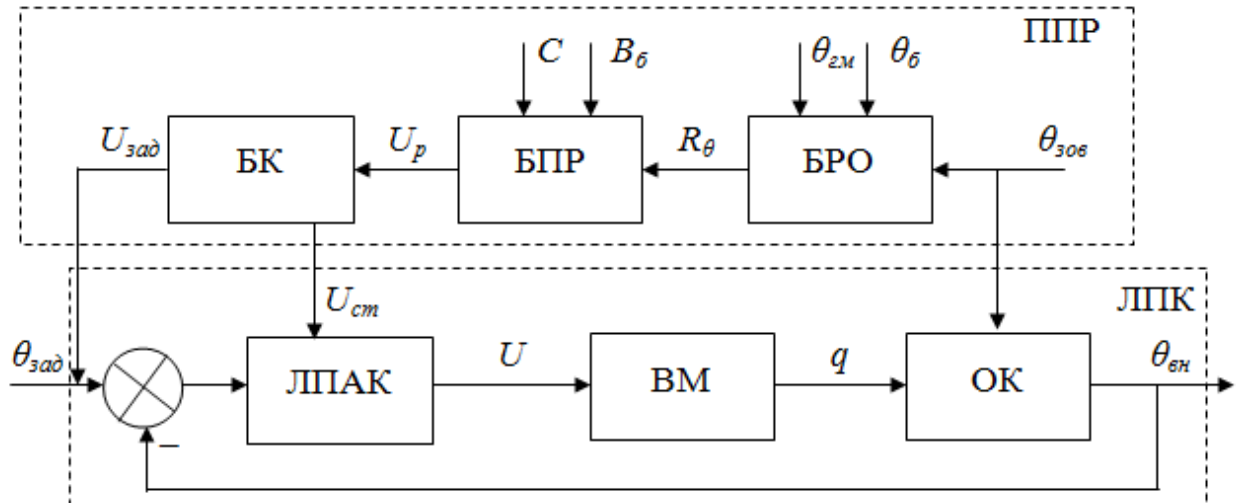


Рис. 1.3. Функціональна структурна схема САК енергетичними потоками у промисловому пташнику

Для вирішення поставлених задач визначимо структуру САК енергетичними потоками у промисловому пташнику. Вона повинна мати структуру дворівневої адаптивної системи [16] і складатися з таких блоків:

- верхній рівень – підсистема прийняття рішень (ППР), складається з блоку розпізнавання образів (БРО), блоку прийняття рішень (БПР), блоку керування (БК);
- нижній рівень – локальна підсистема керування (ЛПК), включає локальний пристрій автоматичного керування (ЛПАК), виконавчі механізми (ВМ), об'єкт керування (ОК).

Блок розпізнавання образів використовується для визначення образів на основі таких сигналів:

- змін прогнозованих температурних збурень θ_{2m} , які надає Український ГМЦ для даної місцевості;
- значень від датчиків зовнішньої температури пташника θ_{3ov} за останні 20 годин для реалізації стаціонарних (40 годин для квазістаціонарних) процесів шляхом порівняння з образами можливих реалізацій θ_6 у накопиченій базі даних.

Розпізнаний образ R_θ передається у блок прийняття рішень. Тут у базі даних для кожного з образів зберігаються варіанти дій керування, а також показники якості B_θ для кожної з цих дій (у фізичних одиницях – енергетичні та матеріальні витрати, продуктивність виробництва). У цей блок спрямовані також складові показники прибутку C , і з їх урахуванням за допомогою теорії ігор та статистичних рішень відбувається вибір оптимальної стратегії управління U_p .

Функція блоку управління – зміна заданої дії $U_{зад}$ для нового образу стратегії управління $U_{ст}$ у локальному пристрої автоматичного керування.

РОЗДІЛ 2

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ У ПТАШНИКУ ІЗ ПРОГНОЗУВАННЯМ ПРИРОДНИХ ЗБУРЕНЬ

2.1. Класифікація природних температурних збурень у системі керування

Характеристики природних температурних збурень на виробничий об'єкт визначаються тією кліматичною зоною, де він розташований. Для виконання даної магістерської роботи використані статистичні дані, отримані у дослідженнях [30] за 10 років спостережень за температурою повітря у південних причорноморських регіонах України із помірним кліматом. У зазначеній місцевості за вказаний період найбільші коливання температур відмічені у межах від $+26$ до $+38^{\circ}\text{C}$. З діаграми (рис. 2.1), яка відображає ймовірність P появи різних значень температур Θ , видно, що близько 85% усіх температурних збурень знаходяться у межах від -5 до $+30^{\circ}\text{C}$.

Температурним максимумом за десять років спостережень було значення $+38^{\circ}\text{C}$ із ймовірністю його появи, що не перевищує 0,006 (0,6%). Ймовірність виникнення температурних значень вище $+20^{\circ}\text{C}$ дорівнює приблизно 0,2 (або 20%).

За допомогою даних, отриманих від Українського ГМЦ для вищезазначеної місцевості, було побудовано річні часові ряди (реалізації) коливань температури повітря $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$. Ці часові ряди являють собою нестационарний випадковий процес, визначення статистичних характеристик якого є дуже складною задачею. Однак аналіз окремих ділянок часових рядів (річних реалізацій) показав, що вони можуть бути прогнозованими [5], оскільки реалізаціями або стаціонарних випадкових процесів, або стаціонарних процесів з адитивними детермінованими складовими.

Адитивні (такі, що додаються) детерміновані складові – це комбінація таких елементів, як:

- тренд u_i , який визначає головну тенденцію часового ряду;
- цикли W_i – регулярні коливання відносно тренду;
- сезонна складова S_i – періодичні коливання.

Математична модель ділянок часових рядів визначається виразом

$$\theta_i = u_i + W_i + S_i + \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де до вказаних елементів додається випадкова складова ε_i .

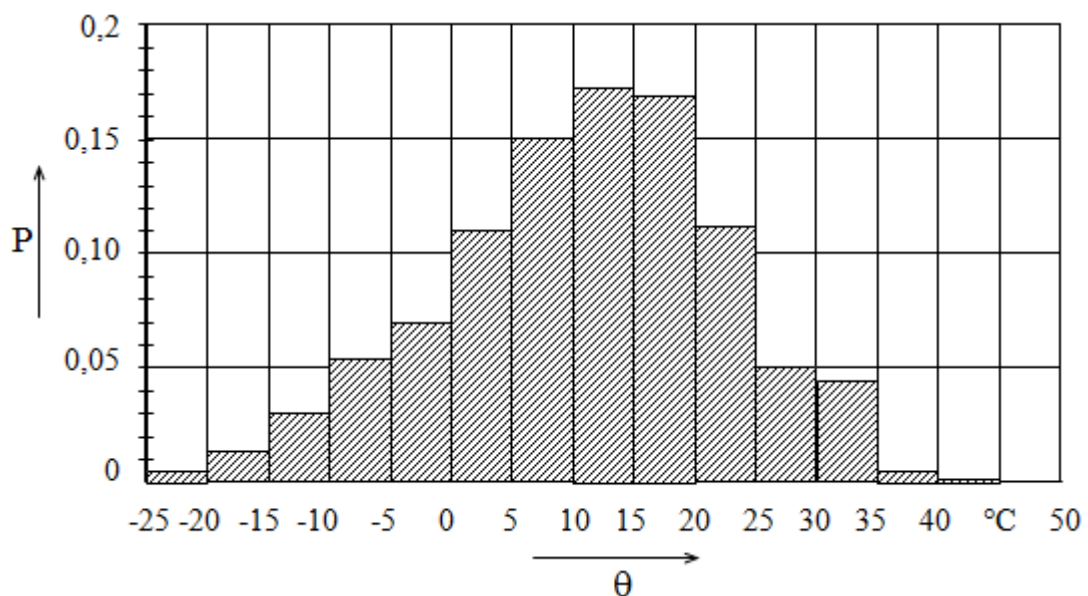


Рис. 2.1. Розподіл ймовірностей виникнення різних температурних збурень у південних причорноморських регіонах України за 10 р. спостережень

За вказаний десятирічний період спостережень виділено 569 ділянок. Для того, щоб класифікувати температурні ділянки за їх ознаками, а потім спрогнозувати їх появу, був виконаний кластерний аналіз названих відрізків часового ряду за еталонним методом К-середніх [5].

На першому етапі була визначена сукупність ознак ділянок [5] та їх числові значення для відокремлених 569 відрізків часового ряду. Ці ділянки описуються детермінованими та імовірнісними (випадковими) ознаками.

Детермінованими ознаками є такі:

- мінімальне, середнє та максимальне значення температури на ділянці;
- тривалість ділянки у часі;
- коефіцієнт a лінійного тренду $a+b\cdot t$;
- коефіцієнт b лінійного тренду $a+b\cdot t$;
- для гармонічних складових - амплітуда, період та зсув фази ділянки синусоїдального вигляду.

До імовірнісних (випадкових) належать наступні:

- дисперсія, математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення (для вихідних ділянок; ділянок без лінійного тренду $a+b\cdot t$; ділянок без лінійного тренду $a+b\cdot t$ та гармонічної складової);
- параметри α і β кореляційної функції $R(\tau) = D \cdot e^{-\alpha|\tau|} \cos(\beta\tau)$ ділянки без лінійного тренду $a+b\cdot t$ і гармонічної складової.

На наступному етапі – етапі початкової класифікації та створення алфавіту класів – був виконаний аналіз впливу на керування технологічними параметрами утримання курей-несучок як БО на основі їх адаптаційних можливостей, а також відомостей про роботу традиційних систем керування.

Із урахуванням того, що кожна ділянка температурних збурень може мати детерміновані та випадкові ознаки, кількісні характеристики для різних реалізацій розраховуються за такою методикою.

1. Зміни математичного сподівання у часі для кожної ділянки визначаються за виразом

$$\hat{\theta}_i = \theta_{ноч} \pm kt, \quad (2.2)$$

де $\theta_{ноч}$ – початкове значення температури повітря;

k – коефіцієнт урахування змін температури у часі (приймається у межах $k = 0, 1 \dots 0, 2$).

2. Зі значення θ'_i центрованого випадкового процесу, що визначається за виразом (2.3) віднімається регулярна синусоїдальна складова θ_k , яку отримують за формулою (2.4).

$$\theta_i' = \theta_i - \hat{\theta}_i \quad (2.3)$$

$$\theta_k = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.4)$$

де A , ω і φ – відповідно амплітуда, частота й фаза регулярних коливань.

За умови, що регулярні коливання визначаються змінами температури за добу, тобто період $T_0 = 24$ год., циклічна частота дорівнює:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_0} = 0,2618 \frac{\text{рад}}{\text{год.}} \quad (2.5)$$

3. Значення амплітуди отримуємо за дискретними формулами Фур'є для коефіцієнтів першої гармоніки:

$$S_c = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \theta_i' \cos(\omega \cdot i \cdot \Delta t); \quad S_s = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \theta_i' \sin(\omega \cdot i \cdot \Delta t), \quad (2.6)$$

де S_c і S_s – косинусоїдальний і синусоїдальний коефіцієнти для 1 гармоніки відповідно;

N – довжина часового ряду (кількість точок ділянки);

Δt – крок вимірювання, що складає $\Delta t = 3$ год.

4. Значення амплітуди і фази для першої гармоніки розраховуються за виразами:

$$A = \sqrt{S_c^2 + S_s^2}, \quad (2.7)$$

$$\varphi = \arctg \frac{S_c}{S_s}. \quad (2.8)$$

5. Характеристикою центрованого чистого випадкового процесу є

$$\theta_i'' = \theta_i' - A \sin(\omega t + \varphi). \quad (2.9)$$

6. Кореляційна функція:

$$R(N \cdot \Delta t) = \frac{1}{N - n + 1} \sum_{i=0}^{N-n} \theta_i'' \cdot \theta_{i+n}'' \quad (2.10)$$

Ця операція розрахунку часової кореляційної функції на обмеженому інтервалі при припущенні, що випадковий процес є ергодичним, визначає наближену функцію по всьому ансамблю можливих вибірок; ця функція теж є випадковою. Математичне сподівання такого наближення співпадає з таким значенням кореляційної функції і є незміщеною оцінкою [14]. Відомо, що для

досить точних оцінок кореляційної функції необхідно використовувати вибірки великого об'єму, де $N > 2000$. Наші ділянки нараховують від 30 до 170 точок. Тому точність оцінок кореляційної функції досить невисока. Для апроксимації характеристик за формулою (2.10) використовується метод найменших квадратів, який здійснює мінімізацію похибки ділянки кореляційної функції до першого перетину або наближення точок до осі абсцис.

Точність обрахунків статистичних характеристик температурних ділянок досить невисока. Показник точності P становить 15...20% [4] ($P = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{X}} \cdot 100\%$, де $S_{\bar{x}}$ – помилка середнього арифметичного, яка дорівнює $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$, S – середньоквадратичне відхилення, n – кількість спостережень, \bar{X} – середнє арифметичне).

Результати визначення статистичних характеристик 569 ділянок показали, що вони можуть бути апроксимовані стаціонарними випадковими процесами з кореляційними функціями сірого (2.11) й рожевого (2.12) шумів:

$$R(\tau) = D \cdot e^{-\alpha|\tau|}, \quad (2.11)$$

$$R(\tau) = D \cdot e^{-\alpha|\tau|} \cos(\beta\tau). \quad (2.12)$$

При цьому значення дисперсії D змінювались від 0,224 до 18,9 °C². Коефіцієнт показника степеня α змінювався в межах 0,02...0,524, а значення β від 0,02 до 0,582.

Амплітуди регулярних синусоїдальних коливань знаходились у межах $3 < A < 7$ °C.

Для виконання кластерного аналізу ділянок температурних збурень виділено три основні апріорні ознаки: максимальне значення температури на ділянці, коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$ та амплітуда гармонічної складової. Діаграма розсіювання вихідних даних за вказані 10 років спостережень зображена на рис. 2.2.

Додатковою ознакою для виділення окремого класу збурень є максимальне значення температури на ділянці. Оскільки максимальні значення температури є критичними при утриманні птиці, вони потребують особливих керуючих дій. Так, при наявності на певній ділянці температурних значень, вищих за $+20^{\circ}\text{C}$, така ділянка належить до класу, коли використовується максимальний рівень повітрообміну в пташнику як образ в якості керуючої дії.

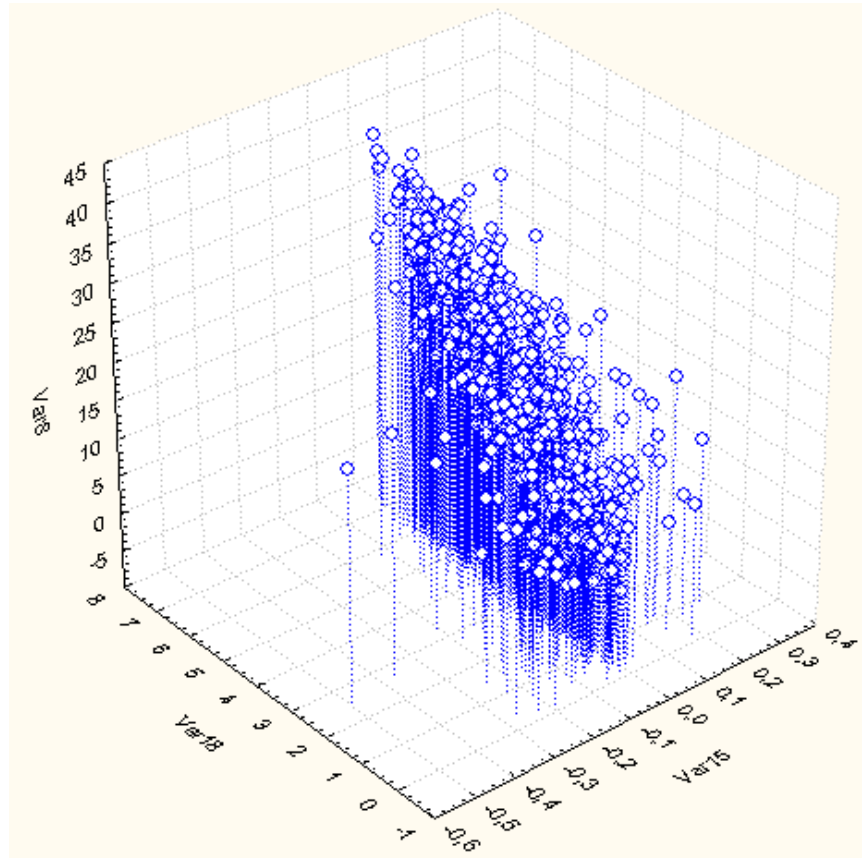


Рис. 2.2. Схема розсіювання вихідних даних основних апріорних ознак температурних збурень півдня України за 10 років спостереження:

Var8 – максимальне значення температури на ділянці, $^{\circ}\text{C}$;

Var15 – коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$, $^{\circ}\text{C}/\text{год.}$;

Var18 – амплітуда гармонічної складової, $^{\circ}\text{C}$

При виключенні з переліку основних апріорних ознак максимальні значення температур на ділянках, схема розсіювання вихідних даних (рис. 2.2) виглядатиме, як зображено на рис. 2.3.

За умови, коли дві основні апріорні ознаки приймають логічні значення "0" або "1", кількість можливих комбінацій цих ознак дорівнює чотирьом:

"0" – коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$ або амплітуда гармонічної складової A дорівнює або близький до 0;

"1" – коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$ або амплітуда гармонічної складової A не дорівнюють 0.

За вказаних обставин при проведенні кластерного аналізу за допомогою методу К-середніх виділяємо 4 кластери. Нанесемо штриховими лініями межі ділянок і отримаємо на рис. 2.3 таку схему розподілу.

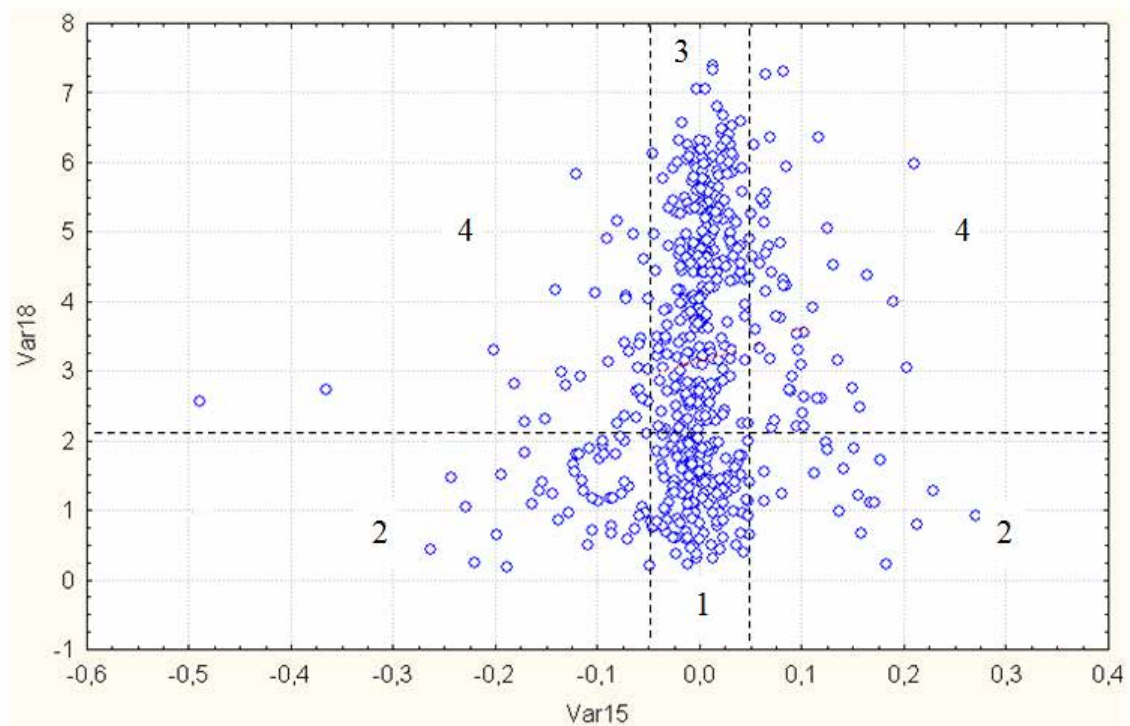


Рис. 2.4. Схема розподілу вихідних даних основних апріорних ознак температурних збурень на півдні України за 10 років спостережень:

Var15 – коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$, °С/год.; Var18 – амплітуда гармонічної складової, °С; 1, 2, 3 та 4 – позначення областей, обмежених штриховими лініями, до яких потрапили об'єкти 1-го, 2-го, 3-го та 4-го класів відповідно

До п'ятого окремого класу виділяємо такі об'єкти, для яких характерні значення $+20^{\circ}\text{C}$ і більше (це було зазначено вище) незалежно від того, до

якого класу вони (ділянки) потрапили у результаті кластерного аналізу. Схематично розподіл об'єктів за 5-ма класами зображено на рис. 2.4.

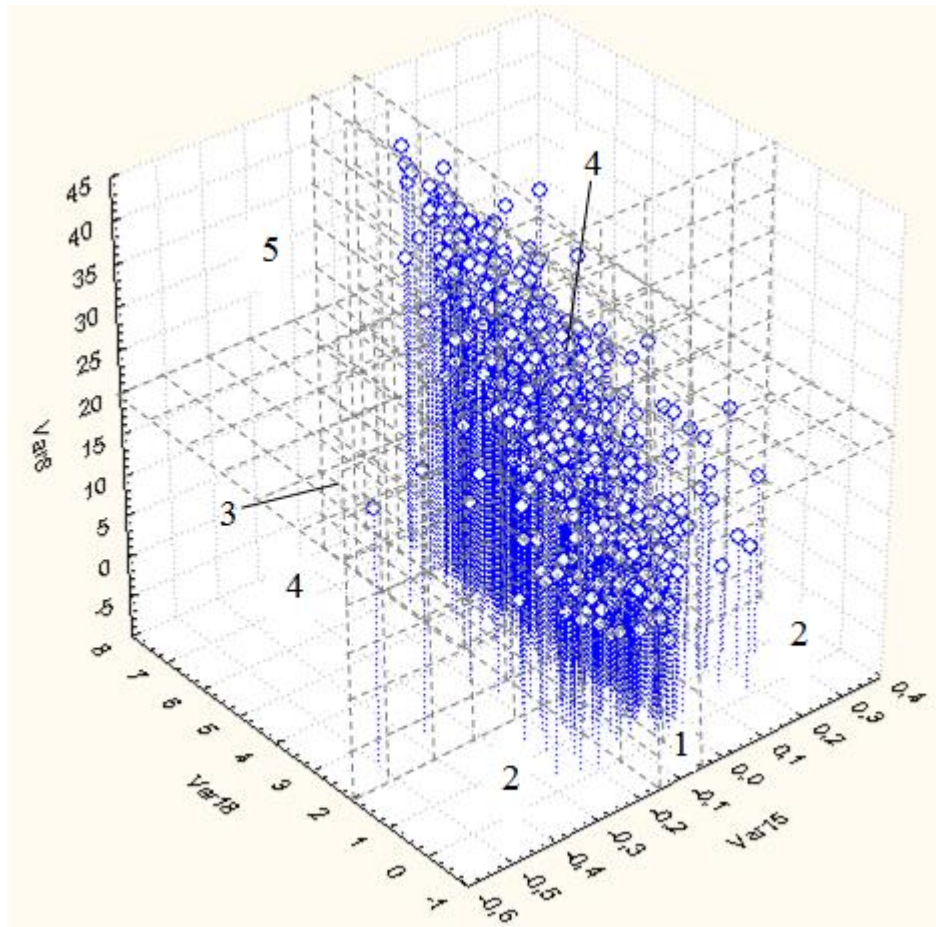


Рис. 2.4. Схема розподілу вихідних даних основних апріорних ознак температурних збурень на півдні України за 10 років спостережень за класами Var8 – максимальне значення температури на ділянці, °C; Var15 – коефіцієнт b лінійного тренду $a+b \cdot t$, °C/год.; Var18 – амплітуда гармонічної складової, °C; 1, 2, 3, 4 та 5 – позначення областей у просторі координат Var8, Var15 та Var18, обмежених площинами, до яких потрапили об'єкти 1-го, 2-го, 3-го, 4-го та 5-го класів відповідно

Отже, до 1 класу температурних збурень відносяться такі об'єкти, які є ділянками стаціонарного випадкового процесу і характеризуються значеннями сталого математичного сподівання, тобто лінійним трендом, паралельним вісі часу (рис. 2.5).

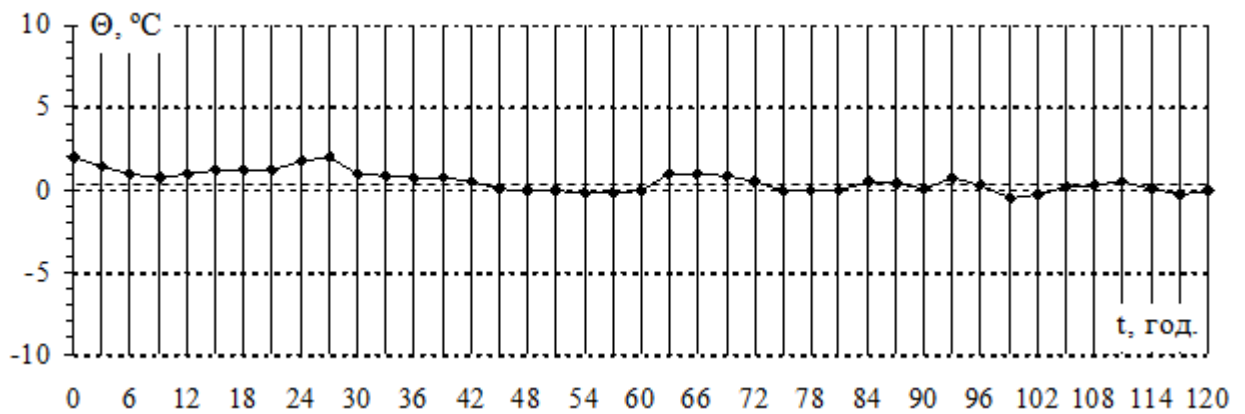


Рис. 2.5. Зміни температурних збурень у часі, що вважаються реалізаціями стаціонарного випадкового процесу із сталим математичним сподіванням (1 клас)

Існують такі ділянки змін збурень температури, що характеризуються змінним математичним сподіванням. Крім того, вказані зміни завжди апроксимуються прямими лініями (рис. 2.6, 2.8). Другий клас температурних збурень поєднує ділянки із випадковими коливаннями та змінним математичним сподіванням (рис. 2.6).

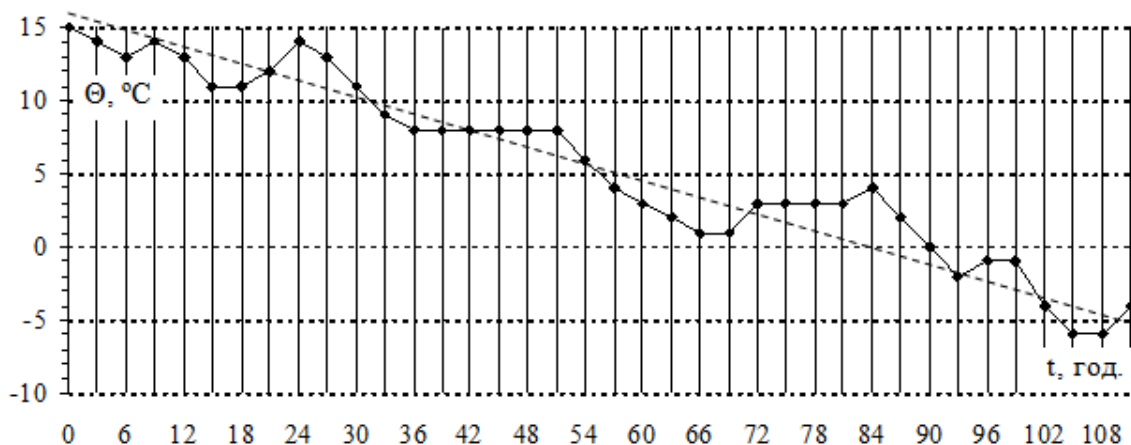


Рис. 2.6. Зміни температурних збурень у часі, які слід вважати реалізаціями стаціонарного випадкового процесу із змінним математичним сподіванням (2 клас)

До третього класу відносяться такі ділянки, де до випадкових складових додається гармонічна, яка виникає під дією регулярних добових змін температури (рис. 2.7).

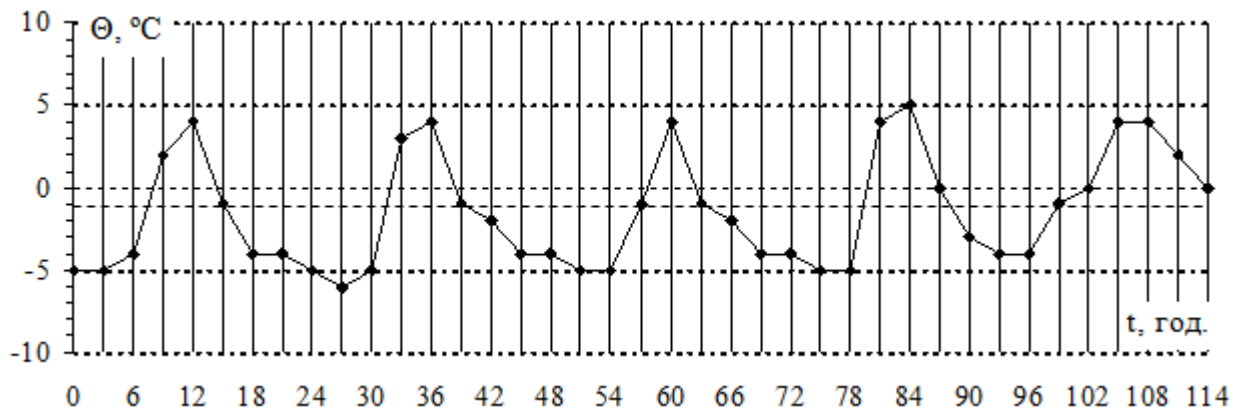


Рис. 2.7. Зміни температурних збурень у часі, які, крім випадкової, мають детерміновану складову з постійним добовим періодом і усередненою амплітудою коливань, сталим математичним сподіванням (3 клас)

До четвертого класу належать ділянки, які характеризуються змінним математичним сподіванням, випадковими коливаннями та наявністю гармонічних складових (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Зміни температурних збурень у часі, що вважаються реалізаціями стаціонарного випадкового процесу із періодичними коливаннями та змінним математичним сподіванням (4 клас)

І нарешті, 5-ий клас збурень, який характеризується лише значеннями температури і не залежить від характеру її зміни. Він визначається залежно від кросу птиці, конструктивних особливостей і потужностей технічних пристроїв системи керування. У такого класу збурень визначальним є

значення максимальної температури ділянки збурень. При появі таких ділянок усі виконавчі пристрої встановлюють максимальну потужність, і це є єдиною так званою стратегією керування. Тут і надалі під стратегією керування розуміється сукупність керуючих дій у системі для досягнення певної мети, у нашому випадку – максимального прибутку при виробництві курячих яєць.

Варто зауважити, що серед реалізацій температурних збурень за зазначені 10 років мають місце ділянки переходу, на яких за порівняно короткий час (5...10 год.) трапляються значні зміни температури (5...15 °C), які не можна віднести до жодного з перелічених класів. Тому до описаної вище системи образів додамо ще один клас під назвою «Нерозпізнаний образ». Проте такі ділянки становлять не більше 2 % усього часу. Упродовж цих проміжків доцільно реалізовувати стратегію керування у вигляді стабілізації температури повітря на рівні максимальної продуктивності біологічного об'єкта.

Однією з робочих ознак кожного образу класів є середнє значення температури повітря, значення якого у суміжних образах відрізняється на 1°C. Враховуючи можливі зміни температури на даній території за цим показником кожний клас буде мати 45 образів. Але при однаковому середньому значенні температури можливі різні флуктуації й різна залежність появи цих флуктуацій.

Для визначення ймовірності появи різних флуктуацій проаналізовано понад 500 кореляційних функцій різних ділянок, які показали, що за величиною флуктуацій ділянки можуть бути віднесені до двох основних груп. Перша група характеризується незначними відхиленнями, які при $\pm 2\sigma$ (σ – середньоквадратичне відхилення) залишаються в межах, менших ніж ± 3 °C (у середньому ± 2 °C). Друга група з досить значними відхиленнями: 2σ становить у середньому ± 5 °C. Ймовірності появи відхилень першої і другої груп становлять відповідно 0,65 і 0,35. Що стосується зміни залежності появи флуктуацій, то за цим показником поділяти образи немає необхідності. Залежність появи флуктуацій визначається коефіцієнтом у показнику степеня

α в формулах (2.11, 2.12). Найбільші значення цього показника не перевищують 0,524, а це значить, що залежність зміни температурних збурень зникає приблизно через 17 год., тоді як у пташнику ця залежність зникає не пізніше, ніж через 1 год. навіть при мінімальному повітрообміні.

Таким чином, кожен з чотирьох класів повинен складатись з 90 образів, які характеризуються середнім значенням температури і величиною дисперсії флуктуацій. Останній клас має тільки один образ, який характеризується максимальною температурою $\theta_{max}=20$ °С. Усього – 361 образ, що описує усі можливі збурення. Для класів з відмінними від нуля детермінованими складовими, крім статистичних характеристик, повинні бути визначені ще й параметри детермінованих складових, як-от амплітуда регулярних коливань та коефіцієнти лінійного тренду.

Одним із найважливіших параметрів при прогнозуванні природних коливань температури повітря є довжина реалізації температурних змін, характеристики якої можна оцінити з необхідною точністю. Прогнозування на короткі проміжки часу або взагалі миттєві значення збурень не дозволяють застосовувати значну кількість можливих стратегій керування, з яких вибирається найбільш ефективна. Єдиною стратегією у цих випадках є стратегія стабілізації температурного параметра в технічному об'єкті на рівні, який забезпечує найефективніше керування. Тому бажано, щоб часовий відрізок прогнозованої ділянки температурної реалізації був якомога довшим.

Метеоспостереження показують, що кожна майбутня подія залежить від попередніх метеоумов, хоча ця залежність слабшає з подовженням інтервалу часу між послідовними подіями. Характерна особливість метеоподій полягає в їх прагненні з'являтися переважно групами, іншими словами, ізольована їх поява спостерігається рідко.

Введемо поняття стійкості метеоподій. Стійкість є проявом, так званої, метеорологічної інерції або тенденції атмосферної циркуляції до збереження свого стану. У роботі [2] наводяться приклади кількісної оцінки стійкості метеоподій за Бекконом та іншими дослідниками. Розглядається серія подій

як неперервна послідовність появи подій. Показано, що стійкість метеосистеми можна застосовувати для оцінки стійкості разом із довжиною серії подій. Передбачалось для розуміння ефекту стійкості розглянути число серій різної довжини, очікуваних в ряді, де стійкість відсутня. Однак, такий підхід не дозволив нам оцінити ймовірність появи серій різної довжини в реальних реалізаціях температурних полів.

Тому нами запропоновано дещо інший підхід до визначення появи серій з однаковими подіями. Вихідним для визначення серій є квартальна реалізація зміни температурного поля, тому що, по-перше, квартал має приблизно однаковий характер зміни температур, по-друге, його реалізація досить тривала, і вплив обривів температур в кінці кварталу майже не позначається на накладці різних серій, як це мало б місце, наприклад, на реалізації тривалістю 1 місяць. Після цього реалізація поділяється на ряд ділянок, кожна з яких характеризується приблизно постійним математичним сподіванням і коливаннями приблизно з однаковими показниками як за величиною, так і за точністю появи (додаток Б).

Кожна спостережувана ділянка є серією, що складається з певної кількості діб; при цьому кожна доба описується однаковими характеристиками. Дані про спостережувані ділянки наведені в табл. 2.1.

Далі визначається кількість серій по n діб, які укладаються в кожному спостережувану серію. Сума всіх серій по n діб заноситься до наступного рядка табл. 2.1. В останньому рядку таблиці визначається ймовірність появи кількості діб, яка належить сукупності діб в серіях з n діб.

Ймовірності появи кількості діб за 3 місяці спостережень у серіях по n діб

Показники	Серії з n діб																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Досліджуваний інтервал	жовтень, листопад, грудень																	
Спостережувані серії	0	2	0	4	3	3	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Кількість серій по n діб	92	44	25	19	11	8	4	4	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Ймовірність появи кількості діб в серіях з n діб	1	0,956	0,815	0,826	0,6	0,52	0,3	0,35	0,29	0,11	0,12	0,13	0,14	0	0	0	0	0

Для прийняття рішення з керування умовами утримання біологічних об'єктів, як уже відзначалось, бажано брати найтривалішу серію, але необхідно, щоб ймовірність кількості діб в цих серіях була досить значною. За даними табл. 2.1 очевидно, що це є серія з 4 діб.

Як показують розрахунки, ймовірність появи кількості діб у серіях з 4 діб завжди перевищує 0,7, тому для прийняття рішень з керування температурними параметрами у пташниках було прийнято 4-добову ділянку реалізації температурних полів.

2.2. Особливості прийняття рішень з керування енергетичними потоками

У процесі промислового утримання курей-несучок на пташник (об'єкт керування) визначальний (для системи керування виробництвом) вплив здійснюють зовнішні метеорологічні умови [20,25]. Як було показано вище, вони носять стохастичний характер і не можуть бути точно визначеними та передбаченими. Таким чином, у ході технологічного процесу доводиться

приймати керуючі рішення в умовах невизначеності. У такій ситуації статистичні ігри є основним підходом в теорії прийняття рішень, що було доведено А. Вальдом [8], якого вважають творцем сучасної теорії статистичних рішень.

Статистичні моделі представляють собою гру двох сторін (людини і природи) з використанням людиною додаткової статистичної інформації про стани природи. У широкому розумінні під «природою» розуміють сукупність невизначених факторів, які впливають на ефективність рішень, що приймаються. Такими чинниками можуть вважатися як навколишнє середовище, погодні умови у даному районі, так і умови ринку, які визначають попит на продукцію, обсяг перевезень, певне поєднання виробничих факторів тощо [3,8]. У даній системі керування під природою мається на увазі зовнішні метеорологічні умови, зокрема температура повітря як основний вид збурення на об'єкт керування.

Статистична гра (гра з природою) суттєво відрізняється від антагоністичної гри двох осіб з нульовою сумою, де виграш одного рівний програшу іншого [3]. Ситуація в грі з природою не має вираженого конфліктного забарвлення: ніхто нікому не протидіє. Природа не є розумним гравцем, який намагається вибрати для себе оптимальні стратегії. Цей гравець не зацікавлений у виграші. Невідомі умови (метеорологічні фактори) зовнішнього середовища залежать не від свідомої і активної протидії суперника, а від об'єктивної дійсності. Інша справа – людина, у даному випадку статистик. Вона переслідує мету виграти гру з уявним суперником, тобто з природою.

Гравець-природа не вибирає оптимальної стратегії, зате статистик повинен прагнути до визначення ймовірностей станів природи аби застосувати деяку оптимальну стратегію, яка дозволить отримати найбільший виграш або найменший програш [3]. Природа діє абсолютно випадково, можливі стратегії визначаються як її стани (у нашій системі керування –

реалізації температурних змін протягом часового інтервалу). Отже, основними відмінностями статистичної гри від стратегічної є такі:

- відсутність прагнення до виграшу у гравця-природи, тобто відсутність антагоністичного противника;
- можливість другого гравця – статистика виконати статистичний експеримент для отримання додаткової інформації про стратегії природи.

Варто зауважити, що статистиком або другим гравцем у нашому випадку є система керування із програмним забезпеченням, якій людина доручає здійснювати керуючі дії за розробленим алгоритмом.

Таким чином, теорія статистичних рішень є теорією проведення статистичних спостережень, їх обробки та використання [8], що було виконано у даній роботі для створення системи образів природних температурних збурень. Процес зміни температури повітря для певної території визначається повторюваними ситуаціями (безперервна послідовність (квазі)стаціонарних ділянок температурних змін), тому його усереднені характеристики володіють тенденцією до стабілізації, і з'являється можливість використання методів дослідження і прогнозування стаціонарних випадкових процесів, що було успішно застосовано для розробки системи керування. Запропонована методика дозволяє достатньо точно передбачити образ (тенденцію) зміни температури повітря протягом найближчих декількох діб. Таким чином вдається отримати деяку інформацію про можливі стратегії природи і частково усунути повну невизначеність появи температурних збурень. Проте обчислити імовірності появи стратегій природи (часових реалізацій температурних флуктацій), маючи дані десятирічних спостережень для території досліджуваного пташника, неможливо. Для цього необхідно проаналізувати принаймні сторічну статистику даного показника.

Гра з природою є парною матричною грою, описується матрицею, як і скінченна антагоністична гра [3,8]. Елементами такої матриці у даній системі керування є величини прибутків, які можна отримати при застосуванні

відповідних стратегій керування при появі тих чи інших стратегій природи. Детальне представлення матриці та її аналіз наведено далі.

Оскільки при передбаченні температурних збурень імовірності появи стратегій природи (чіткі представлення реалізацій змін температури повітря у часі) невідомі, для вибору оптимальних стратегій керування можна використовувати такі критерії: недостатньої підстави Лапласа, песимізму-оптимізму Гурвіца, Ходжа-Лемана, мінімаксного ризику Севіджа, максимаксу або максимінний критерій Вальда [3,8]. У зазначеній низці підходів від крайнього песимізму до нестримного оптимізму компромісним є критерій Гурвіца помірного оптимізму або узагальненого максимуму. Він рекомендує при прийнятті рішень не керуватися крайніми позиціями песимізму і оптимізму, а міру останнього вибирати виходячи із властивостей системи (у нашому випадку – це точність передбачення стратегій природи, особливості біологічного об'єкту, його здатність до адаптації до оточуючого середовища тощо). Тому для аналізу платіжної матриці гри з природою і вибору оптимальної стратегії керування при розробці системи було вибрано саме критерій Гурвіца. Механізм його функціонування описано нижче.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ В ПТАШНИКУ

3.1. Адаптивний контур системи керування: розпізнавання образів майбутніх температурних змін

Вибір найбільш ефективною стратегії керування при утриманні курей-несучок в першу чергу залежить від того, з якою точністю система керування здатна розпізнати можливі збурення, що будуть діяти на технічний об'єкт упродовж найближчих декількох діб.

Завдання алгоритму розпізнавання образів ділянок температурних збурень полягає у послідовному уточненні детермінованих та статистичних характеристик змін температури повітря зовні пташника, в якому утримуються біологічні об'єкти (кури-несучки).

Вихідні характеристики таких змін визначаються на основі прогнозу УГМЦ, який передбачає можливі коливання температури у нічні (верхня межа $\Theta_{н.в.}$ та нижня межа $\Theta_{н.н.}$ температури повітря в нічні години) та денні години доби (верхня межа $\Theta_{д.в.}$ та нижня межа $\Theta_{д.н.}$ температури повітря в денні години). Завдяки цій інформації розраховуються наближені (прогнозовані) значення математичного сподівання m_{Θ_n} та амплітуди коливань A_{Θ_n} температурних змін наступної доби.

$$m_{\Theta_n} = \frac{\Theta_{н.в.} + \Theta_{д.в.}}{4} + \frac{\Theta_{д.н.} + \Theta_{н.н.}}{4}. \quad (3.1)$$

$$A_{\Theta_n} = \frac{\Theta_{д.н.} - \Theta_{н.н.}}{4} + \frac{\Theta_{д.в.} - \Theta_{н.в.}}{4}. \quad (3.2)$$

Далі здійснюється порівняння прогнозованого математичного сподівання m_{Θ_n} із математичним сподіванням температурних змін поточної доби m_{Θ_d} . Якщо $(m_{\Theta_n} - 1)^{\rho} \leq m_{\Theta_d} \leq (m_{\Theta_n} + 1)^{\rho}$, слід вважати, що температурна ділянка продовжує відповідати образу, визначеному для попередньої доби.

Якщо ж прогнозовані значення m_{Θ_n} відхиляються більш ніж на 1 °С, вважається, що слід чекати на зміну температурного образу.

Алгоритм розпізнавання образів ґрунтується на порівнянні міри близькості L об'єкта (ділянки зміни температури повітря) ω з будь-яким із класів Ω_q , де $q = \overline{1, m}$ [30]. У нашій системі 5 класів, тому $m=5$. За міру близькості прийнято середньоквадратичну віддаль (виражену в °С) між об'єктом ω і сукупністю об'єктів $\omega_{q1}, \omega_{q2}, \dots, \omega_{qk_q}$, що належать класу Ω_q (k_q – кількість образів (об'єктів) класу Ω_q):

$$L(\omega, \Omega_q) = \sqrt{k_q^{-1} \sum_{k=1}^{k_q} d^2(\omega, \omega_{qk})}. \quad (3.3)$$

Рішення про віднесення об'єкта ω до класу Ω_q приймається, якщо:

$$L(\omega, \Omega_q) = \min L(\omega, \Omega_i), \quad (3.4)$$

де $i = \overline{1, m}$.

Далі визначається образ визначеного класу Ω_q , який найточніше описує об'єкт ω , шляхом порівняння міри близькості (середньоквадратична віддаль, виражена у °С) l останнього з усіма об'єктами $\omega_{q1}, \omega_{q2}, \dots, \omega_{qk_q}$, що належать класу Ω_q :

$$l(\omega, \omega_{qk}) = \sqrt{r_q^{-1} \sum_{r=1}^{r_q} d^2(\xi_r, \xi_{qr})}. \quad (3.5)$$

ξ – робоча ознака образів, r_q – кількість робочих ознак у нашій системі образів.

Рішення про вибір образу ω_{qk} класу Ω_q приймається, якщо:

$$l(\omega, \omega_{qk}) = \min l(\omega, \omega_{qj}), \quad (3.6)$$

де $j = \overline{1, k_q}$.

Значення ознак образів визначаються наступним чином. Приблизне значення дисперсії обчислюється за формулою:

$$D_{\Theta_n} = (A_{\Theta_n})^2. \quad (3.7)$$

Значення коефіцієнта $\alpha = 0,2$ є усередненою величиною, отриманою при дослідженні температурних збурень за останні десять років (2012-2022 рр.).

Для образів третього класу дисперсія випадкової складової $D_{\Theta_n} = 4(^{\circ}\text{C})^2$, що отримано шляхом аналізу численних спостережень природних температурних реалізацій збурень. Значення $\varphi_{\Theta_n} = \pi$, коефіцієнти $\alpha \cong 0,2$, $\beta \cong 0,5$.

Для визначення моменту появи прогнозованого образу необхідно зафіксувати множину значень температури, які відповідають образу. Для образів першого класу до такої множини відносяться температури, які лежать між значеннями $[(m_{\Theta_n} - 1,5A_{\Theta_n}) \dots (m_{\Theta_n} + 1,5A_{\Theta_n})]$. Третій клас характеризується більш широким діапазоном зміни температури: $[(m_{\Theta_n} - A_{\Theta_n} \pm 2^{\circ}\text{C}) \dots (m_{\Theta_n} + A_{\Theta_n} \pm 2^{\circ}\text{C})]$. До п'ятого класу належать образи, максимальні значення температур яких перевищують $+20^{\circ}\text{C}$.

Початком дії прогнозованого образу слід вважати момент, коли датчик моніторингу зовнішньої температури буде фіксувати значення температур із зазначених множин протягом 3 год.

Якщо зміна погодних умов здійснюється не з такими параметрами, які прогнозує УГМЦ (що за нашими спостереженнями може відбутись із дуже малою ймовірністю – $p < 0,001$), і при цьому за 3 год. характеристики встановлюються на певному рівні з відхиленнями, що не перевищують $\pm 2^{\circ}\text{C}$, визначається математичне сподівання за вимірними значеннями температури за 3 год., а процес знаходження образу виконується за алгоритмом першого етапу розпізнавання образів.

За відсутності встановлення температури повітря за 3 год. від початку змін температурна реалізація вважається повністю невизначеною. У такому випадку залежно від абсолютних значень зовнішньої температури вибирається одна із трьох стратегій керування. При значеннях температурних збурень від -5 до $+18^{\circ}\text{C}$ здійснюється стабілізація температури у пташнику

на рівні $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. При температурних збуреннях вище $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ забезпечується максимально можливий повітрообмін. Коли значення зовнішніх температур нижчі $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ постійний повітрообмін за рахунок вентиляторів припиняється і здійснюється періодичне включення одного центрального вентилятора на стелі протягом 2 год. на добу в денні години.

Подальше уточнення характеристик температурних ділянок здійснюється на основі обробки даних вимірів зовнішньої температури через кожну годину упродовж 20 год. За результатами вимірів визначається математичне сподівання $m_{\Theta_{20}}$, кореляційна функція і такі параметри: дисперсія D , показники α і β , за якими уточнюється температурний образ, що надійшов. Для образів, що належать до другого та четвертого класів, на початку визначають амплітуду і фазу періодичної складової. Розрахунок статистичних характеристик виконується для випадкового процесу, який є різницею між виміряними значеннями температури та дискретною складовою – періодичною залежністю. Уточнення образів здійснюється за значеннями амплітуди A , дисперсії D та показниками α і β . На цьому етапі розпізнавання образів ще не вистачає інформації про зміни математичного сподівання реалізації температурної ділянки і тому вважається, що образи відносяться лише до першого, третього і п'ятого класів. При цьому образи відносяться до п'ятого класу лише у тому випадку, коли максимальне значення перевищує $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Остаточні характеристики образу визначаються на третьому етапі розпізнавання, коли аналізуються результати вимірювань зовнішньої температури через кожну годину протягом 48 год. Розраховуються та порівнюються математичні сподівання за перші та наступні 24 год. ($m'_{\Theta_{20}}$ та $m''_{\Theta_{20}}$). Якщо різниця між ними не перевищує $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, визначається математичне сподівання за 48 год. ($m_{\Theta_{40}}$), а образ відноситься лише до першого або третього класів. При різниці між зазначеними математичними сподіваннями

більше 1 °С образи слід відносити до другого або четвертого класів, коли зміна математичного сподівання в часі описується лінійною залежністю:

$$m_{\Theta} = \Theta_{\text{поч.}} + kt, \quad (3.8)$$

параметри якої визначаються використовуючи наступний критерій:

$$\Delta m_{\Theta} = \sum_{i=0}^{N-1} [\Theta_i - (\Theta_{\text{поч.}} + ki)]^2 \Rightarrow \min, \quad (3.9)$$

де N – тривалість температурної ділянки (48 год.), кожне щогодинне значення з якої – Θ_i .

Решта характеристик образів розраховуються аналогічним чином, тобто так, як це виконувалось на другому етапі розпізнавання образів.

Статистичним характеристикам, які визначають вид випадкового процесу, відповідає нескінченна кількість різних реалізацій. Керуючі дії системи для однієї з реалізацій можуть виявитись неефективними при їхньому застосуванні для іншої реалізації. Поява тієї чи іншої реалізації виникає з певною ймовірністю. Очевидно, що для вибору найбільш раціонального керування, як це робиться в задачах для прийняття рішень в умовах статистично відомої невизначеності, необхідно знайти керування, яке дає максимум середньозваженого прибутку Q_i серед всіх можливих керувань.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n P_j \cdot q_{ij} \rightarrow \max, \quad (3.10)$$

де P_j – ймовірність появи j -ої реалізації зміни температури; q_{ij} – прибуток при i -ому керуванні для j -ої реалізації; Q_i – середньозважений прибуток при i -ому керуванні для всіх можливих реалізацій.

Визначення можливих реалізацій та ймовірність їхньої появи є досить складною задачею, яка вимагає багаторічних спостережень [17].

Спостереження УГМЦ упродовж десяти років (2012-2022 рр.) дозволили побудувати методику визначення можливих реалізацій зміни температури та приймати їх за так звані стратегії природи при прийнятті керуючих рішень, що детально описано далі.

Для відтворення можливих реалізацій температурних збурень за даними статичними характеристиками, що давало б змогу прогнозувати збурення, використовувався метод формуючих фільтрів [10].

Це модель, яка формує випадковий процес $\theta(t)$ з білого шуму $v(t)$, приводить рівняння системи до стохастичного диференціального рівняння. Найчастіше це стохастичні диференціальні рівняння Іто:

$$\frac{dX(t)}{dt} + \alpha X(t) = AV(t) \text{ та } \frac{d^2X(t)}{dt^2} + \beta \frac{dX(t)}{dt} + \gamma X(t) = B \left[\frac{dV(t)}{dt} + \xi V(t) \right], \quad (3.11)$$

де $X(t)$ – стаціонарний випадковий процес із нульовим математичним сподіванням; $V(t)$ – білий шум із одиничною інтенсивністю; $\alpha, \beta, \gamma, \xi, A, B$ – сталі коефіцієнти, які визначаються із статистичних характеристик образів.

У зв'язку з тим, що випадкові процеси, які входять у диференціальне рівняння різних систем, завжди визначаються шляхом стохастичного оцінювання спостережень, будь-який випадковий процес з достатньою точністю може розглядатись як результат деякого лінійного перетворення рішення стохастичного диференціального рівняння. Для стаціонарних і таких, які можна привести до стаціонарних, випадкових процесів існує досить ґрунтовно розроблений метод знаходження стохастичного диференціального рівняння за відомими експериментальними характеристиками випадкових процесів.

Найпростіше визначається формуючий фільтр для скалярного стаціонарного процесу за раціональною спектральною густиною. Такими процесами є розглянуті нами ділянки температурних природних збурень, у яких спектральна густина є

$$S_{\theta}(\omega) = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}, \quad (3.12)$$

де $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ – поліноми від ω .

Відповідно до формул для кореляційних функцій (3.11, 3.12) спектральні густини таких випадкових процесів будуть відповідно

$$S_{\theta}(\omega) = \frac{D\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad (3.13)$$

$$S_{\theta}(\omega) = \frac{D\alpha}{2\pi} \left[\frac{1}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{1}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right] = \frac{\frac{D\alpha}{\pi} (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\alpha^2 + (\omega^2 + \beta^2)) \cdot (\alpha^2 + (\omega^2 - \beta^2))}. \quad (3.14)$$

Кожен з поліномів $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ може бути поданий у вигляді $P(\omega) = F(j\omega) \cdot F(-j\omega)$, а $Q(\omega) = H(j\omega) \cdot H(-j\omega)$.

Тоді $S_{\theta}(\omega) = \left| \frac{F(j\omega)}{H(j\omega)} \right|^2$, а передаточна функція формуючого фільтра:

$$W_{\theta}(s) = \frac{F(s)}{H(s)}. \quad (3.15)$$

Передаточна функція формуючого фільтра, яка відповідає рівнянню (3.11), буде

$$W_{\theta}(s) = \frac{\sqrt{\frac{D\alpha}{\pi}}}{\frac{1}{\alpha} s + 1}. \quad (3.16)$$

Стохастичне диференціальне рівняння, яке відповідає цьому формуючому фільтру:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \alpha\theta(t) = \sqrt{\frac{D\alpha}{\pi}} \cdot v(t), \quad (3.17)$$

де $v(t)$ – білий шум з інтенсивністю $\nu = 2\pi$.

Спектральній густині (3.14) відповідає передаточна функція формуючого фільтра

$$W_{\theta}(s) = \frac{\sqrt{\frac{D\alpha}{\pi(\alpha^2 + \beta^2)}} \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} s + 1 \right)}{\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} s^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} s + 1}, \quad (3.18)$$

а відповідне стохастичне рівняння:

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + 2\alpha \frac{d\theta(t)}{dt} + (\alpha^2 + \beta^2)\theta(t) = \sqrt{\frac{D\alpha}{\pi}} \cdot \left[\frac{dv(t)}{dt} + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cdot v(t) \right], \quad (3.19)$$

де $v(t)$ – білий шум з інтенсивністю $v=2\pi$.

Для вибору раціональної стратегії керування необхідно здійснити аналіз прогнозованих змін температурних збурень, які будуть діяти на пташник у найближчі 4 доби. Очевидно, що визначити точно майбутню зміну температури, яка буде однією з реалізацій випадкового процесу $\theta(t)$, неможливо. Нами пропонується відтворити ряд реалізацій, що будуть подібні дійсній реалізації у майбутньому і вибрати таку стратегію, яка дасть найкращі показники керування при дії будь-якої з відтворених реалізацій.

Відтворення здійснюється за допомогою пакету програм MATLAB. Структурну схему системи для відтворення реалізацій температурних збурень за характеристиками стаціонарних та квазістаціонарних ділянок показано на рис. 3.1.

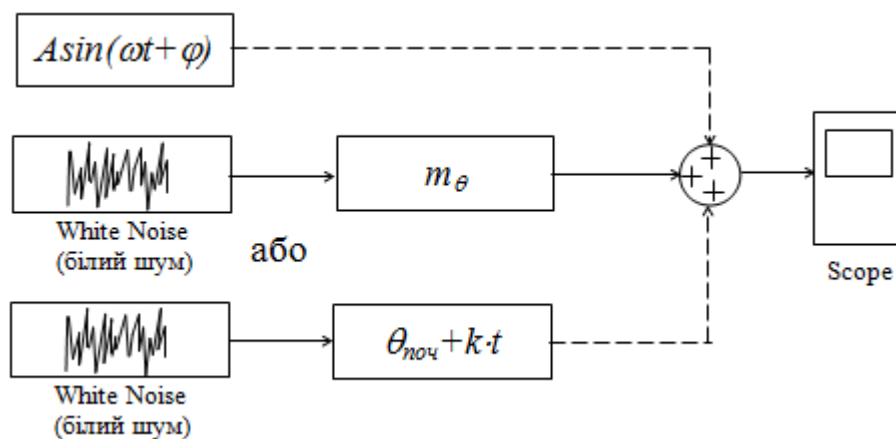


Рис. 3.1. Структурна схема для відтворення можливих реалізацій природних температурних збурень

Як приклад розглянемо процес відтворення зміни температури повітря, яка є реалізацією випадкового процесу з регулярною коливальною складовою (рис. 3.2). На рис. 3.2 крива 1 є дійсною зміною температури повітря, 2 – математичне сподівання, 3 – перша гармоніка при розкладанні кривої 1 в ряд Фур'є, 4 – різниця між значеннями кривої 1 і суми ліній 2 та 3.

Кореляційна функція різниці (крива 4, рис. 3.2) має вигляд, наведений на рис. 3.3 (1 – дійна кореляційна функція; 2 – апроксимовані значення кореляційної функції).

Порівняння реалізацій реальних температурних змін (рис. 3.2, крива 1) і відтворених за запропонованою методикою (рис. 3.4) показує їх достатньо задовільну ідентичність щодо періодичності відхилень та їх значенням.

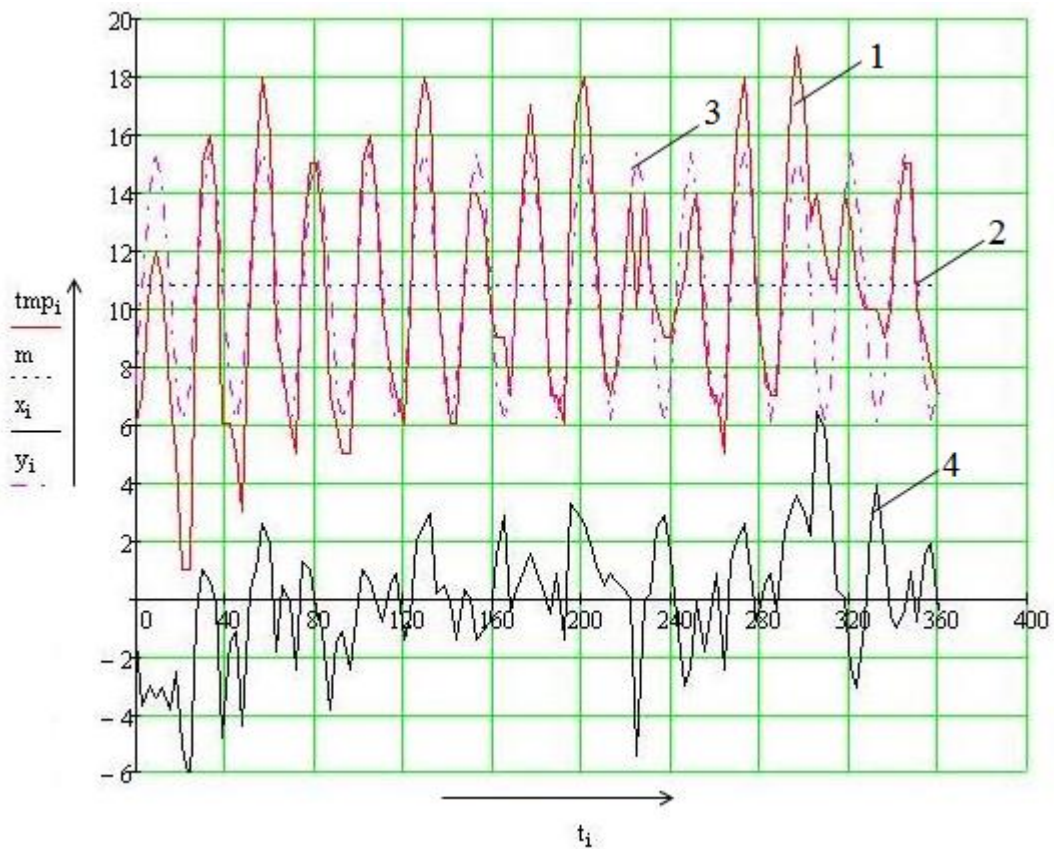


Рис. 3.2. Дійсна зміна температури повітря в часі з виділеною першою гармонікою при розкладанні її в ряд Фур'є

Отже, запропонований метод прогнозування температурних збурень за допомогою формуючих фільтрів забезпечує достатньо надійне відтворення реальних змін температурних природних збурень і може бути застосований при створенні баз даних систем керування умовами утримання курей-несучок і в цілому біологічних об'єктів сільськогосподарського призначення.

При усередненні реалізацій ділянок температурних збурень за часом (так, як це виконується під час аналізу ергодичних стаціонарних процесів) очевидно, що оцінки поточних значень імовірнісних характеристик будуть містити помилки двох видів: помилку зміщення, викликану зміною фактичних значень характеристик, що оцінюються на інтервалі усереднення, та випадкову

помилку, пов'язану із скінченним значенням часу спостережень. При збільшенні інтервалу усереднення перша складова має тенденцію до збільшення, у той час як друга компонента монотонно зменшується.

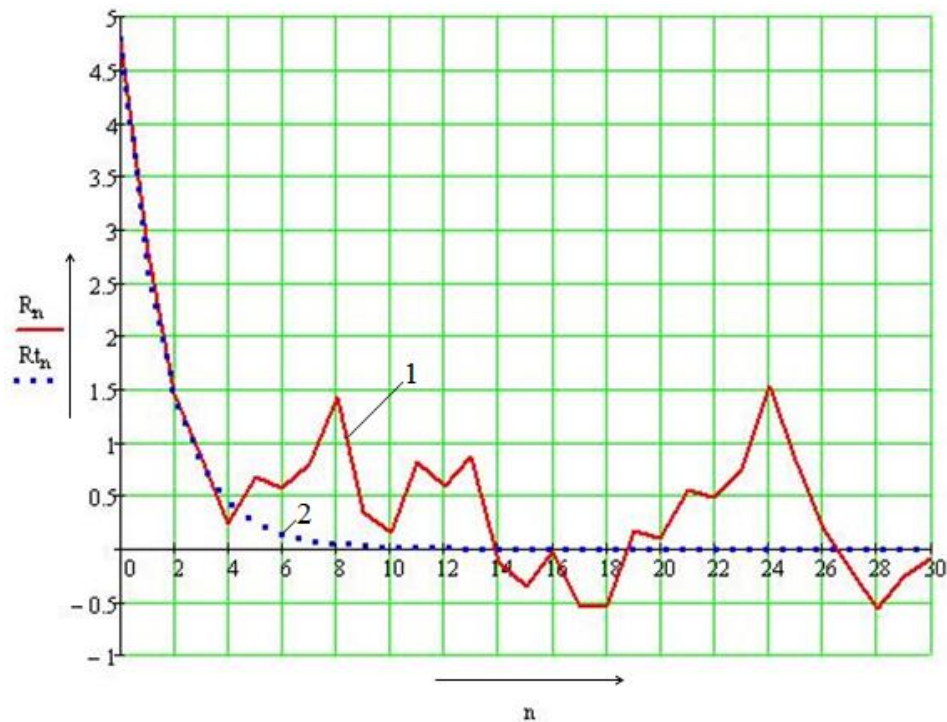


Рис. 3.3. Кореляційна функція випадкової складової зміни температури повітря

Порядок визначення такого параметра, як математичне сподівання, наведено у роботах [9], де показано, що його середньоквадратичне відхилення визначається формулою:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{2D_{\max}}{T} \tau_{\delta} + \left(\frac{m''_{\max} T^2}{24} \right)^2} + \delta, \quad (3.20)$$

де D_{\max} – максимальне значення дисперсії випадкового процесу; T – інтервал часу, на якому здійснюється усереднення; δ – будь-яка вибрана достатньо мала величина (найчастіше $\delta < 5\%$ від D_{\max}); τ_{δ} – інтервал часу, при якому значення кореляційної функції $|R_x(\tau)| < \delta$; m''_{\max} – максимальне за абсолютною величиною значення другої похідної від функції дійсного математичного сподівання процесу $m_x(t)$.

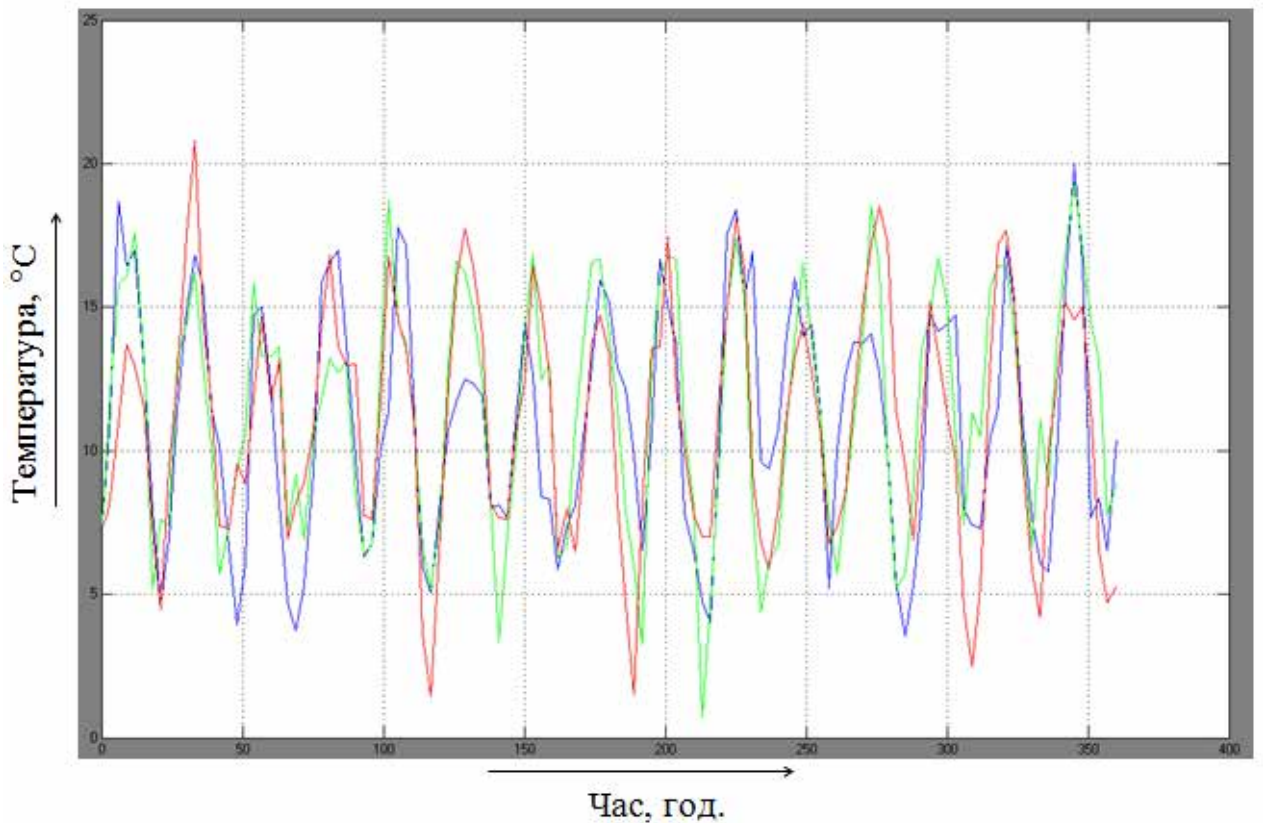


Рис. 3.4. Реалізації відтворених температурних збурень

Враховуючи, що вибрані нами ділянки температурних збурень мають зміни математичного сподівання процесу на інтервалі усереднення близькі до лінійної залежності, складова помилки від зміщення буде дуже незначною, і основна помилка буде викликана випадковою складовою. Тоді залежність $\sigma(t)$ може бути подана такою формулою [9]:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{2D_x T_x}{T}}, \quad (3.21)$$

де D_x – дисперсія стаціонарної випадкової ділянки реалізації температурних збурень; T_x – час, після проходження якого можна вважати, що кореляційні зв'язки між значеннями випадкового процесу припиняються.

Аналіз ділянок природних температурних збурень, які виділяються нами як образи, показав, що кожна ділянка може бути подана у вигляді суми трендів (періодичних або лінійних) та стаціонарних випадкових процесів із нульовим математичним сподіванням і кореляційними функціями, які відповідають сірим або рожевим шумам.

Численні дослідження статистичних характеристик цих шумів показують, що значення дисперсії (D_x) коливаються в межах від 0,3 до 6 ($^{\circ}\text{C}$)², а середні значення дисперсій становлять близько 2 ($^{\circ}\text{C}$)². Час, який показує незалежність появи значень випадкового процесу на апроксимованих характеристиках кореляційних функцій (T_x) коливається в межах від 2 до 10 год. Середні значення цього часу – 5 год.

Алгоритм розпізнавання образів передбачає три етапи уточнення параметрів кожного образу. На першому етапі, коли образ визначається за даними УГМЦ, помилки математичного сподівання можуть бути досить значними (від 1 до 3 $^{\circ}\text{C}$). На другому етапі, коли значення математичного сподівання є результатом обробки 24-годинних спостережень, середнє значення помилки, згідно формули (3.19), становить близько 1,2 $^{\circ}\text{C}$. На третьому етапі після обробки 48-годинних спостережень величина середньої помилки становить приблизно 0,8 $^{\circ}\text{C}$. Помилка визначення математичного сподівання середньостатистичної ділянки тривалістю 96 год. становить 0,5 $^{\circ}\text{C}$.

Разом із математичним сподіванням шляхом усереднення за часом будь-якої реалізації можна знайти й інші оцінки параметрів нестационарних процесів. Так, якщо випадковий процес є гауссівським, то для середнього квадрата сумарної помилки σ_R ординат кореляційної функції існує обмеження зверху:

$$\sigma_R(t) = \sqrt{\frac{4D_x^2}{T}(\tau_\delta + \tau) + 2\delta^2 + \frac{d_\tau^2}{9}}, \quad (3.22)$$

де d_τ – максимальне за абсолютною величиною значення $R_x(t + \tau, t)$ від лінійної функції змінної t в інтервалі її вимірів від 0 до $2T$.

Тоді помилка середньоквадратичного відхилення дисперсії буде визначатись формулою:

$$\sigma_D(t) = \sqrt{\frac{2D_x^2}{T}\tau_\delta + 2\delta^2 + \frac{d_\tau^2}{9}}, \quad (3.23)$$

де d_τ – максимальне відхилення функції $R_x(t, t)$ від лінійної функції змінної t в інтервалі зміни t , що має тривалість $2T$ при $\tau = 0$.

Враховуючи, що в цьому випадку, коли $m_x(t) = m_x = const$, $R_x(t, t)$ є прямою лінією, а відхилення від лінійної функції дорівнює нулеві, помилка для дисперсії може мати спрощений вигляд:

$$\sigma_D(t) \leq \sqrt{\frac{2D_x^2}{T} \tau_\delta + 2\delta^2}. \quad (3.24)$$

Тоді наближені усереднені помилки визначення середньоквадратичного відхилення дисперсії ділянок випадкового процесу на другому етапі розпізнавання образів після 24-годинної обробки спостережень будуть мати значення $1,41^\circ\text{C}$; на третьому етапі (після 48-ми год. спостережень) – 1°C , а при обробці спостережень для ділянки тривалістю 96 год. – $0,6^\circ\text{C}$.

Оцінка параметрів детермінованих періодичних складових температурних ділянок проводилась шляхом визначення амплітуди A та фази φ гармоніки $A \sin(\omega t + \varphi)$, проведеної між вимірними значеннями температури таким чином, щоб сума квадратів відхилень реальних значень від гармоніки була найменшою. Період коливань завжди був добовим, тому значення $\omega \cong 0,2617$ рад/год.

Оцінка точності визначення детермінованих періодичних складових природних температурних збурень проводилась шляхом порівняння значень амплітуди A та фази φ , визначених на етапах розпізнавання образів, з цими ж показниками, обчисленими для реальної ділянки температурних збурень.

Численні порівняльні розрахунки гармонічних параметрів для реальних температурних ділянок природних реалізацій із суттєвими змінами температури в нічні та денні години показали, що відхилення A і φ на етапах розпізнавання від амплітуди A_0 і фази φ_0 дійсної ділянки, яка бралась для розрахунку, або були досить незначними (не перевищували $0,5^\circ\text{C}$), або були відсутніми взагалі.

Для прийняття рішення із вибору оптимальної стратегії керування необхідно здійснити процедуру, яка носить назву відтворення образу. Ця процедура, як уже зазначалося вище, виконується за допомогою теорії формуючих фільтрів у програмному середовищі MATLAB Simulink. Оцінка

відтворення для прийняття рішень в умовах невизначеності та частковому усуненні даної невизначеності дозволяє значно збільшити можливості зведення до максимуму показника ефективності процесу утримання біологічних об'єктів.

На першому етапі розпізнавання образів, який здійснюється на основі даних УГМЦ, часто мають місце досить значні відхилення від реальної реалізації зміни температури. Так, на рис. 3.5 подано 10 ділянок змін температури повітря середньою тривалістю близько 4 діб, які зафіксовані у березні-квітні 2020 р., і які в часі мають приблизно однакові характеристики.

Крім того, на цьому рисунку показано межі можливих змін температури (області між синусоїдами), передбачених УГМЦ для початкових 24 год. Порівняння характеристик реального образу для перших 24-ох год. і спрогнозованого УГМЦ показує, що вони відповідають один одному приблизно у 50...60% випадків. Незважаючи на те, що 40...50% прогнозованих характеристик не співпадають з реальними змінами температур, значення їх характеристик відповідають сусіднім образам, для яких стратегії керування майже ідентичні стратегіям керування для реальних збурень.

Враховуючи, що через 24 год. спостережень параметри образів температурних збурень стають більш достовірними, втрати від невизначеності за даними УГМЦ не бувають досить суттєвими.

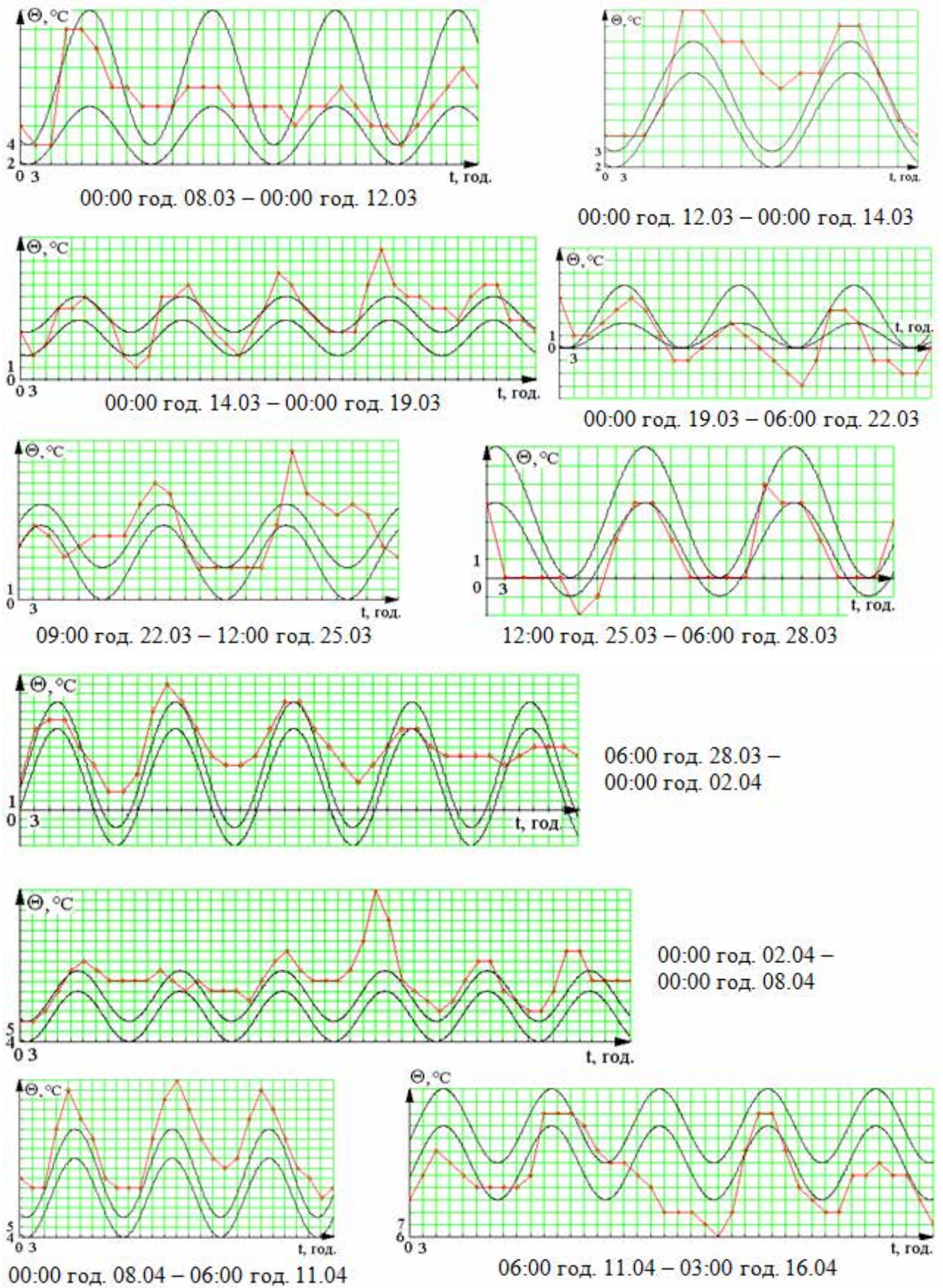


Рис. 3.5. Прогнозовані температурні зміни та реальні стаціонарні ділянки у березні-квітні 2020 р.

Відтворення образів, які не мають детермінованих складових, базується лише на значеннях статистичних характеристик: математичного сподівання та кореляційної функції. Ці процеси найчастіше відносяться до сірого шуму. На графіках додатку Д (а, б, в) проілюстровано процедуру відтворення образу тривалістю 90 год. із постійним математичним сподіванням на рівні $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ з кореляційною функцією $R_{\Theta}(\tau) = De^{-\alpha|\tau|}$. Залежно від етапу розпізнавання показники, що характеризують зміну температури в часі, або коливаються в незначних межах (математичне сподівання: $0,2 \dots 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, дисперсія: $0,1 \dots 0,3\text{ }(^{\circ}\text{C})^2$, коефіцієнт, що визначає кореляційну залежність появи наступних значень температури: $0,1 \dots 0,7$), або повністю співпадають. При цьому навіть візуально спостерігається, що після обробки результатів 48-годинних спостережень відтворені реалізації нічим не відрізняються від фактичної реалізації (на графіках додатку Д (а, б, в) зображена товстою кривою) після обробки результатів 90-годинних спостережень.

Для образів, які відносяться до третього та четвертого класів, характерними показниками є амплітуда A_{Θ} та період T_{Θ} , які зашумлені випадковими флуктуаціями. При цьому для ділянок тривалістю τ оцінками є довірчі інтервали для усереднених значень амплітуди та періоду, які мали місце за час τ .

При відтворенні таких образів оцінку точності відтворення слід здійснювати за допомогою довірчих інтервалів. Реалізації, які продукуються за допомогою блок-схем у середовищі MATLAB Simulink, мають гауссівський розподіл температур у будь-якому перетині сукупності реалізацій. Для перевірки цього факту нами проведено визначення розподілу частот температурних амплітуд при 100-кратному відтворенні образу. Розподіл ймовірності появи амплітуд та апроксимована крива густини розподілу ймовірностей наведені на рис. 3.6.

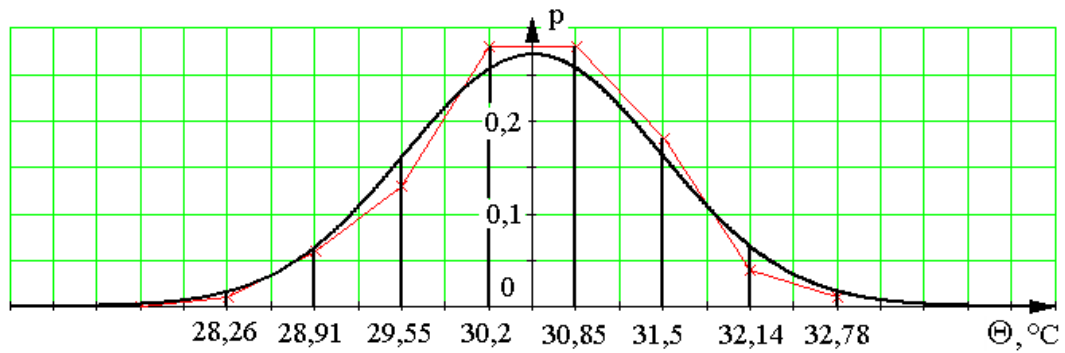


Рис. 3.6. Розподіл ймовірності появи значень температури у перетині випадкового процесу, відтвореного у середовищі MATLAB Simulink

Перевірка відповідності експериментальних даних нормальному закону розподілу проводилась за критеріями Пірсона χ^2 та Колмогорова і показала повну відповідність теоретичних та експериментальних даних (за критерієм Пірсона – 0,75; Колмогорова – 1,0).

Для визначення параметрів випадкового процесу з нормальним розподілом (для показника a) маємо:

$$u = \frac{\bar{x} - a}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}, \quad (3.25)$$

де u – нормально розподілена величина; σ – середньоквадратичне відхилення показника a для генеральної сукупності; n – кількість спостережень; \bar{x} – середнє значення показника за результатами спостережень.

У зв'язку із тим, що σ генеральної сукупності невідома, визначення характерного показника a виконувалось за допомогою t -розподілу (розподілу Стьюдента):

$$t = \frac{\bar{x} - a}{\frac{s}{\sqrt{n}}}, \quad (3.26)$$

де \bar{x} – середнє значення показника за експериментальними даними; n – кількість спостережень; s – вибіркова оцінка середньоквадратичного відхилення показника x .

У цьому випадку довірчий інтервал для будь-якого параметра a буде мати вигляд:

$$\bar{x} - t_{q,n-1} \frac{s}{\sqrt{n-1}} < a \leq \bar{x} + t_{q,n-1} \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \quad (3.27)$$

де $t_{q,n-1}$ – значення показника t , яке відповідає заданому рівню ймовірності $(p = 1 - \frac{q}{100})$ і числу ступенів свободи $k = n - 1$.

$$\frac{q}{100} = 1 - 2B_k \int_0^t \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}} dt, \text{ а } B_k = \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)\sqrt{k\pi}}. \quad (3.28)$$

Для образів другого та четвертого класів основними показниками є амплітуда A та період T детермінованої гармонічної складової образів, а також зміна математичного сподівання для реалізацій четвертого класу.

Для прикладу визначення довірчого інтервалу усередненого значення амплітуди і періоду при відтворенні випадкового процесу, що відноситься до третього класу, розраховані за формулою (3.27) значення довірчих інтервалів A і T для реалізації тривалістю 50 год. (графіки д, е, ж додатку Б).

На другому етапі розпізнавання образів після 20-годинних спостережень відтворення у вигляді 11-ти реалізацій мало вигляд, показаний на графіку д додатку Б. Підрахунки усередненого значення періоду T показали, що його довірчий інтервал становить $8,81 < T < 15,26$ з надійністю 0,9998, а амплітуди $A - 1,86 < A < 4,94$ з надійністю 0,98.

Після 48-годинних спостережень (графік е додатку Б) довірчі інтервали стали значно вужчими. Так, інтервали T становили $9,94 < T < 14,3$ з надійністю 0,995, амплітуди – $2,89 < A < 4,13$ з надійністю 0,88.

Довірчі інтервали амплітуди і періоду всієї 50-годинної ділянки (графік ж додатку Б) майже не відрізняються від цих параметрів при 48-годинному спостереженні. Так, амплітуда мала ті ж самі межі $2,89 < A < 4,13$ при надійності 0,88, межі періоду коливаний дещо зменшились і становили $10,77 < T < 13,67$ при 97 % надійності.

Для оцінки процедури відтворення образів, які представляють четвертий клас, розглянемо температурну ділянку тривалістю 60 год. з постійно зростаючою середньою температурою (графіки з, и, к додатку Б). Для образів четвертого класу основними параметрами є амплітуда A , період T коливань, початкове значення температури Θ_n і тангенс кута нахилу $tg\alpha$ прямої, яка відповідає зміні середнього значення температури ділянки.

На другому етапі (після 24-ох год. спостережень) були отримані такі значення довірчих інтервалів для усереднених значень: за амплітудою – $2,72 < A < 4,88$ з надійністю 0,997; за періодом – $11,42 < T < 16,28$ з надійністю 0,99997; $\Theta_n = 7,8$ °C; $tg\alpha = 0,11$.

Після аналізу 48-годинних спостережень довірчі інтервали усереднених значень параметрів гармонічних коливань набули таких значень: за амплітудою – $2,743 < A < 4,45$ з надійністю 0,997; за періодом – $11,97 < T < 13,59$ з надійністю 0,98; параметри математичного сподівання – $\Theta_n = 7,6$ °C, $tg\alpha = 0,12$.

Довірчі інтервали для всієї реальної реалізації тривалістю 60 год. мають значно вужчі границі при забезпеченні набагато меншої довірчої ймовірності. Значення амплітуди лежать в межах $3,245 < A < 4,105$ з надійністю 0,96; за періодом – $11,78 < T < 12,97$ з такою ж надійністю 0,96; параметри математичного сподівання – $\Theta_n = 7,4$ °C, $tg\alpha = 0,14$.

3.2. Адаптивний контур системи керування: прийняття рішень з керування в умовах невизначеності

Як було зазначено вище, для розробки підсистеми прийняття рішень нами використано ігровий підхід. Якщо розглянути систему керування з її прагненням отримати максимальний прибуток у процесі виробництва з однієї сторони, а природу з її температурними змінами, які точно визначити неможливо, з іншої сторони, то взаємодію цих сторін можна описати як гру,

причому гру з природою або статистичну гру [8,9]. Гра з природою (статистична гра) – це безкоаліційна парна матрична гра в чистих стратегіях. У процесі прийняття керуючого рішення система володіє інформацією, що навколишнє середовище може прийняти один із кількох станів – стратегій природи (реалізацій температурних змін у часі) і стикається з невизначеністю відносно того конкретного стану, якого набуде природа протягом найближчого часу. Гра з природою описується платіжною матрицею H (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Платіжна матриця гри з природою у підсистемі прийняття керуючих рішень

A_i	P_j			
	P_1	P_2	...	P_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

У даній грі рядки A_i – стратегії керування системи, а стовпці P_j – стратегії природи (можливі реалізації змін температури повітря). Елементи платіжної матриці a_{ij} – прибуток від виробництва курячих яєць, який можна отримати при застосуванні стратегії керування A_i під час реалізації стратегії природи P_j . У нашій системі значення a_{ij} визначається за формулою:

$$a_{ij} = C_{я} N - (C_{к} M + C_{е} E), \quad (3.29)$$

де $C_{я}$, $C_{к}$ і $C_{е}$ – вартість відповідно курячого яйця, одиниці корму та 1 кВт·год. електроенергії; N – кількість яєць, знесених протягом відпрацювання стратегії природи P_j ; M – кількість корму, спожитого всіма курми-несучками у даному пташнику за цей же період; E – кількість кВт·год. електроенергії, витраченої упродовж відпрацювання стратегії керування A_i .

У ході прийняття рішень з керування процесом утримання курей-несучок можливі стратегії природи слід вибрати з десяти реалізацій певного температурного образу, відтворених через формуючий фільтр за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink. Для вибору стратегій природи

кожну з десяти реалізацій слід подати у вигляді функцій розподілення ймовірностей появи тих чи інших значень флуктуацій, що дає можливість більш наочно і точно визначити, які з реалізацій відповідають максимальним, середнім і найменшим відхиленням. Здійснюємо апроксимацію цих трьох функцій розподілення за допомогою функцій розподілення, які відповідають нормальному закону розподілення. Подані таким чином три реалізації і є можливими стратегіями природи.

Представлення у такому вигляді стратегій природи, а також відсутність реакцій технологічних показників якості БО на нетривалі флуктуації, що було доведено вище, дало можливість побудувати ефективні стратегії керування. Для порівняння з іншими стратегіями було залишено традиційну стратегію стабілізації температури (A_4) на рівні максимальної несучості. Крім того, було запропоновано чотири основні стратегії: постійний повітрообмін, коли математичне сподівання відповідає температурі на рівні максимальної несучості (A_3); три інших стратегії (A_1 , A_2 та A_5) забезпечують у кожній із стратегій природи математичне сподівання на рівні максимальної несучості шляхом компенсації деякої частини відхилень флуктуацій, які знаходяться нижче рівня математичного сподівання.

Якщо перші дві стратегії очевидні, то реалізація трьох останніх стратегій потребує додаткових пояснень.

На рис. 3.7 показано нормалізовану функцію розподілення флуктуацій збурень $F^*(x)$ (крива 1) та густину розподілення ймовірностей появи флуктуацій $f(x)$ (крива 2).

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2}{2}} \cong 0,4e^{-0,5x^2}, \quad (3.30)$$

де x – значення температурних відхилень від середнього значення.

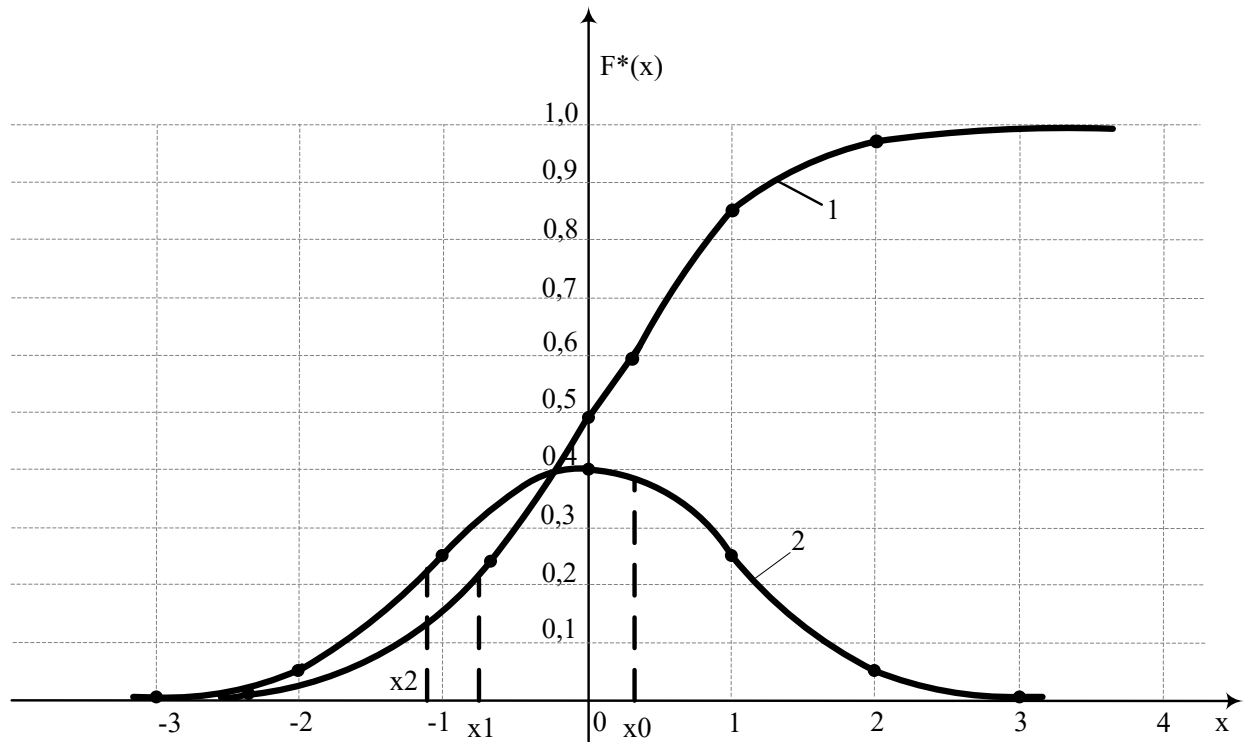


Рис. 3.7. Реалізація стратегії керування, яка забезпечує математичне сподівання на рівні максимальної несучості шляхом компенсації флуктуацій збурень

Змістити значення $x=0$ у сторону збільшення до x_0 можна за рахунок компенсації частини флуктуацій від $-\infty$ до x_1 . Тоді

$$F(x_1) = 1 - 2F(x_0). \quad (3.31)$$

Наприклад, якщо $x_0=0,33$ (як показано на рис. 3.7), то $x_1=-0,05$ [30].

Таким чином, завдання стратегії керування полягає у компенсації частин флуктуацій, які виходять за межі $x_1 \leq -0,15$, шляхом зменшення продуктивності вентиляторів пташника.

Вибір оптимальної стратегії керування здійснюється шляхом аналізу платіжної матриці за допомогою критерію Гурвіца. Він забезпечує отримання середньозваженого прибутку з невеликими ризиками, виходячи з умови:

$$Hu = \max_i (\chi \max_j a_{ij} + (1 - \chi) \min_j a_{ij}), \quad (3.32)$$

де χ – коефіцієнт оптимізму, який може набувати значень від 0 до 1. При $\chi=0$ даний критерій вироджується у критерій крайнього песимізму Вальда (принцип обережності і перестраховування), а при $\chi=1$ – в максимумний критерій абсолютного оптиміста. Досить висока точність прогнозування і відтворення образів температурних збурень (стратегій природи) навіть на першому етапі алгоритму розпізнавання, а також описана вище суттєва здатність птиці до адаптації до оточуючого середовища дає підстави надавати коефіцієнту оптимізму значень більших за 0,5, тобто із впевненістю сподіватися на кращий результат прийняття рішення. У запропонованій системі керування прийнято значення $\chi=0,75$. Ефективність такого рішення підтверджена експериментальними дослідженнями системи керування у виробничих умовах. Підвищення коефіцієнта до 0,8 і зниження до величини меншої 0,7 призводить до зростання втрат внаслідок вибору менш ефективних стратегій керування у приблизно 10% випадків протягом усього періоду утримання птиці.

Алгоритм вибору реалізується за такою послідовністю:

1) з використанням бази даних блоку прийняття рішень для вибраної блоком розпізнавання образів і відтвореної стратегії природи розраховується платіжна матриця у фізичних одиницях;

2) на основі даних про поточні значення вартості яєць, кормів і енергетичних складових проводиться розрахунок елементів платіжної матриці;

3) на основі критерію Гурвіца шляхом аналізу платіжної матриці здійснюється вибір найбільш ефективної стратегії керування, яка за допомогою блоку керування передається на системний контролер, який у свою чергу відпрацьовує цю стратегію на виконавчих механізмах технічної складової системи керування [16].

Розглянемо приклад вибору оптимальної стратегії керування за наведеною методикою для температурного збурення у вигляді 8-добової ділянки стаціонарного випадкового процесу з наступними статистичними

характеристиками: математичне сподівання $m_\theta = 14,8 \text{ }^\circ\text{C}$, кореляційна функція $R_\theta = 3,755 \cdot e^{-0,04\tau} \cos(0,157\tau)$. Спектральна густина описується виразом:

$$\delta_\theta(\omega) = \frac{3,755 \cdot 0,04}{2\pi} \left\{ \frac{1}{0,04^2 + (\omega + 0,157)^2} + \frac{1}{0,04^2 + (\omega - 0,157)^2} \right\}. \quad (3.33)$$

Побудований на основі цих формул формуючий фільтр має вигляд:

$$W_\phi(s) \cong \frac{1,912s + 0,3}{40,23s^2 + 3,21s + 1}. \quad (3.34)$$

Пташник, що розглядається у кваліфікаційній магістерській роботі (див. розділ 4) оснащений п'ятьма витяжними вентиляторами на стелі і трьома витяжними торцевими вентиляторами. Загальна потужність їх двигунів становить 4,5 кВт. Залежність несучості курей від температури повітря, а також витрат кормів [30] подано у додатку В.

У зв'язку з тим, що у пташнику, що розглядається, керування числом обертів здійснюється лише на торцевих вентиляторах (за допомогою частотного перетворювача), розрахунок енергетичних витрат будемо здійснювати на торцевих вентиляторах.

Залежність потужностей вентиляторів від числа обертів n та кратності повітрообміну k , згідно з даними [30], подано на рис. 3.8. На рис. 3.9 подано ту ж залежність при керуванні частотним перетворювачем на робочій ділянці основних управляючих дій.

Можливі 10 реалізацій зміни температури повітря у пташнику при середній кратності повітрообміну 14 наведено на рис. 3.10. Такий повітрообмін забезпечує збільшення температури у пташнику за рахунок тепловиділення птиці на $5,2^\circ\text{C}$ [30], що дає можливість підтримувати середню температуру повітря пташника на рівні $+20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для визначення функцій розподілення кожної з десяти реалізацій дані про частоту появи значень відхилення температури від 20°C через кожен годину заносились у таблицю. Приклад визначення частот для реалізації, позначеної кривою синього кольору, наведено в табл. 3.2.

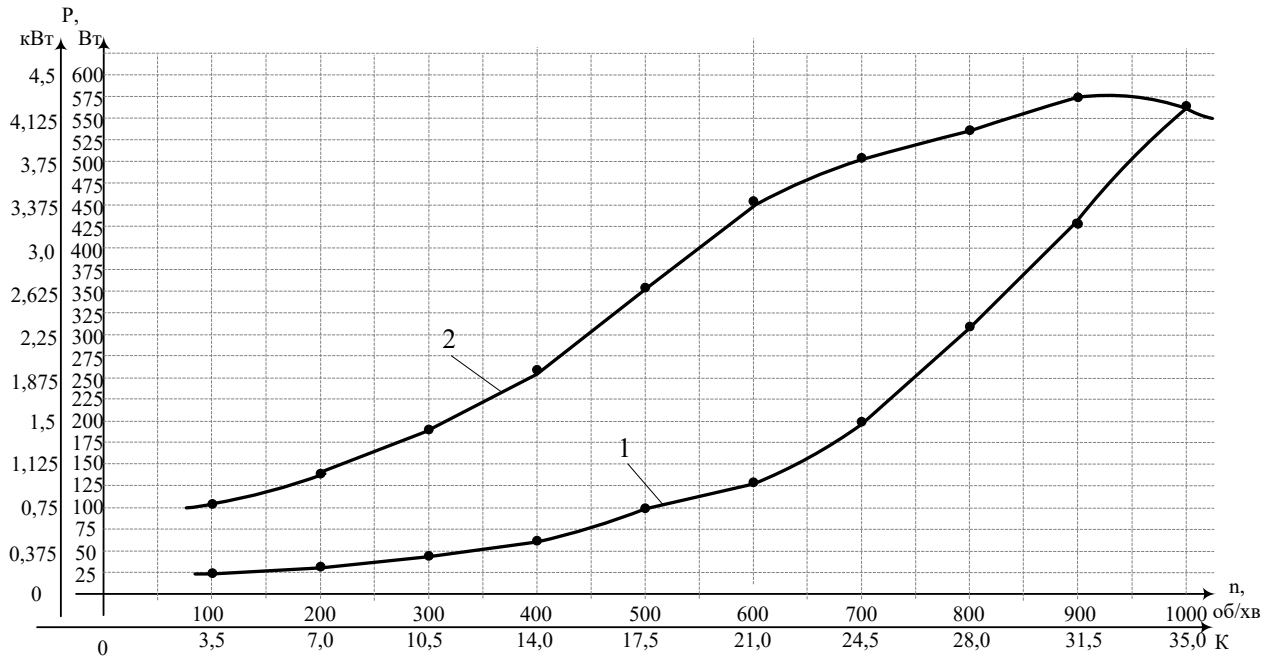


Рис. 3.8. Залежність потужності приводів вентиляторів ВО-12,5 від числа обертів (n) та кратності (K) повітрообміну при керуванні частотним перетворювачем (крива 1), при керуванні перетворювачем напруги (крива 2)

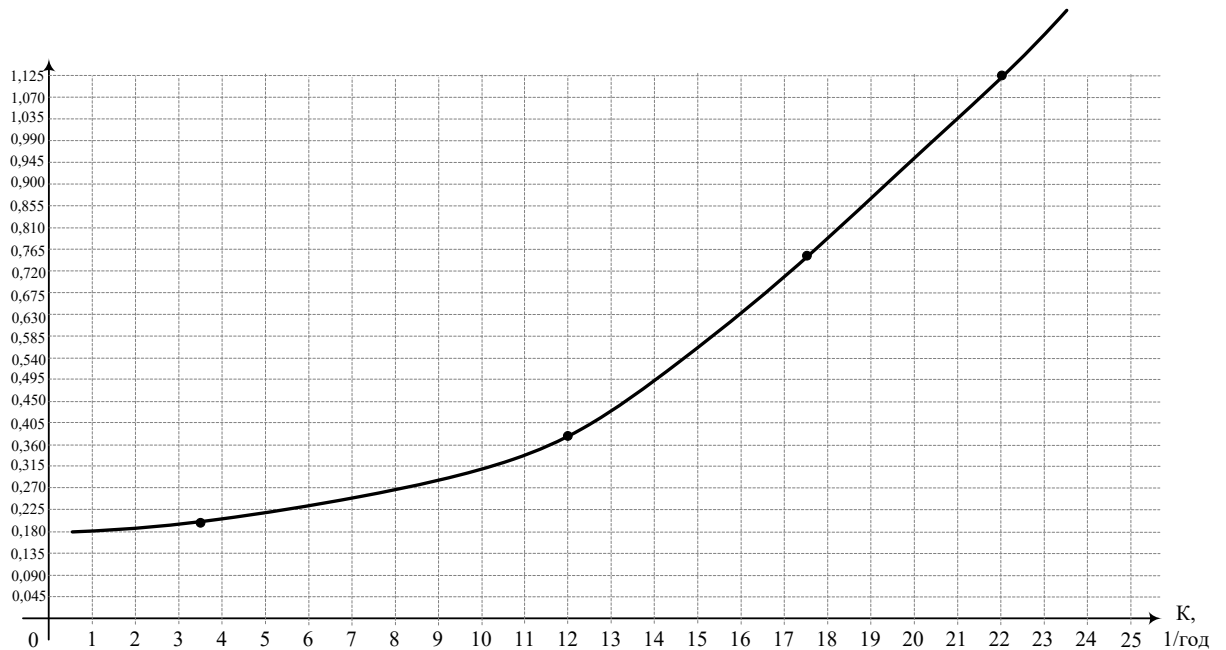


Рис. 3.9. Залежність потужності приводу вентилятора ВО-12,5 від кратності (K) повітрообміну в пташнику при частотному регулюванні (робоча ділянка – при K від 8 до 20)

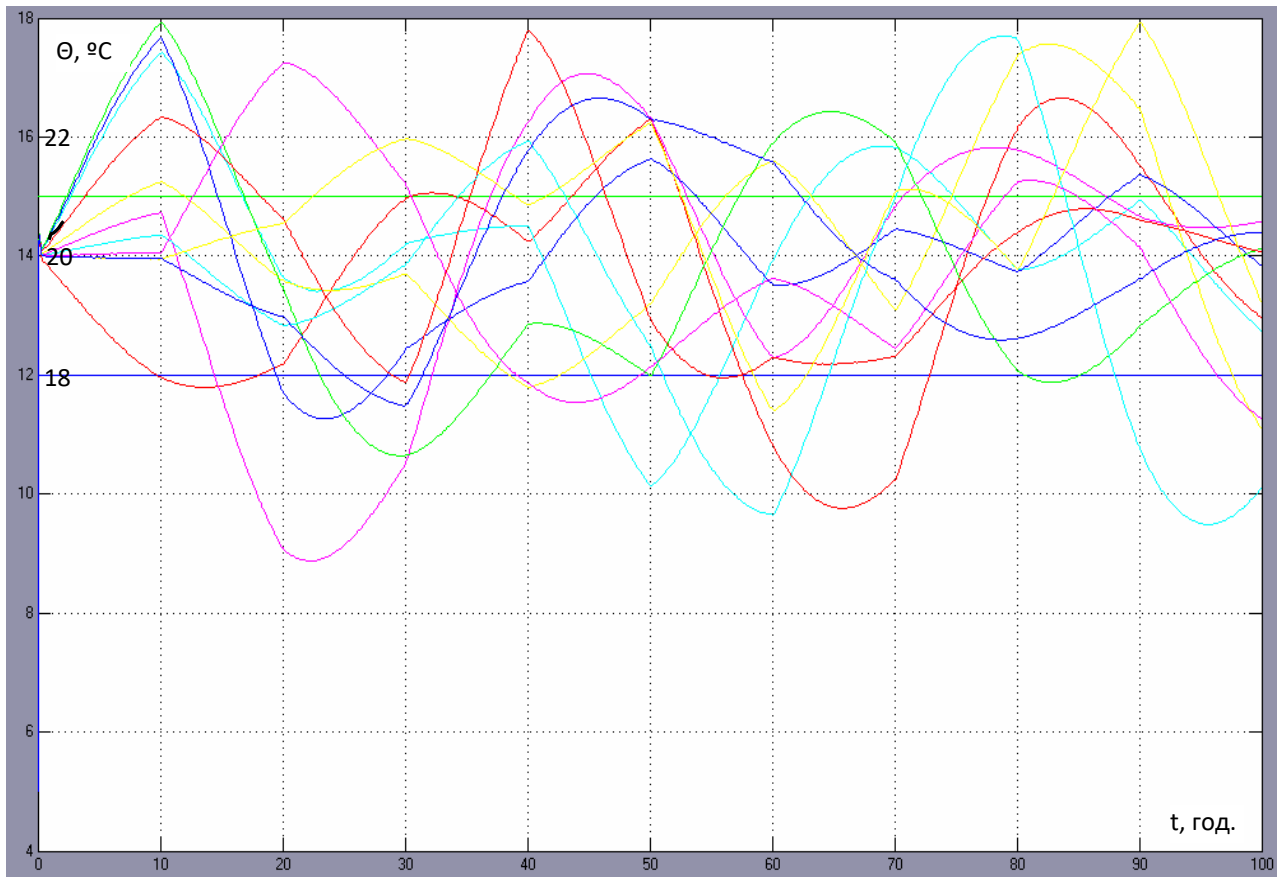


Рис. 3.10. Відтворені можливі реалізації зміни температури повітря у пташнику при 14-кратному повітрообміні з урахуванням тепловиділення птиці

Таблиця 3.2

Частота появи відхилень температури повітря від значення 20 °С

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Межі відхил., °С	4..3,5	3,5..3	3..2,5	2,5..2	2..1,5	1,5..1	1..0,5	0,5..0	0..-0,5	-0,5..-1	-1..-1,5	-1,5..-2	-2..-2,5	-2,5..-3	-3..-3,5	-3,5..-4	-4..-4,5
Частота появи	0	4	2	4	9	6	14	24	16	8	4	2	2	3	3	2	0

Зведені значення частот для всіх десяти реалізацій наведено у табл. 3.3. За даними цієї таблиці побудовано функції розподілення відхилень температури для кожної з десяти реалізацій, які зображено на рис. 3.11. Крім того, в останньому із стовпців таблиці приведені значення середніх

квадратичних відхилень для кожної реалізації. Для подальших розрахунків вибирались функції розподілення з середніми квадратичними відхиленнями $\sigma_{\max} = 1,58 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\sigma_{\min} = 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ і $\sigma_{\text{сеп}} = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.3

Частоти появи відхилень температури повітря у пташнику від $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ для кожної можливої реалізації

Колір f	Частота																			$\delta \text{ } ^\circ\text{C}$	
	-5..-4,5	-4,5..-4	-4..-3,5	-3,5..-3	-3..-2,5	-2,5..-2	-2..-1,5	-1,5..-1	-1..-0,5	-0,5..0	0..0,5	0,5..1	1..1,5	1,5..2	2..2,5	2,5..3	3..3,5	3,5..4	4..4,5		4,5..5
Сірий	0	0	0	0	4	5	3	5	6	18	21	13	11	5	2	2	4	1	0	0	1,25
Коричневий	5	9	5	4	3	4	2	5	7	5	10	8	5	5	9	9	2	0	0	0	1,58
Жовтий	0	0	0	0	1	5	15	8	10	16	17	14	2	3	5	4	0	0	0	0	1,08
Червоний	0	0	0	0	2	11	9	13	11	7	16	8	9	3	5	4	2	0	0	0	1,17
Рожевий	0	0	0	4	6	9	14	12	7	7	7	4	5	5	11	3	2	4	0	0	1,33
Зелений	0	0	0	0	0	3	11	7	5	6	15	10	14	15	8	2	2	2	0	0	1,08
Салатовий	2	9	5	4	3	3	3	8	9	10	15	7	5	6	2	2	3	4	0	0	1,58
Синій	0	0	0	0	0	8	8	14	11	9	17	12	7	8	6	0	0	0	0	0	0,75
Блакитний	0	0	2	3	3	2	2	4	8	16	24	11	6	9	4	2	4	0	0	0	1,25
Σ	7	18	13	14	22	50	67	76	74	94	142	87	64	59	52	28	19	11	0	0	

Апроксимовані функції розподілення з вибраними трьома середньоквадратичними відхиленнями за допомогою нормального закону наведено на рис. 3.12. Реалізації, які приблизно відповідають таким функціям розподілення, надалі будуть вважатись стратегіями природи.

За стратегії керування вибираємо:

1) традиційну стратегію стабілізації температури повітря на рівні $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (A_4);

2) стратегію з постійним повітрообміном, який забезпечує 14-кратний повітрообмін, а середнє значення температури повітря у пташнику становить $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (A_5);

3) три останні стратегії, які забезпечують компенсацію флуктацій шляхом зміни числа обертів вентиляторів таким чином, щоб середнє значення температури повітря почергово для кожної стратегії природи залишалось на рівні $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$. При цьому для першої стратегії природи $\sigma = 1,58 \text{ } ^\circ\text{C}$, компенсуються всі відхилення менші ніж $\sim +18,95 \text{ } ^\circ\text{C}$ (A_1), для другої

$\sigma = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}$ – менші ніж $\sim 19,22 \text{ } ^\circ\text{C}$ (A_2), для третьої $\sigma = 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ – менші ніж $\sim 19,67 \text{ } ^\circ\text{C}$ (A_3).

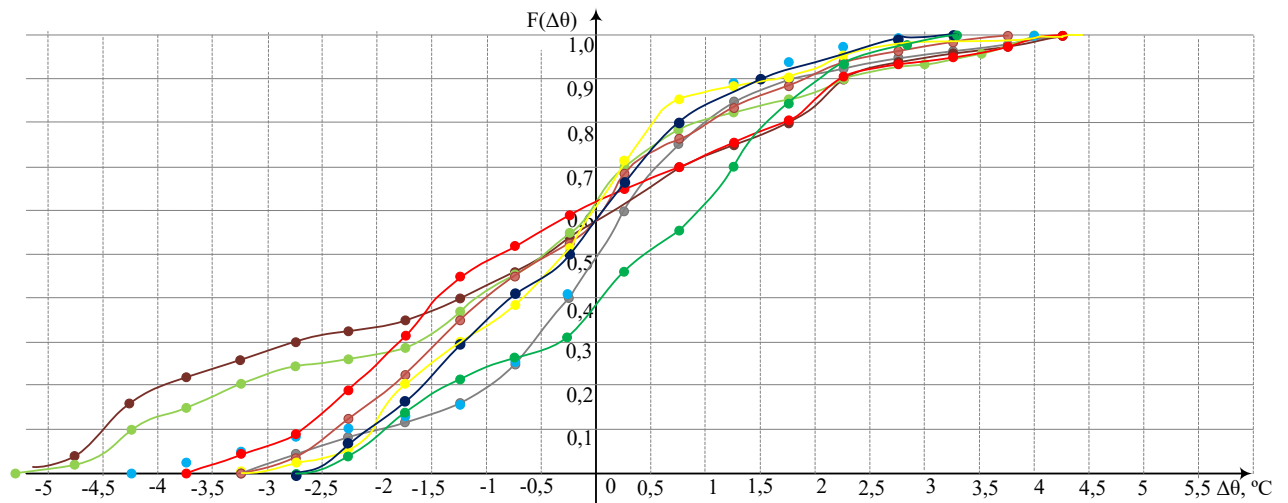


Рис. 3.11. Функції розподілення температурних флуктуацій для кожної з десяти реалізацій температури повітря у пташнику

Наприклад, для стратегії природи з $\sigma = 1,58 \text{ } ^\circ\text{C}$: $F(x_1) = 1 - 2F(x_2)$, де $x_2 = \frac{1}{1,58} = 0,633$. Тоді, використовуючи таблиці значень нормальної функції розподілення [3], одержимо $F(x_1) = 0,59$, а $x_1 \cong -0,05$.

Таким чином, щоб при стратегії природи з $\sigma = 1,58 \text{ } ^\circ\text{C}$ середнє значення температури повітря у пташнику підтримувалось на рівні $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$, необхідно компенсувати всі флуктуації, які будуть нижчими за $\Delta\theta = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}$ за відхиленнями, або в реальних температурах – нижчими за $18,95 \text{ } ^\circ\text{C}$. При цьому середні значення температури повітря для стратегії природи з $\sigma = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}$ становитиме $\sim 19,64 \text{ } ^\circ\text{C}$, а для стратегії природи з $\sigma = 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ – $\sim 19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. При стратегії керування, яка буде забезпечувати середнє значення температури $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$ для стратегії природи з $\sigma = 1,25 \text{ } ^\circ\text{C}$, відповідні середні значення для стратегії природи з $\sigma = 1,58 \text{ } ^\circ\text{C}$ становитимуть $\sim 20,22 \text{ } ^\circ\text{C}$, а для $\sigma = 0,75 \text{ } ^\circ\text{C}$ – $19,66 \text{ } ^\circ\text{C}$. Нарешті, застосування стратегії, яка буде забезпечувати середнє значення температури повітря у пташнику $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$ для стратегії природи з

$\sigma = 0,75$ °C, приведе до таких значень середньої температури для стратегії природи з $\sigma = 1,58$ °C – 21,85 °C, а з $\sigma = 1,25$ °C – 20,50 °C.

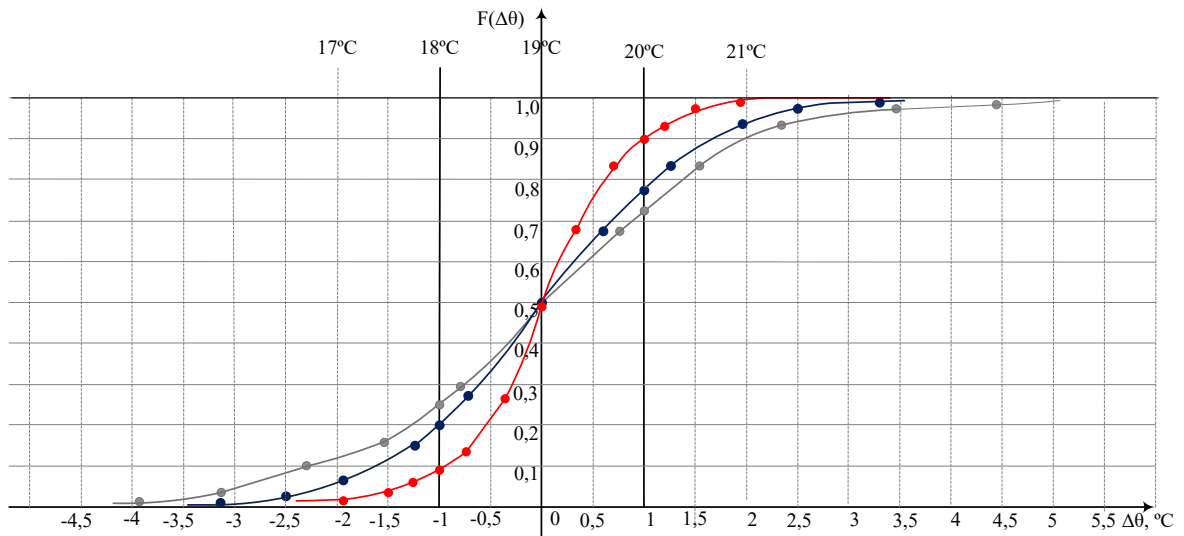


Рис. 3.12. Функції розподілення змін температури повітря, які вважаються стратегіями природи

Наповнення бази даних блоку прийняття рішень, наприклад, для взятої нами ділянки стаціонарного випадкового процесу тривалістю 8 діб полягає у визначенні основних показників якості утримання птиці: несучості, витрат кормів та енергетичних витрат для кожної пари стратегій природи і керування. Розрахунки проводяться для ділянок тривалістю 4 доби, оскільки з ймовірністю 0,5 ділянки по 4 доби кожна, які слідують одна за одною, мають різні статистичні характеристики, а не так, як нами взято для прикладу.

Несучість і витрати кормів визначаються за графіками (додаток В) лише за усередненими значеннями математичного сподівання температурного збурення. У пташнику знаходиться 10000 курей і 1000 півнів. Основні енергетичні витрати – це витрати на вентиляцію приміщення. Враховуючи тепловиділення птиці при поточних характеристиках збурень, постійний повітрообмін з кратністю $K=14$ (рис. 3.11) забезпечить підтримку середнього значення температури повітря у пташнику на рівні +20°C п'ятої стратегії керування.

Результати проміжних розрахунків даних блоку прийняття рішень у фізичних одиницях при збуренні на рис. 3.10 подано в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати проміжних розрахунків даних блоку прийняття рішень

Стратегії керування A_i	Стратегії природи P_j								
	P_1			P_2			P_3		
	Несучість, шт.	Витрати кормів, кг	Енергетичні витрати, кВт·год.	Несучість, шт.	Витрати кормів, кг	Енергетичні витрати, кВт·год.	Несучість, шт.	Витрати кормів, кг	Енергетичні витрати, кВт·год.
A_1	34000	5148	49	33950	5174	58,5	33940	5179	63
A_2	33920	5126	45	34000	5148	49	33960	5174	58
A_3	33880	5073	37	33900	5104	44	34000	5148	49
A_4	34000	5148	113,5	34000	5148	97	34000	5148	75
A_5	34000	5148	49	34000	5148	49	34000	5148	49

Якщо прийняти середню вартість яєць від батьківського стада курей на рівні 3,25 грн. за 1 шт., вартість 1 кг корму дорівнює ~10 грн., а 1 кВт·год. електричної енергії коштує підприємствам ~2,95 грн., то платіжна матриця буде мати вигляд, поданий у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Платіжна матриця (у грн.)

A_i	P_j		
	P_1	P_2	P_3
A_1	58877,0	58414,0	58331,0
A_2	58848,5	58877,0	58460,5
A_3	59272,0	59006,5	58877,0
A_4	58688,5	58736,5	58801,0
A_5	58877,0	58877,0	58877,0

Аналіз платіжної матриці за допомогою критерію Гурвіца показує, що оптимальною стратегією є A_3 ($Hu = 59272,0$), коли проводиться компенсація відхилень нижче +19,675 °С.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ У ПТАШНИКУ

Технічним об'єктом, що розглядається у даній кваліфікаційній магістерській роботі, є промисловий пташник для утримання курей-несучок у кліткових двоярусних батареях. Габаритні розміри пташника – (96 м)х(17 м)х(3,5 м), об'єм – 5553 м³. Протягом технологічного циклу утримання до даного виробничого приміщення було поміщено 10206 курей і 1134 півні (крос птиці – Хайсекс білий). Теплоємність Q пташника за повітрям становить 6549 кДж/°С. Площа огорожень – $F=2269$ м²; останні виконано із вапняку з коефіцієнтом теплопередачі $k=1$. Тому тепловий потік через огороження становить приблизно 2269 кДж/(м²·°С). Враховуючи, що в середньому тепловиділення птиці становить 6,7 Дж/с, 1 кг живої маси в умовах прийнятної для птиці температури повітря буде виділяти 450000 кДж/год.

Пташник оснащено вентиляційним обладнанням (рис. 4.1), яке складається з 5-и дахових витяжних шахт CL600 із вентиляторами продуктивністю 9000 м³/год., 3-ох торцевих вентиляторів типу AIR MASTER з максимальною продуктивністю 44000 м³/год. Сумарна максимальна продуктивність за повітрям вентиляційного обладнання становить 17700 м³/год., що дає можливість здійснювати майже 32-кратний повітрообмін у пташнику при високих температурах зовнішнього повітря. Приплив вентиляційного повітря у пташник забезпечується повітряними клапанами CL1200, які приводяться в рух за допомогою серводвигуна CL75.

Оскільки досліджуваний пташник знаходиться на півдні України, опалювальне устаткування відсутнє. Але при розробці схеми електричної принципової системи керування використання теплогенераторів як опалювальних приладів є передбаченим. Передбачається, що підтримка

заданої температури повітря у середині пташника буде здійснюватись за рахунок тепловиділення птиці. Залежність приросту температури повітря за рахунок тепловиділення приведено на рис. В4 (додаток В), яка показує можливість підтримання заданої температури повітря в пташнику навіть при дуже низьких зовнішніх природних збуреннях. Це можливо при кратностях повітрообміну 1,4...1,5 разів за 1 год. Такий незначний повітрообмін сприяє підвищенню загазованості пташника, але враховуючи незначну тривалість таких низьких температур для території, де знаходиться завод, немає потреби в оснащенні пташника нагрівними елементами.

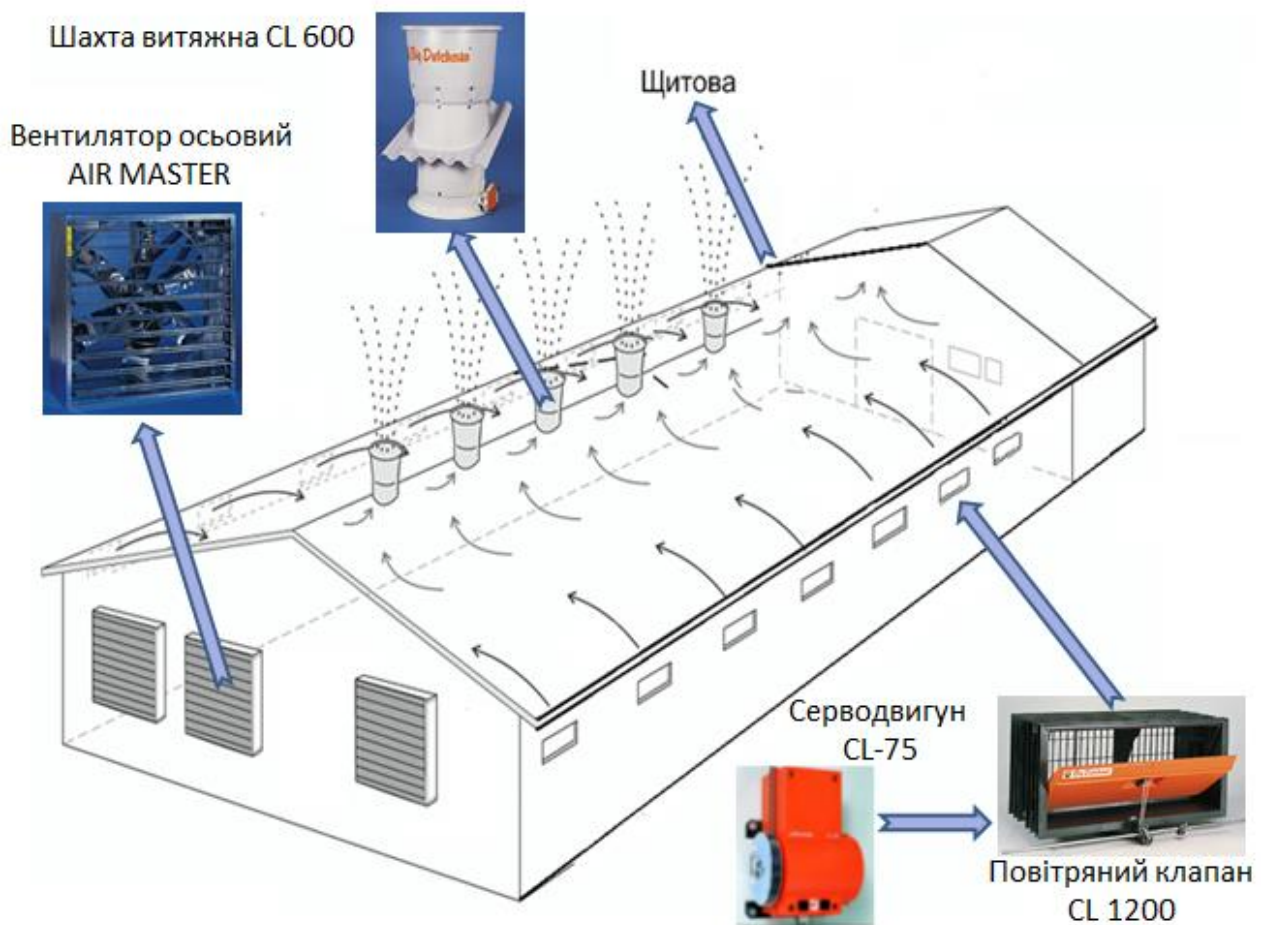


Рис. 4.1. Вентиляційне обладнання промислового пташника для утримання курей-несучок

Кратність повітрообміну, яка забезпечує допустиму кількість CO_2 , аміаку, та інших домішок, становить 3,5...4. При такій кратності приріст температури повітря від тепловиділення птиці становить 18...20°C.

Для встановлення зв'язку між внутрішньою температурою повітря і кратністю повітрообміну нами побудовано статичну характеристику пташника, яку наведено на рис. 4.2.

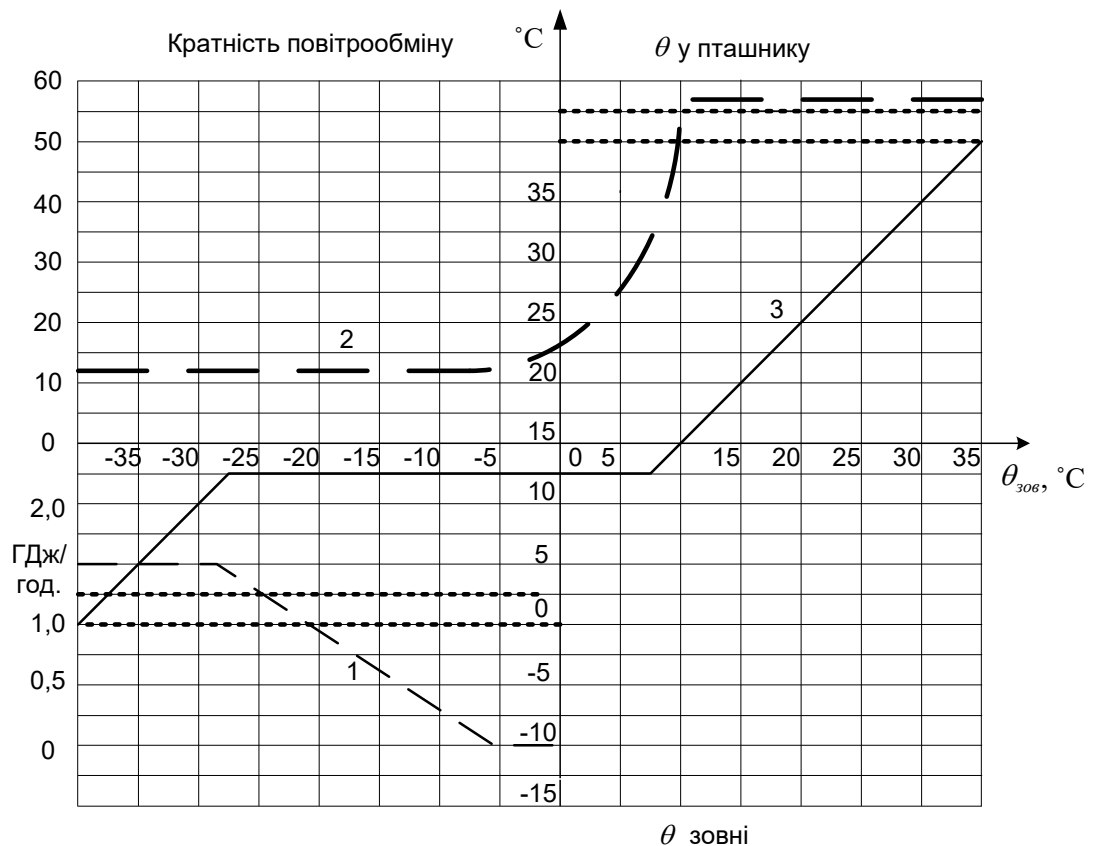


Рис. 4.2. Статична характеристика пташника № 4 як об'єкта керування:

1 – кількість тепла, необхідного для підтримання температури повітря в пташнику в комфортній зоні залежно від температури $\theta_{зов.}$ повітря зовні об'єкта; 2 – кратність повітрообміну залежно від значення $\theta_{зов.}$; 3 – температура повітря в пташнику залежно від $\theta_{зов.}$.

Визначено наближену динамічну характеристику пташника [30]:

$$\frac{6549}{1,18\Delta V + 2269} \cdot \frac{d\Delta\theta}{dt} + \Delta\Theta(t) = \left(1 - \frac{2269e^{-0,032t}}{1,18\Delta V + 2269}\right) \Theta_{зов.}(t) + \frac{450000}{1,18\Delta V + 2269}, \quad (4.1)$$

де $\Delta\Theta(t)$ – приріст зовнішньої температури повітря; $\Theta_{зов.}(t)$ – значення зовнішнього природного збурення; ΔV – кількість повітря, яке проходить через пташник під дією вентиляційної системи, м³/год.

ΔV може змінюватись від 9000 м³/год. (при включеному одному вентиляторі на стелі) до 17700 м³/год. (при роботі всіх вентиляторів на повну

потужність). При цьому постійна часу об'єкта буде змінюватись від 32 до 1,62 хв. Щоб зменшити повітрообмін при дуже низьких температурах зовнішніх збурень необхідно повністю вимкнути вентиляційне обладнання і закрити вентиляційні отвори із періодичним включенням центрального вентилятора на стелі.

4.1. Архітектура інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у промисловому пташнику

Архітектуру інтелектуальної системи керування (рис. 4.3) побудовано у такий спосіб, щоб забезпечити максимальну надійність функціонування.

Згідно із завданням на кваліфікаційну магістерську роботу, основу системи складають програмований логічний контролер SIEMENS серії SIMATIC S7-1200 та ПК із СУБД (системою управління баз даних) Microsoft SQL Server.

Програмований логічний контролер (на відміну від комп'ютера) має достатні можливості (модулі, шасі розширення) для підключення великої кількості датчиків, використовує відкриті протоколи, тобто дозволяє здійснювати керування виконавчими елементами із найрізноманітнішими принципами керування.

Застосовуючи контролер у якості керуючого елемента можна досить гнучко змінювати структуру системи, розширювати її, швидко відновити роботу у випадку збою просто замінивши елемент, який вийшов з ладу. На противагу комп'ютеру для промислового контролера характерна висока надійність у роботі, передбачені спеціальні процедури при аварійних режимах. Саме тому функції керуючого елемента у запропонованій системі покладено на промисловий контролер. Що стосується комп'ютера, то він може забезпечити функції, пов'язані з обробкою великих обсягів інформації. Саме цього бракує промисловому контролеру.

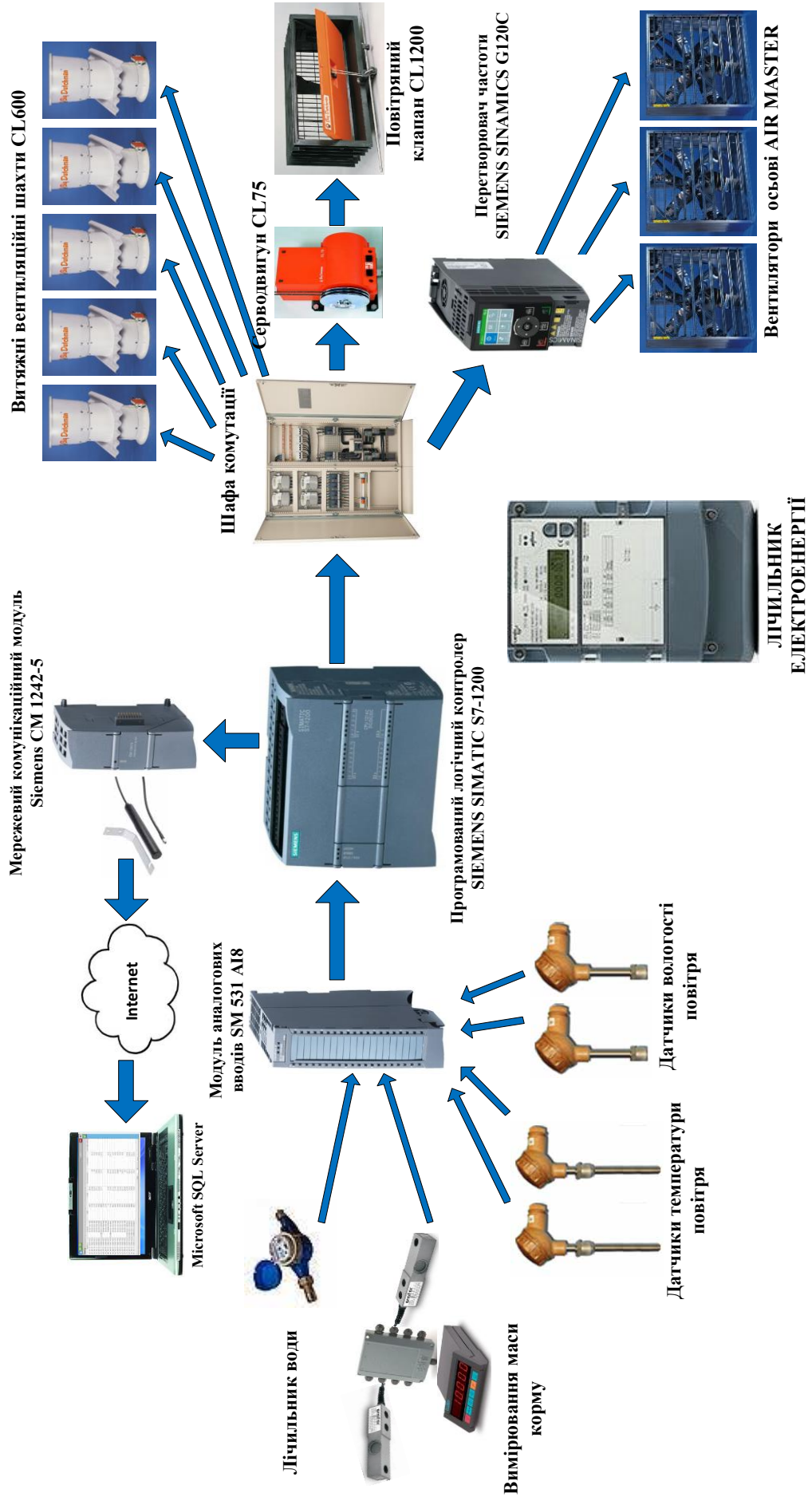


Рис. 4.3. Архітектура інтелектуальної системи керування енергетичними потоками у пташнику

Тому комп'ютерно-інтегрована система була спроектована як дворівнева: функції верхнього рівня виконує промисловий комп'ютер, нижнього рівня – промисловий контролер.

Для контролю та керування мікрокліматом використано датчики температури типу ТМСУ-1 та відносної вологості повітря типу QFM2120. Для вимірювання температури повітря зовні пташника також застосовано датчик типу ТМСУ-1, розрахований на значення температури до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Реєстрацію витрат води для напування та споживання електроенергії можуть виконувати відповідно лічильники ЛЛТ-20Х та Landis Gyr ZMD310CR24. Облік корму здійснюється тензометричною системою, до складу якої входять два тензодатчики типу SBS 2000, які навантажені бункером з кормом; з'єднувальна коробка з термокомпенсацією J-2 та індикатор РWІ-D. Датчики температури й вологості мають стандартний уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА. Зазначене обладнання підключається до програмованого логічного контролера за допомогою модуля аналогових вводів SIEMENS SM 531 AI8.

ПЛК SIMATIC S7-1200 подає сигнал на перетворювач частоти типу SIEMENS SINAMICS G120C, що визначає швидкість обертання трьох вентиляторів М1...М3 у торцевій стіні пташника.

Фрагмент схеми електричної принципової інтелектуальної системи керування енергетичним потоками в промисловому пташнику (керування параметрами мікроклімату) наведено на рис. 4.4 та 4.5. Контроль температури повітря у приміщенні пташника здійснює датчик температури D4, відносної вологості повітря у приміщенні – D6. Для вимірювання температури та вологості повітря зовні пташника призначені датчики D5 та D7 відповідно.

Відомість електротехнічних приладів, технічних засобів автоматики та пуско-захисної апаратури наведена у таблиці Г.1 (додаток Г).

Блок-схема алгоритму роботи системи наведена у додатку Д.

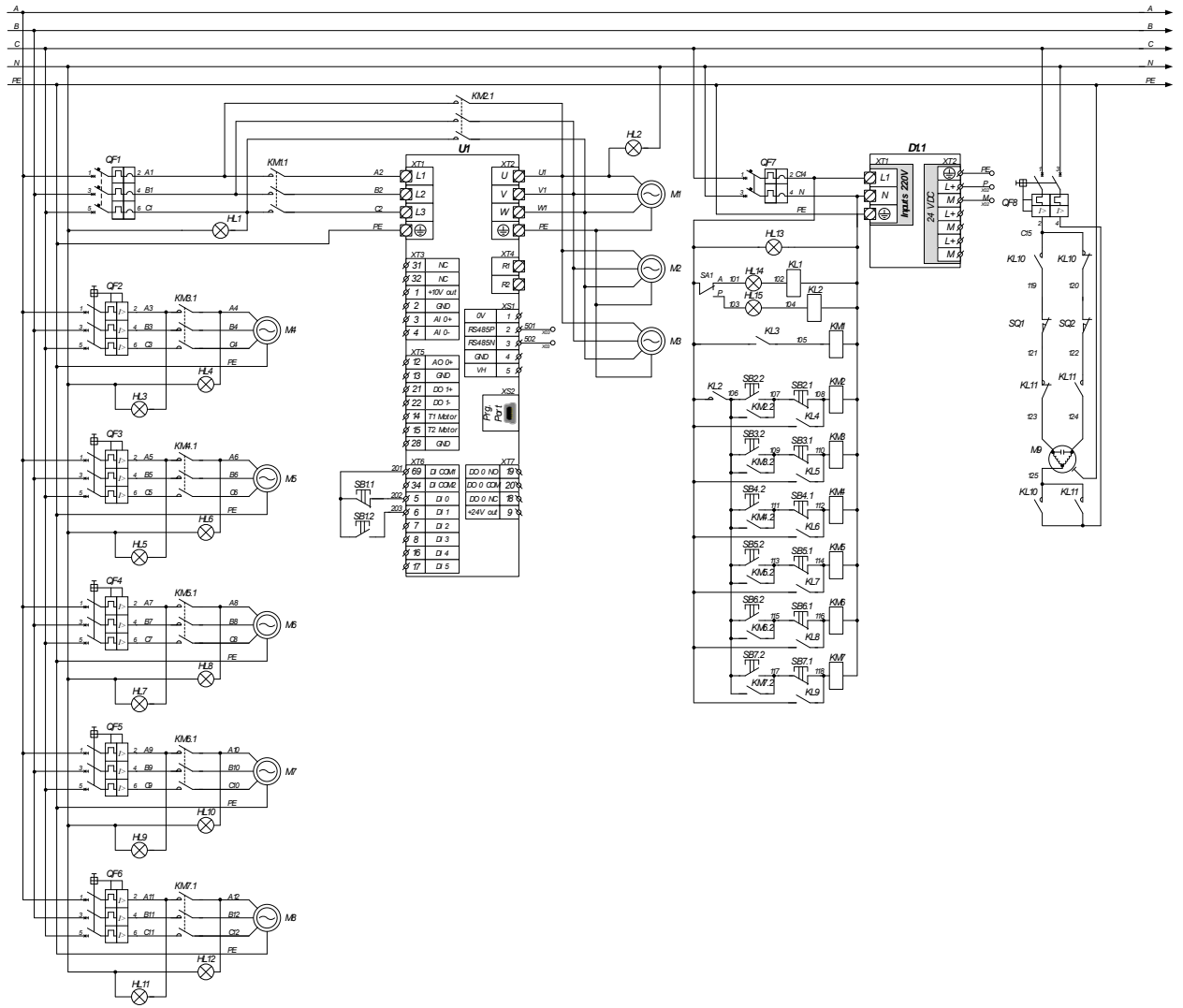


Рис. 4.4. Система керування параметрами мікроклімату у промисловому пташнику (Силова частина). Схема електрична принципова

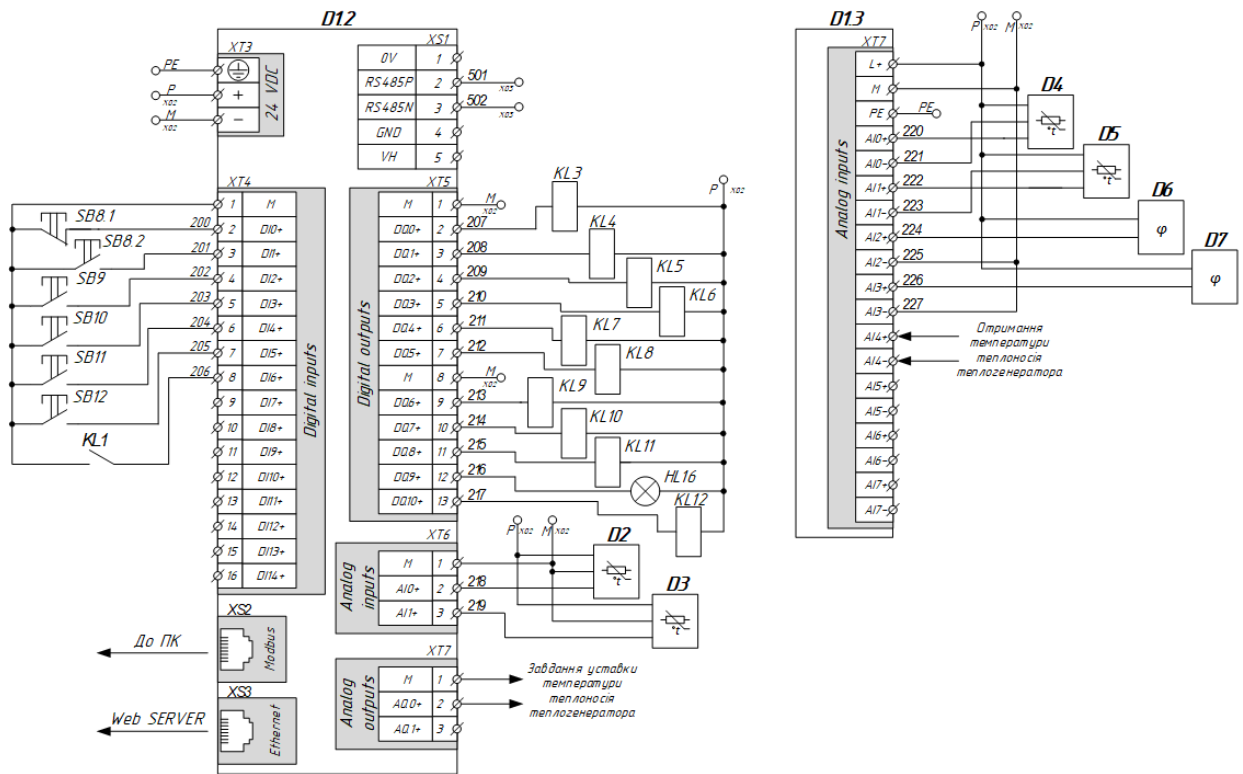


Рис. 4.5. Система керування параметрами мікроклімату у промисловому пташнику. Схема електрична принципова (продовження)

4.2. Система управління базою даних Microsoft SQL Server

Особливістю сучасних систем автоматизованого керування технологічними процесами і виробництвами є використання великих обсягів інформації, яка використовується як у режимі реального часу для прийняття миттєвих рішень та контролю за роботою системи, так і для аналізу і статистичної обробки даних та вироблення нових стратегій роботи системи.

Із зростанням обсягу інформації зростає час доступу до неї і, відповідно, час, необхідний для прийняття рішення щодо керування робочим процесом, тобто, час реакції системи. Але останній обчислюється заздалегідь,

виходячи з особливостей того чи іншого технологічного процесу або виробництва, і перевищувати його не допустимо.

Тому можна стверджувати, що для сучасних систем автоматизованого керування важливою і актуальною є задача оптимізації технології збереження і доступу до даних.

Розроблена система керування передбачає фіксацію даних, отриманих з датчиків температури, вологості, лічильників витрат електроенергії, кормів, води, та на основі цих даних прийняття рішень щодо керування мікрокліматом у пташнику. Одночасно із задачею керування реалізується моніторинг роботи системи, який дозволяє:

- 1) контролювати всі робочі параметри системи;
- 2) отримувати статистичні звіти за певний період функціонування пташника;
- 3) прогнозувати зміни деяких важливих параметрів (таких як витрати електроенергії, кормів, води);
- 4) прогнозувати величину прибутку пташника тощо.

Таким чином, інформаційне забезпечення системи має бути спільним інформаційним простором як для задач керування, так і для задач моніторингу роботи системи.

Організаційно інформаційне забезпечення зберігається на потужному промисловому комп'ютері, який може знаходитися як у приміщенні пташника, так і в окремому приміщенні, наприклад у будівлі адміністрації птахівничого заводу.

Для створення та керування інформаційним забезпеченням використано СУБД (система управління базою даних) Microsoft SQL Server. Вона дозволяє розробити структуру інформаційного забезпечення у вигляді нормалізованих таблиць, забезпечує швидкий доступ до даних на рівні транзакцій, гарантує безпеку даних та управляє синхронізацією інформації. Інформація, яка зберігається у базі даних, може використовуватися багаторазово різними користувачами з різних робочих місць.

На ефективність роботи бази даних найбільше впливає гнучкість структури інформаційного забезпечення. При розробці структури інформаційного забезпечення, тобто структури бази даних, було детально проаналізовано проблемну область і всі задачі, які необхідно розв'язувати у процесі функціонування системи в цілому.

1. Задача фіксації значень параметрів мікроклімату у пташнику. Температура повітря, як було зазначено вище, вимірюється трьома датчиками – два температурних датчики розташовані усередині пташника, один – зовні. Відносна вологість вимірюється одним датчиком. Він розташований усередині пташника. Покази з цих первинних перетворювачів передаються на комп'ютер, на якому спеціальним програмним забезпеченням заносяться до бази даних.

2. Задача фіксації параметрів ефективності процесу утримання курей-несучок. Фактори, що впливають на економічну ефективність функціонування пташника, можуть бути зведені до трьох змінних експлуатаційних параметрів. Позитивний вплив на економічну ефективність пташника здійснює підвищення продуктивності курей. Негативно впливає підвищення витрат кормів, води і збільшення споживання електроенергії.

3. Задача визначення цінкових показників. Для розрахунку значення прибутку у процесі виробництва курячих яєць мати величини вартостей електроенергії, кормів та яєць. Ці дані вводяться у базу даних оператором пташника щоразу, як тільки вони змінюються.

4. Задача визначення стратегій керування. Програмне забезпечення, що встановлено на комп'ютері та керує інформаційним забезпеченням, дозволяє вводити нові стратегії керування та змінювати існуючі.

5. Задача розпізнавання образів природних температурних коливань. Вибору оптимальної стратегії передуює визначення температурного збурення.

Для реалізації алгоритму розпізнавання образів у базі даних передбачено таблицю *Parameters_Realization*, яка містить статистичні та детерміновані характеристики можливих температурних збурень. Кожний

температурний образ визначається своїм кодом (*Code_realiz*), номером класу (*Frame*), тривалістю (*Duration*), математичним сподіванням (*Tangens* і *Koef_1*), параметрами періодичної складової реалізації (*Amplitude* і *Faza*), дисперсією нормалізованої реалізації (*Dispersy*), середньоквадратичним відхиленням нормалізованої реалізації (*Sx2*), параметрами кореляційної функції нормалізованої реалізації (*Koef_2* і *Frequency*), коефіцієнтами передаточної функції формуючого фільтра для відтворення образу (*Koef_3*, *Koef_4*, *Koef_5*, *Koef_6*).

Структуру таблиці *Parameters_Realization* із вищезазначеними характеристиками представлено на рис. 4.6.

Програмне забезпечення алгоритму розпізнавання образів розроблено на мові C++ у середовищі CodeGear RAD Studio. Воно, програмне забезпечення, виконує функції реалізації зв'язку з нижнім рівнем, яке представлено контролером, внесення інформації про параметри роботи системи до бази даних та виконує спеціальні сервісні функції.

Имя столбца	Тип данных
Code_realiz	nvarchar(4)
Date_1	datetime
Date_2	datetime
Time_1	datetime
Time_2	datetime
Frame	nvarchar(50)
Duration	real
Tangens	real
Koef_1	real
Amplitude	real
Faza	real
Dispersy	float
Sx2	float
Koef_2	float
Frequency	real
Koef_3	real
Koef_4	float
Koef_5	real
Koef_6	real

Рис. 4.6. Структура таблиці *Parameters_Realization*

Для реалізації алгоритму розпізнавання образів розроблено додатковий програмний модуль «Розпізнавання образу», який інтегровано у загальне програмне забезпечення системи керування. Інтерфейс роботи з цим модулем представлено на рис. 4.7.

Прогноз УГМЦ або вводиться оператором пташника, або отримується з сайту УГМЦ за допомогою спеціального програмного забезпечення. Цей прогноз у вигляді чотирьох значень (мінімальна і максимальна денна температури, мінімальна та максимальна нічна температури повітря) зберігається у таблиці PREDICTION (рис. 4.8).

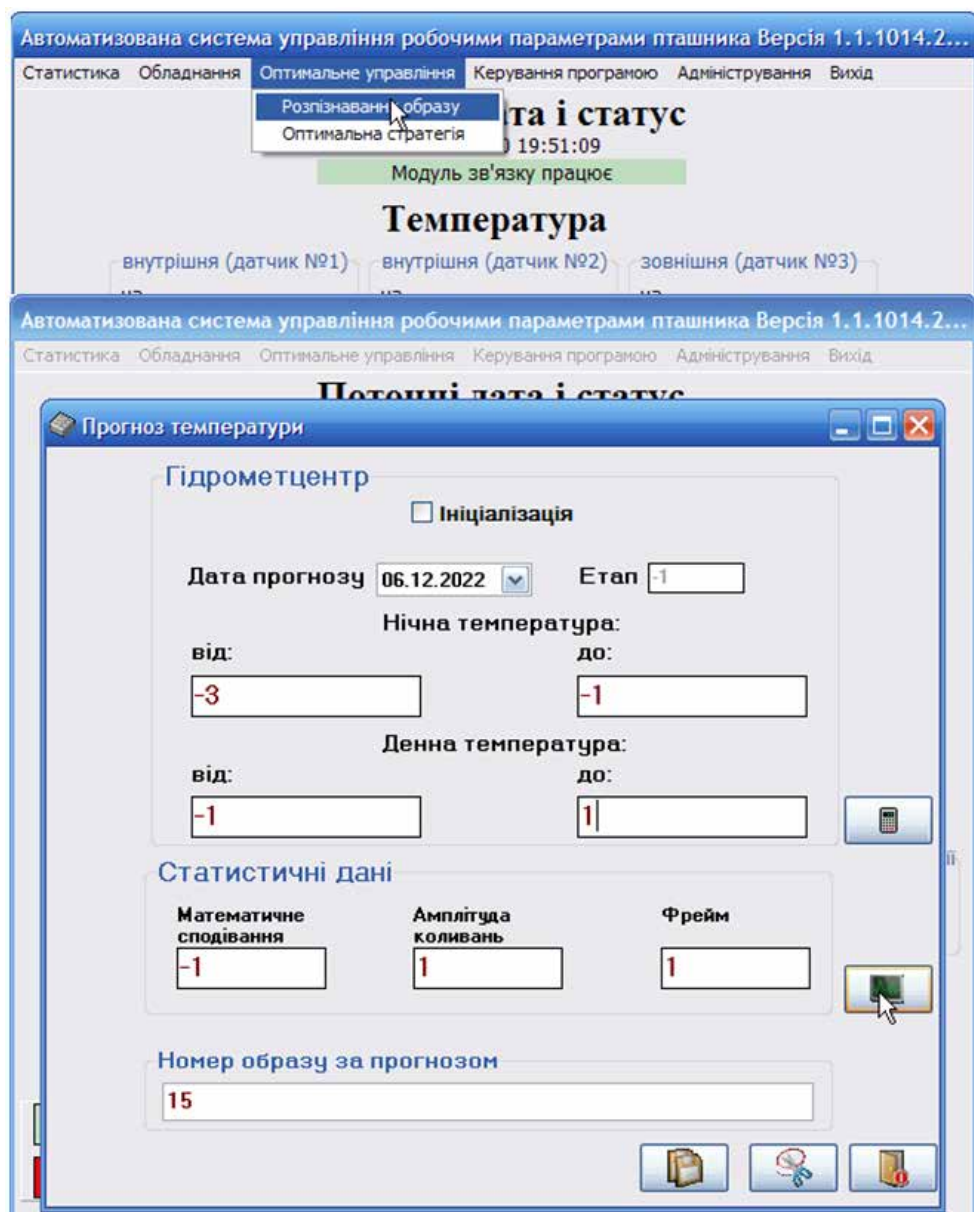


Рис. 4.7. Інтерфейс роботи з модулем «Розпізнавання образу»

7. Задача загального керування базою даних. База даних потребує коректного і надійного супроводу. Крім того, система, для якої вона створюється, розвивається, доповнюється, а це вимагає розробки додаткових таблиць. Тому було розроблено таблиці, що описують структуру бази даних, можливі команди керування та останню версію системи.

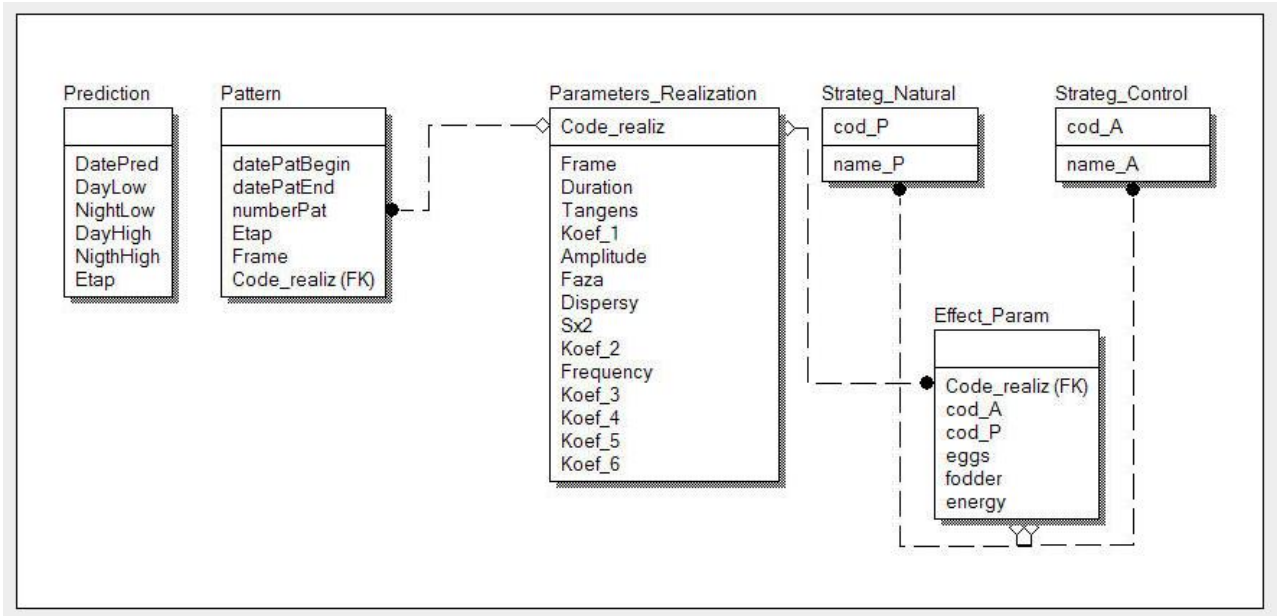


Рис. 4.8. Діаграма моделі даних «Оптимальне керування»

Отже, інформаційне забезпечення розробленої системи представлено реляційною базою даних у третій нормальній формі.

Для керування базою даних, введення, пошуку та зміни даних розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке з одного боку виконує усі перераховані вище задачі, а з іншого – виконує задачі зв'язку між системою та людиною (оператором пташника), тобто реалізує інтерфейс системи.

Як було зазначено вище, нижній рівень комп'ютерно-інтегрованої системи побудовано на базі програмованого логічного контролера SIEMENS серії SIMATIC S7-1200. Даний засіб є порівняно недорогим і використовується для керування невеликими та середніми промисловими об'єктами. Він відрізняється високим рівнем надійності, функціональності, простотою експлуатації. Окрім того, такий контролер є PC-сумісним, що

надзвичайно важливо для налагодження роботи системи, передачі даних до структур системи вищого рівня.

У алгоритмі роботи контролера відсутні цикли взагалі, крім одного – основного. Така особливість надзвичайно важлива для уникнення «зависань» програми і, як наслідок, зриву роботи автоматичної системи, яка працює в реальному часі, та порушень у технологічному процесі. Окрім того, усі операції виконуються строго одна за одною без будь-яких затримок та очікувань.

Комплекс операцій, пов'язаних із вимірюванням параметрів і керуванням технологічним обладнанням, тобто тіло основного циклу програми виконується один раз на 30 секунд. Цей час не перевищує сталої часу пташника, в якому встановлено систему.

Повноцінна, коректна робота системи можлива за умов працездатності і функціональності усіх її елементів: датчиків, виконавчих механізмів, робочих органів тощо. Зважаючи на зазначене, обов'язковою є безперервна перевірка працездатності обладнання та сповіщення обслуговуючого персоналу у разі виникнення аварій. Для прикладу у на рис. 4.9 наведено фрагмент програмного аналізу працездатності групи із трьох вентиляторів, де тестуються відповідні вхідні канали ПЛК. До цих каналів підключені датчики руху повітря, закріплені на шляху потоків через зазначені вентилятори. У зазначеному фрагменті `ManipulateExhausters` – змінна, вміст якої у двійковому представленні показує необхідний стан вентиляторів; `channel_exhauster_0, 1, 2` – номери каналів; `E_exhauster_0, 1, 2` – змінні для запису помилок у роботі вентиляторів; `DOdata_i87054_N0` – змінна, вміст якої у двійковому представленні показує стан датчиків руху; `NoError` та `FailureExhausterChannel` – коди помилок, «вентилятор працездатний» і «вентилятор не працює» відповідно.

```

//=====
//-----emergency analysis of exhausters-----
//=====
if(((ManipulateExhausters >> channel_exhauster_0) & 0x1) == 1 &&
((ManipulateExhausters >> channel_exhauster_1) & 0x1) == 1 &&
((ManipulateExhausters >> channel_exhauster_2) & 0x1) == 1)
{
    E_exhauster_0 = NoError;
    E_exhauster_1 = NoError;
    E_exhauster_2 = NoError;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_0) & 0x1) != 1)
        E_exhauster_0 = FailureExhausterChannel;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_1) & 0x1) != 1)
        E_exhauster_1 = FailureExhausterChannel;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_2) & 0x1) != 1)
        E_exhauster_2 = FailureExhausterChannel;
}
else
{
    E_exhauster_0 = NoError;
    E_exhauster_1 = NoError;
    E_exhauster_2 = NoError;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_0) & 0x1) != 0)
        E_exhauster_0 = FailureExhausterChannel;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_1) & 0x1) != 0)
        E_exhauster_1 = FailureExhausterChannel;
    if(((Dodata_i87054_N0 >> channel_exhauster_2) & 0x1) != 0)
        E_exhauster_2 = FailureExhausterChannel;
}
}

```

Рис. 4.9. Фрагмент програми контролера із аналізом справності групи трьох вентиляторів

Стан працездатності датчиків (температури, вологості, витрат корму) проявляється через вихід їх сигналів за межі допустимих значень (наприклад, 4...20 мА). Зважаючи на це, варто програмно постійно перевіряти чи потрапляє вимірювана перетворювачем величина у визначений діапазон. Якщо ні – нехтувати показами цього вимірювача і сповістити про вихід датчика із стану працездатності.

Програма оперує значною кількістю змінних, які повинні бути доступними у будь-якому місці алгоритму, тобто мають бути глобальними. Проте оперативна пам'ять промислових контролерів має незначний об'єм (у нашому випадку 512 кб), тому за можливістю потрібно уникати значної кількості об'яв глобальних змінних, масивів даних тощо.

Стратегії керування – це сукупність керуючих впливів на виконавчі механізми системи автоматизації за тих чи інших умов мікроклімату. При їх відпрацюванні під час виконання програми можуть виникати стани, коли послідовно буде вмикатися і відразу вимикатися виконавче обладнання (наприклад, приводи вентиляторів). Це може відбуватися внаслідок нестабільності сигналів датчиків. Такі режими неминуче приведуть до виходу

обертання торцевих вентиляторів; «0000000» – стан вентиляторів, установлених на стелі пташника; «00» – ступінь повороту заслінок бокових вентиляційних отворів у відсотках від максимального відкриття. Механізм корекції стратегій під час функціонування системи передбачено у програмному забезпеченні високого рівня і протоколі обміну між системним контролером та промисловим комп'ютером.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВО

Впровадження розробленої системи автоматизованого керування дозволило збільшити прибуток від виробництва курячих яєць завдяки зменшенню енергетичних витрат на утримання птиці порівняно із системами стабілізації параметрів мікроклімату (див. розділ 1).

Оцінку економічної ефективності впровадженої системи проведено шляхом порівняння двох систем, старої (пташник №1, система стабілізації) та нової (пташник №2). Виробничі показники взяті за звітні дані упродовж 2022 р. підприємства.

Зазначені технічні споруди ідентичні за своїми габаритними розмірами, теплофізичними характеристиками, вентиляційним устаткуванням, клітковим обладнанням, кросом та чисельністю птиці, яка там утримувалася. Системою керування умовами утримання курей-несучок у пташнику № 1 була система стабілізації температури повітря, створена на базі вимірювача-регулятора ОВЕН ТРМ1. Крім того, для підтримання параметрів мікроклімату в пташнику №2 використовувалося опалення природним газом. Птицю до вказаних об'єктів було завантажено майже одночасно (із різницею в 10 діб) у кінці листопада – на початку грудня 2021 р. З огляду на вище зазначене можна стверджувати, що з точки зору об'єкта керування, віку курей птиця у пташниках №1 та №2 утримувалася протягом 2022 р. в однакових умовах.

Перш за все, розрахуємо вартість засобів автоматизації для створення систем керування в пташниках №2 (табл. 5.1) та №1 (табл. 5.2).

Розрахунок вартості монтажних матеріалів приведено у табл. 5.3 (пташник №2) і табл. 5.4 (пташник №1).

Таблиця 5.1

Вартість засобів автоматизації для реалізації розробленої системи керування в
пташнику №2

№ п/п	Найменування обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
1	ПЛК SIMATIC S7-1200	шт.	1	14925	14925
2	Модуль аналогового вводу SM 531 AI8	шт.	1	4275	4275
3	Модуль аналогового виводу SM 1232	шт.	1	4684	4684
4	Тензодатчик Esit SBS 2000	шт.	2	9050	18100
5	Вузол вбудовування SBS-ТМ під бункер	шт.	2	3875	7750
6	З'єднувальна коробка J-4	шт.	1	3750	3750
7	Індикатор РWІ-D	шт.	1	8750	8750
8	Цифровий лічильник електроенергії ZMD310CR24	шт.	1	11405	11405
9	Модуль комунікаційний мережевий CM 1242-5	шт.	1	1835	1835
10	Антенa ANT 794-4MR 4-х діапазонна GSM і UMTS	шт.	1	2040	2040
11	Термоперетворювач TCM-02 HCX50M	шт.	2	1380	2760
12	Датчик вологості QFM2120	шт.	2	1508	2316
13	Блок живлення SIPLUS PM 1207 стабілізований	шт.	1	875	875
14	Шафа електромонтажна IP65 500x400x250 (STB 504025)	шт.	1	16295	16295
15	Шафа електромонтажна IP65 600x600x200 (STB 606020)	шт.	1	20740	20740
16	Комп'ютер NISE-3110-440/R1G/H200	шт.	1	38420	38420
17	Монітор 19" LG Fletron W1942S	шт.	1	5750	5750
18	Лічильник води ЛЛТ-20X імп.	шт.	1	1980	1980
19	Модуль 4-х канальний RS-232 I-8114	шт.	1	3140	3140
20	Перетворювач частоти SIEMENS SINAMICS G120C	шт.	1	28000	28000
	Разом				207950

Таблиця 5.2

Вартість засобів автоматизації для реалізації системи керування в
пташнику №1

№ п/п	Найменування обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
1	Вимірювач-регулятор ОВЕН ТРМ1	шт.	1	2567	2567
2	Датчик температури ДТС015-50М.В3.100	шт.	3	522	1566
3	Шафа електромонтажна ІР65 500х400х250 (STB 504025)	шт.	1	16295	16295
	Разом				20425

Таблиця 5.3

Вартість монтажних матеріалів для реалізації розробленої системи керування
в пташнику №2

№ п/п	Найменування обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
1	Кабель трифазний 8-20	м	10	94	940
2	Кабель трифазний 5-1,5	м	10	72	720
3	Вита пара Ok-net КПВ-ВП (100) 4х2х0,40	м	500	5,5	2750
4	Короб 80X60 W0	м	15	170,35	2555,25
	Разом				6965,25

Таблиця 5.4

Вартість монтажних матеріалів для реалізації системи керування
в пташнику №1

№ п/п	Найменування обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
1	Кабель трифазний 8-20	м	10	94	940

1	2	3	4	5	6
2	Кабель трифазний 5-1,5	м	10	72	720
3	Вита пара Ok-net КПВ-ВП (100) 4x2x0,40	м	350	5,5	1925
	Разом				3585

Розрахунок амортизаційних відрахувань. Відповідно до загальноприйнятих вимог, амортизаційні відрахування основних фондів автоматизованої системи керування становлять 10% їх вартості. Таким чином, витрати на амортизацію для системи пташника № 2 дорівнюють:

$$A = 0,1 \cdot F = 0,1 \cdot 214915 \text{ грн.} = 21491,5 \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де F – вартість основних фондів на створення автоматизованої системи керування.

Для системи пташника № 1:

$$A = 0,1 \cdot F = 0,1 \cdot 24013,55 \text{ грн.} = 2401,36 \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Розрахунок витрат на поточний ремонт. Згідно з нормативними матеріалами, витрати коштів на поточний ремонт автоматизованої системи керування приймають у розмірі 6 % від вартості основних фондів системи. Таким чином, витрати на поточний ремонт для системи пташника № 2 дорівнюють:

$$PP = 0,06 \cdot F = 0,06 \cdot 214915 \text{ грн.} = 12894,9 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Для системи пташника № 1:

$$PP = 0,06 \cdot F = 0,06 \cdot 24013,55 \text{ грн.} = 1440,8 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Розрахуємо річний прибуток від утримання курей-несучок у пташниках № 2 та № 1. Для цього використовуємо дані, які фіксувались щоденно упродовж 2022 р., а саме: кількість яєць, знесених за добу; об'єм природного газу, кількість електроенергії, корму, питної води, спожитих за добу. Знаходимо прибуток P за формулою (без урахування витрат на заробітну плату, транспортних і накладних витрат):

$$P = N \cdot a - (V \cdot b + E \cdot c + M \cdot d + W \cdot g), \quad (5.5)$$

де N – сумарна кількість яєць, знесених протягом 2022 р.; a – середня ціна на куряче яйце у 2022 р.; V – об’єм спожитого природного газу для обігрівання пташника упродовж 2022 р.; b – середня за 2022 р. вартість 1 м³ природного газу для даного підприємства; E – кількість електричної енергії, спожитої пташником у 2022 р.; c – тариф на електроенергію для даного господарства; M – загальна маса корму, згодованого птиці певного пташника протягом 2022 р.; d – усереднена за 2022 р. вартість 1 т курячого корму на даній птахофабриці; W – сумарний об’єм питної води, спожитої стадом курей-несучок одного пташника; g – вартість 1 м³ питної води для підприємств. Для досліджуваного пташника у 2022 р. мали місце такі ціни на продукцію та енергоресурси: $a=19,2$ грн./шт.; $b=12,937$ грн./м³; $c=3,678$ грн./кВтгод.; $d=9628,7$ грн./т; $g=27,5$ грн./м³.

Таким чином, прибуток від утримання курей-несучок у пташнику № 2 в 2022 р. склав:

$$P = 3401380 \text{ шт.} \cdot 19,2 \frac{\text{грн.}}{\text{шт.}} - \left(43342 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \cdot 3,678 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}} + 471,57 \text{ т} \cdot 9628,7 \frac{\text{грн.}}{\text{т}} + 1198,27 \text{ м}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^3} \right) = 6057352565 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Для пташника № 1:

$$P = 3401840 \text{ шт.} \cdot 19,2 \frac{\text{грн.}}{\text{шт.}} - \left(36403 \text{ м}^3 \cdot 12,937 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^3} + 54742 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \times 3,678 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}} + 473,92 \text{ т} \cdot 9628,7 \frac{\text{грн.}}{\text{т}} + 1198,59 \text{ м}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{грн.}}{\text{м}^3} \right) = 6004683385 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

Отже, фактична річна економія від впровадження розробленої автоматизованої системи керування становить 526691,8 грн. (дорівнює різниці між фактичними річними прибутками P від виробництва в пташниках № 2 та № 1).

Коефіцієнт K економічної ефективності капітальних витрат на розробку і впровадження автоматизованої системи керування являє собою відношення річної економії (річного приросту прибутку) до капітальних витрат на розробку і впровадження системи. Останні дорівнюють 1089000 грн.

Тоді

$$K = \frac{5266918 \text{ грн.}}{1089000 \text{ грн.}} = 0,484. \quad (5.8)$$

Величина, обернена до цього значення, є терміном окупності системи T .

Отже,

$$T = \frac{1089000 \text{ грн.}}{5266918 \text{ грн.}} = 2,068 (\approx 2 \text{ роки і } 1 \text{ міс.}) \quad (5.9)$$

Порівнявши показники процесу утримання курей-несучок за допомогою розробленої автоматизованої системи керування (пташник №2) та традиційної системи стабілізації параметрів мікроклімату (пташник №1), побачимо, що внаслідок використання першої практично незмінною залишається продуктивність птиці (несучість), зменшуються витрати енергоресурсів, зокрема електричної енергії – на 20,82 %, кормів – на 0,5 %. Споживання питної води – на тому ж рівні.

З точки зору соціального ефекту використання розробленої автоматизованої системи керування процесом утримання курей-несучок є економічно обґрунтованим прикладом реконструкції, переоснащення і модернізації застарілих існуючих птахівничих підприємств. Застосування даної системи суттєво удосконалює структуру керування технологічними процесами, спрощує виконання звітності, полегшує аналіз та планування виробництва шляхом використання автоматичної системи моніторингу технологічних параметрів та витрат ресурсів під час виробничого процесу, залучення сучасних засобів ІТ та програмного забезпечення.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи отримані наступні результати:

1. Аналіз відомих на сьогодні систем керування енергетичними потоками у процесах виробництва курячих яєць показав, що переважно вони є системами стабілізації параметрів мікроклімату, не враховують майбутньої зміни збуджуючих дій (температурних зокрема) на об'єкт керування протягом усього періоду утримання птиці. Як наслідок, ефективність виробництва при такому керуванні знижується.

2. На базі багаторічних спостережень і досліджень природних температурних збурень здійснено їх класифікацію (на основі понять образу та класу), створено математичні моделі та розроблено систему образів таких збурень. Встановлено, що майбутні можливі температурні коливання можуть бути прогнозовані у вигляді реалізацій стаціонарних випадкових процесів на період у 4 доби з імовірністю більшою ніж 0,7. Практично всі річні температурні коливання (98%), характерні для південних областей України, можна описати за допомогою системи із 361-го образу температурних збурень.

3. Розроблено алгоритм розпізнавання образів майбутніх природних коливань температури повітря, їх відтворення з метою подальшого аналізу в якості стратегій природи. Дана методика включає 3 основні етапи розпізнавання, на останньому з яких значення помилок параметрів образу та реальної майбутньої реалізації не перевищує $0,8^{\circ}\text{C}$. На базі методів теорії ігор та статистичних рішень розроблено алгоритм прийняття рішень з керування умовах невизначеності. Вибір раціональної керуючої дії здійснюється на основі аналізу платіжної матриці.

4. Проведено побудову структури та створено технічну реалізацію запропонованої системи автоматичного керування із використанням

комплексу технічних засобів Siemens, за допомогою методів і засобів новітніх ІТ розроблено програмне та інформаційне забезпечення останньої. При цьому обґрунтовано дворівневу архітектуру системи.

5. Впровадження розробленої САК дозволило збільшити прибуток від виробництва курячих яєць завдяки зменшенню енергетичних витрат на утримання птиці порівняно із відомими системами стабілізації параметрів мікроклімату. Внаслідок використання розробленої САК порівняно із традиційною системою стабілізації параметрів мікроклімату практично незмінною залишається продуктивність птиці (несучість), зменшуються витрати енергоресурсів, зокрема електричної енергії – на 20,82 %, кормів – на 0,5 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бородай В. П. Запорука вашого успіху – обладнання фірми "Біг Дачмен Інтернешнл ГМБХ" / В. П. Бородай // Сучасне птахівництво. – 2010. – № 1-2 (86-87). – С. 7-8.
2. Брукс К. Використання статистичних методів у метрології / К. Брукс, Н. Карузєрс. – К.: Фінанси і статистика, 2000. – 416 с.
3. Вентцель Є. С. Дослідження операцій / Є. С. Вентцель. – К.: Урожай, 1988. – 208 с.
4. Вольф В. Г. Статистична обробка дослідних даних / В. Г. Вольф. – Харків.: В-во ХНУ, 2006 – 225 с.
5. Вуколов Э. А. Основи статистичного аналізу. Практикум по статистичним методам та дослідженню операцій із використанням пакетів STATISTICA та EXCEL: навчальний посібник. – 2-е вид., випр. та доп. – Львів.: В-во "ФОРУМ", 2008. – 464 с.
6. Гарасимчук І.Д. Енергоспоживання системами створення мікроклімату в пташниках-бройлерниках: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.16 / Ігор Дмитрович Гарасимчук. – К.: 2001. – 196 с.
7. Глобальне потепління і птахівництво // Ефективне птахівництво. – 2019. – № 2 (50). – С. 2.
8. Дубров А. М. Моделювання ризикованих ситуацій в економіці та бізнесі / А. М. Дубров, Б. А. Лагоша, Е. Ю. Хрустальов. – К.: Фінанси і статистика, 2000.
9. Жуковський Е. Е. Статистичний аналіз випадкових процесів у агрофізиці та агрометеорології / Е.Е. Жуковський, Т.Л. Кисельова, С. М. Мендельштам. – К.: ЦТІ "Енергетика і електрифікація", 2004. – 389с.
10. Заяць В. М. Методи розпізнавання образів: Навчальний посібник / В. М. Заяць, Р. М. Камінський. – Л.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 173 с.
11. Зюдкамп Х. Viper – комп'ютер для керування мікрокліматом і виробництвом на птахофабриках / Х. Зюдкамп, А. Бакалець // Птахівництво. – 2009. – № 5. – С. 45-46.
12. Кістєнь Г. Є. Комплексна автоматизація у тваринництві / Г. Є. Кістєнь, А. Д. Носач. – К.: Урожай, 1990. – 135 с.
13. Кудрявцев І. Ф. Автоматизація виробничих процесів на тваринницьких фермах і комплексах / І. Ф. Кудрявцев, О. Б. Карасьов, Л. Н. Матюніна. – К.: Урожай, 1987. – 223 с.
14. Купер Дж. Ймовірнісні методи аналізу сигналів і систем / Дж. Купер, К. Макгілем. – ЦТІ "Енергетика і електрифікація", 2009 – 376 с.
15. Куров Ю. А. Комплексна механізація у птахівництві / Ю.А. Куров. – К.: Урожай, 1983. – 264 с.

16. Лисенко В. П. Адаптивне енергоощадне управління умовами утримання біологічних об'єктів в агропромислових спорудах з використанням прогнозування збуджень та методів теорії ігор / В. П. Лисенко, В. Л. Щербатюк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» Луцького НТУ. – 2010. – № 6. – С. 177-181.
17. Лисенко В. П. Метод оцінки ефективності роботи систем управління умовами утримання біологічних об'єктів для промислового виробництва продукції сільського господарства / В.П. Лисенко, Б.Л. Головінський // Аграрна наука. – 2005. – т. 6, № 3-4. – С. 127-133.
18. Лисенко В.П. Наукові основи керування електротехнічними комплексами для виробництва сільськогосподарської продукції. - Дисертація д-ра техн. наук: 05.09.03, Кабінет Міністрів України, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - Київ, 2014.- 370 с.
19. Найкращий мікроклімат та зниження витрат на опалення на 50% DACS A/S із Данії // Ефективне птахівництво. – 2009. – № 10 (58). – С. 15.
20. Мартиненко І. І. Автоматика в сільськогосподарському виробництві / І.І. Мартиненко, Б.Л. Головінський, Р.Д. Проценко. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.
21. 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.
22. 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 випробування техніки і технологій для с.-г. вир-ва ім. Л. Погорілого, 2009. – 207 с.
23. 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.
24. Пригунов Ю.М., Новак В.А. Мікроклімат тваринницьких і птахівничих приміщень. К.: Будівельник, 1986. – 80 с.
25. Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництв. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2008. – 62 с.
26. Про розвиток галузі птахівництва в Україні. Наказ Міністерства аграрної політики України та Української академії аграрних наук №485/131 від 31.12.2003 р.
27. ТУ У 29.3-14311643-051:2007 Обладнання для утримання батьківського поголів'я курей несучок ОКБП-2, ОКБП-3.
28. Трухачов В.І. Світлодіодне освітлення у промисловому птахівництві: монографія / В.И. Трухачв, М.Ф. Зонов, В.В. Самойленко. Львівська Політехніка. – Львів: В-во ім. І.Франка, 2012. – 108 с.
29. Філоненко О. Показники ефективності виробництва продукції птахівництва в ринкових умовах / О. Філоненко // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 6(9). – С. 22-27.

30. Щербатюк В.Л. Автоматизоване керування процесом виробництва курячих яєць з прогнозуванням збурень: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Вадим Леонідович Щербатюк. – К.: 2014. – 187 с.
31. Jan Hulzebosch. Wide range of housing options for layers / Jan Hulzebosch // *World Poultry*. – 2006. – Vol. 22 No 6. – P. 20-22.
32. Rik van Emous. From cages to alternative systems requires different skills / Rik van Emous // *World Poultry*. – 2003. – Vol. 19 No 6. – P. 24-27.
33. Через війну втрачено 20% виробництва курячих яєць. Економічна правда. Електронний ресурс.
Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2022/10/14/692620/>
34. Вартість електроенергії для підприємств. Як затримати ріст цін? Електронний ресурс. Режим доступу: <https://inteleng.com.ua/blog-uk/vartist-elektroenergii-dlya-pidpriie/>
35. Як змінювалася біржова ціна на газ у 2020-2021 роках. Слово і діло. Аналітичний портал. Режим доступу:
<https://www.slovoidilo.ua/2021/09/15/infografika/svit/vartist-hazu-yevropi-bye-rekordy-yak-zminyuvalasya-birzhova-czina-ostanni-dva-roky>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця А.1.

Параметри температурно-вологісного режиму пташників різного призначення

Види та вікові групи птиці	Розрахункова температура у холодний та перехідний періоди року при утриманні птиці, °С		Оптимальна відносна вологість повітря в приміщенні, %
	підлоговому	клітковому	
<i>Доросла птиця:</i>			
кури	12-16	16	60-70
індики	12-16	-	60-70
качки	7-14	-	70-80
<i>Молодняк</i>			
курей віком:			
від 1 до 30 діб	22	24	60-70
від 31 до 70 діб	16	18	60-70
від 140 діб	12-16	16	60-70
індиків віком:			
від 1 до 20 діб	22	24	60-70
від 21 до 120 діб	20-18	-	60-70
від 121 до 180 діб	16	-	60-70
качок віком:			
від 1 до 10 діб	22	22	65-75
від 11 до 30 діб	20	-	65-75
від 31 до 55 діб	14	-	65-75
від 56 до 180 діб	7-14	-	65-75

Таблиця А.2.

Температура і вологість повітря при вирощуванні бройлерів

Вік курчат, діб	Температура, °С		Відносна вологість повітря, %
	у приміщенні	під брудером	
1-7	26-24	35-33	65-70
8-14	24-22	32-29	65-70
15-21	22-21	28-25	65-70
22-30	21-20	25-21	65-70
31 і більше	20-18	-	60-70

Таблиця А.3.

Гранично допустимі значення концентрації шкідливих газів
у повітрі пташника

Гази	Гранично допустимі концентрації газів		
	для розрахунку технологічного обладнання	для утримання дорослої птиці та ремонтного молодняку	для вирощування курчат
CO ₂ , %	0,5	0,18-0,20	0,1
NH ₃ , мг/л	0,08	0,01	0,005
H ₂ S, мг/л	0,02	0,005	0,005

Таблиця А.4.

Нормативні значення повітрообміну для птахівничих приміщень,
м³/год. на 1 кг живої маси

Вид птиці	Період року		
	зима	Перехідний (весна, осінь)	літо
Кури яєчних порід, індики та качки дорослі	1,5	3,8	5,8
Молодняк курей м'ясних порід:			
віком 10 діб	1,1	2,4	14,0
віком 30 діб	1,1	1,7	9,1
віком 60 діб	1,4	4,6	6,6
віком 180 діб	1,3	4,3	6,3

Таблиця А.5.

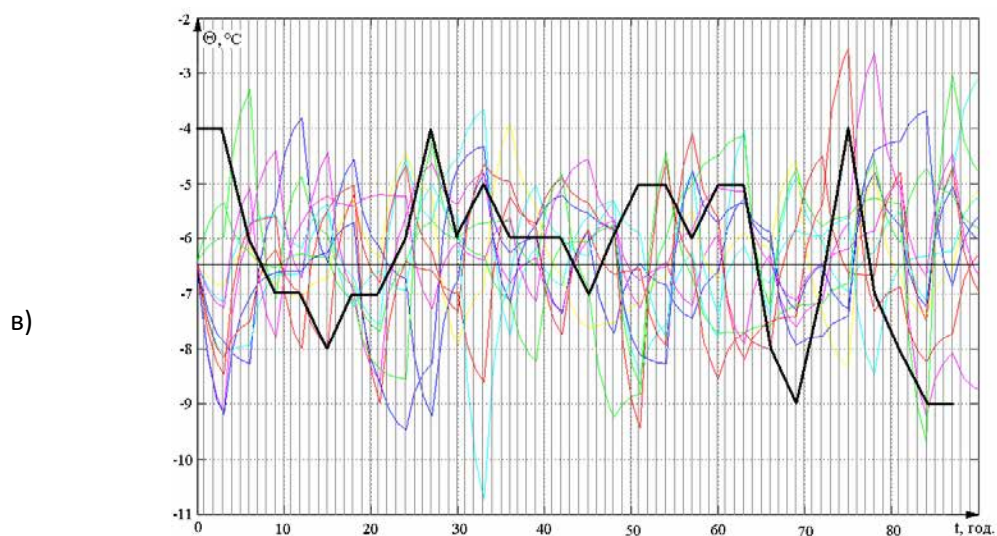
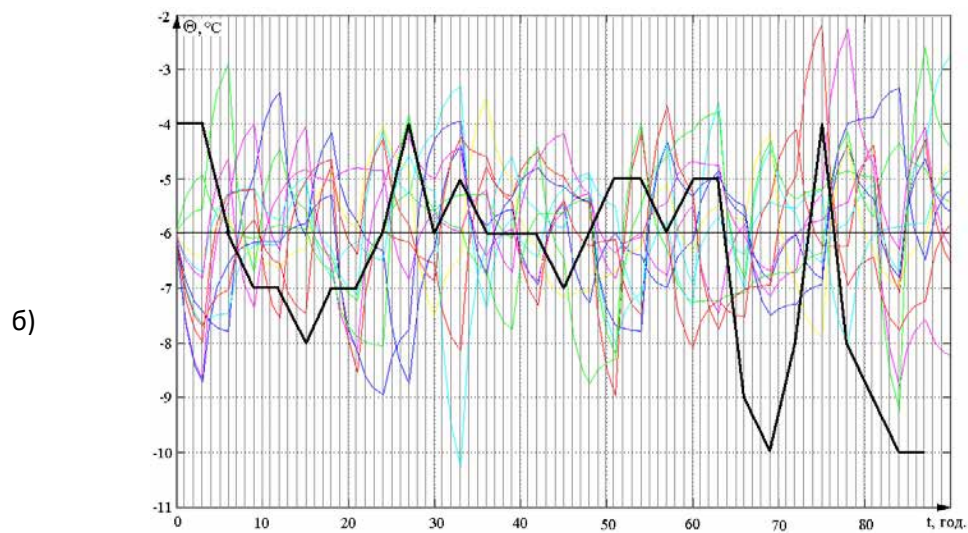
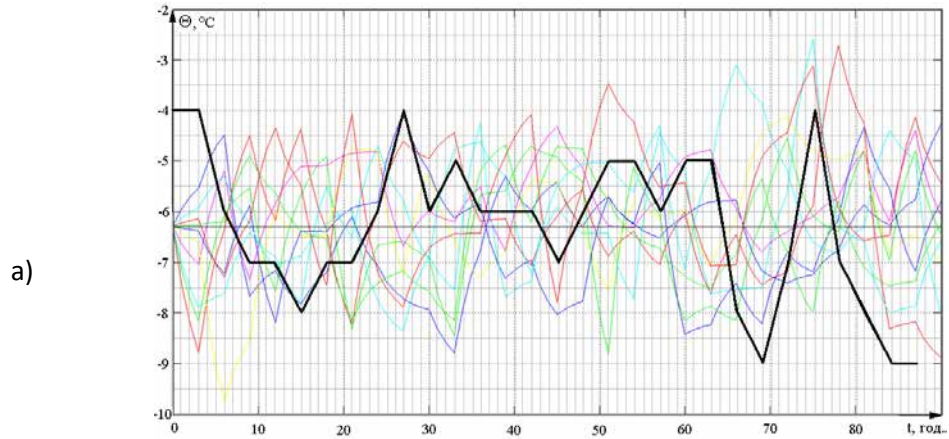
Гранично допустима швидкість руху повітря у пташниках

Вік птиці, діб	Швидкість руху, м/с
0-14	0,2
15-21	0,5
22-28	0,875
старше 28	1,75-2,5

Додаток Б**Відтворення образів температурних збурень**

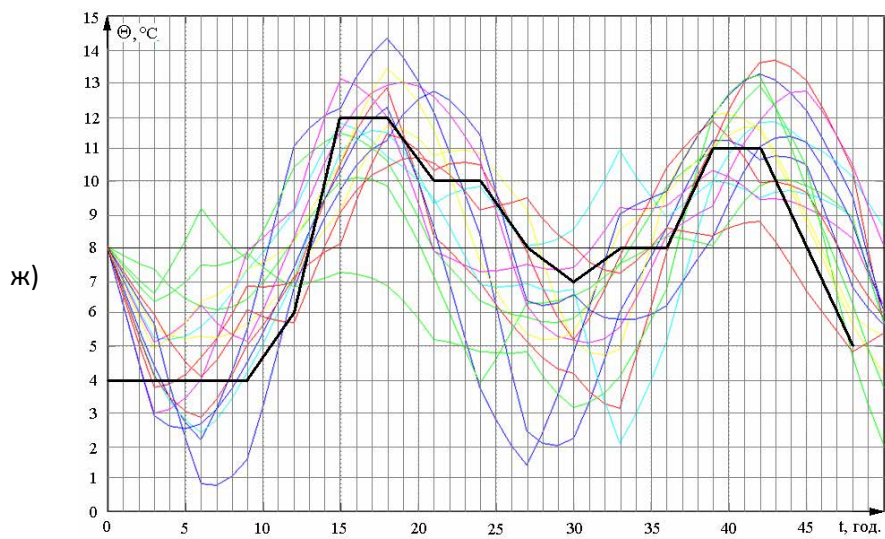
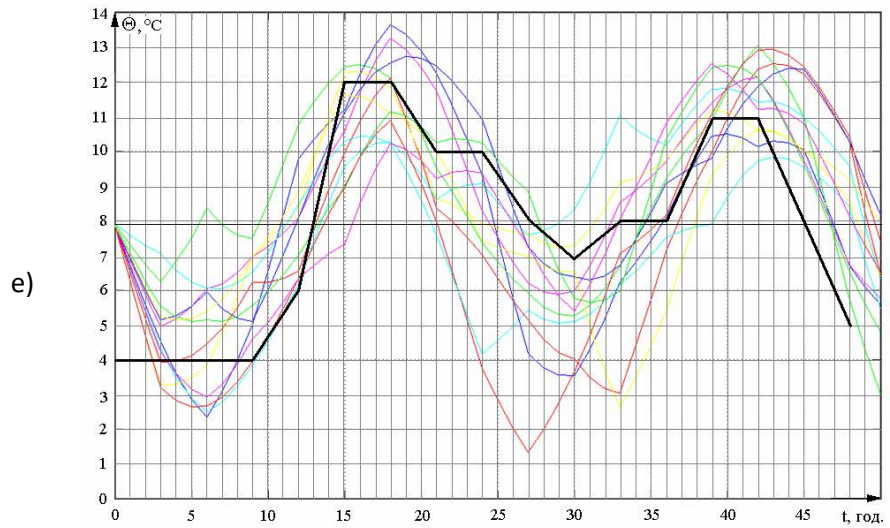
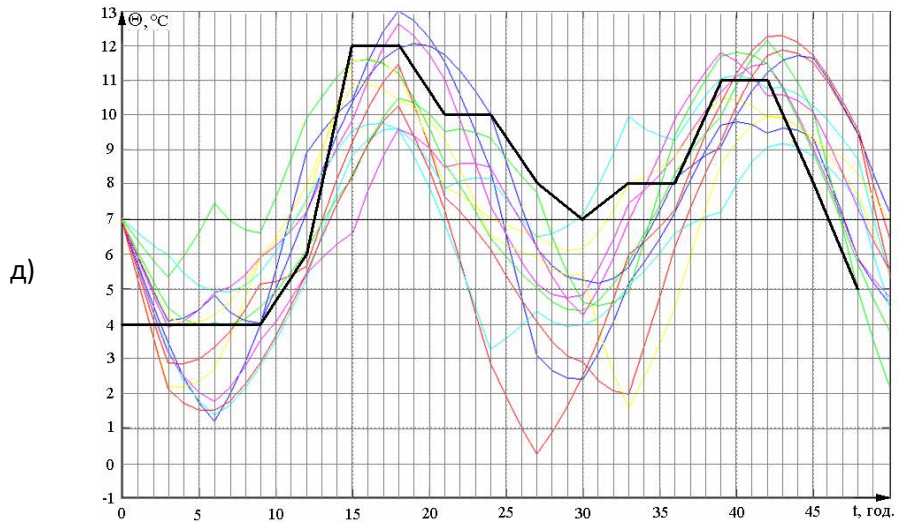
Відтворення температурного образу, що належить до першого класу

(а, б, в – перший, другий та третій етапи відтворення відповідно)

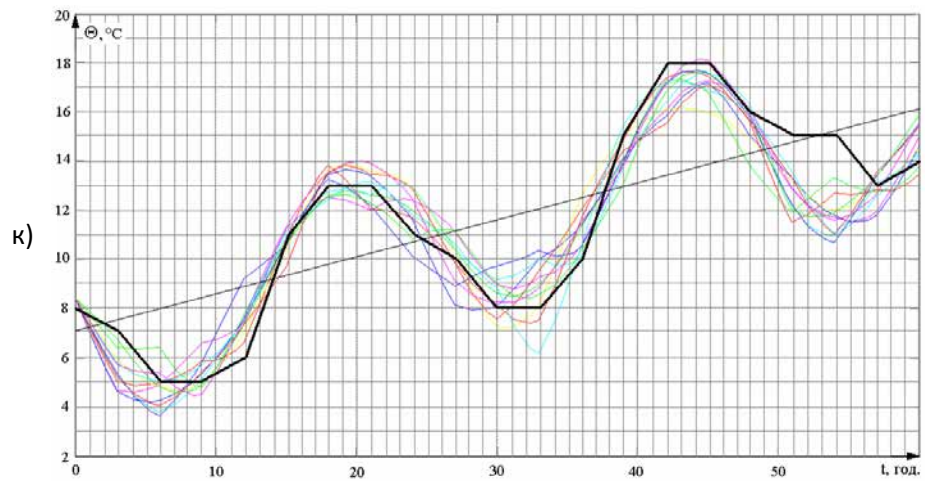
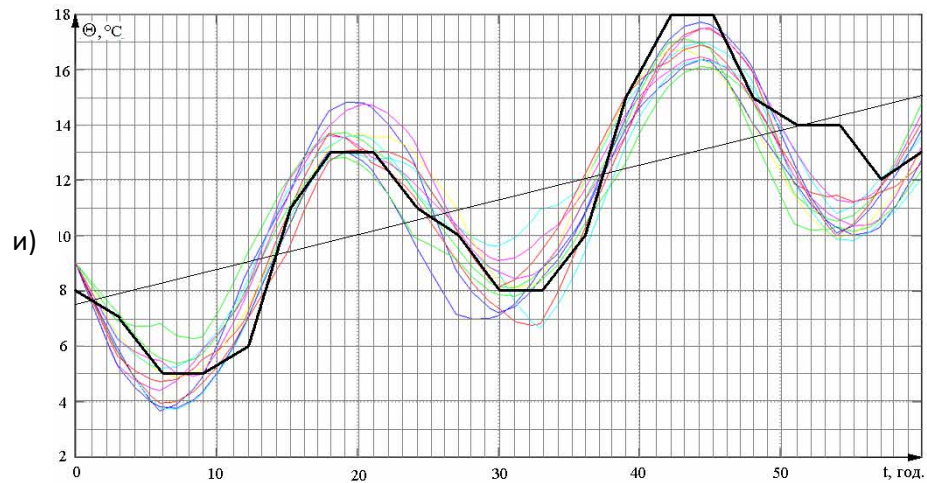
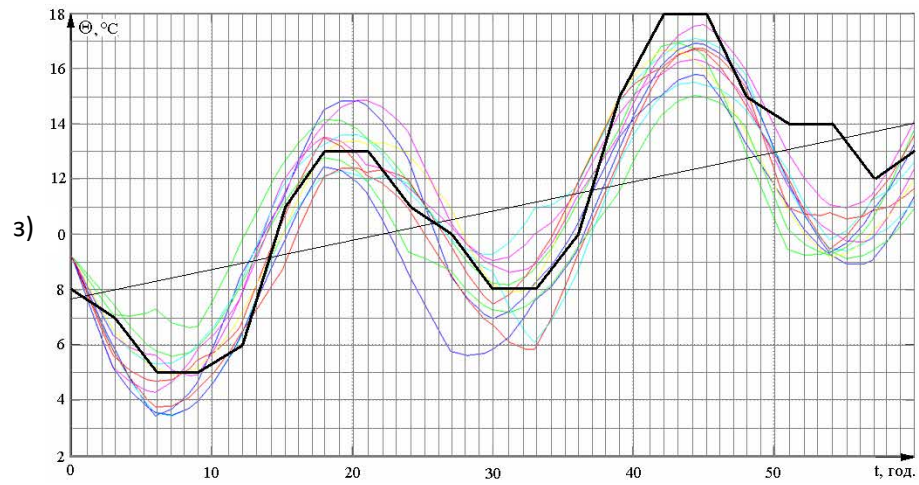


Відтворення температурного образу, що належить до третього класу

(д, е, ж – перший, другий та третій етапи відтворення відповідно)



Відтворення температурного образу, що належить до четвертого класу
(з, и, к – перший, другий та третій етапи відтворення відповідно)



ДОДАТОК В

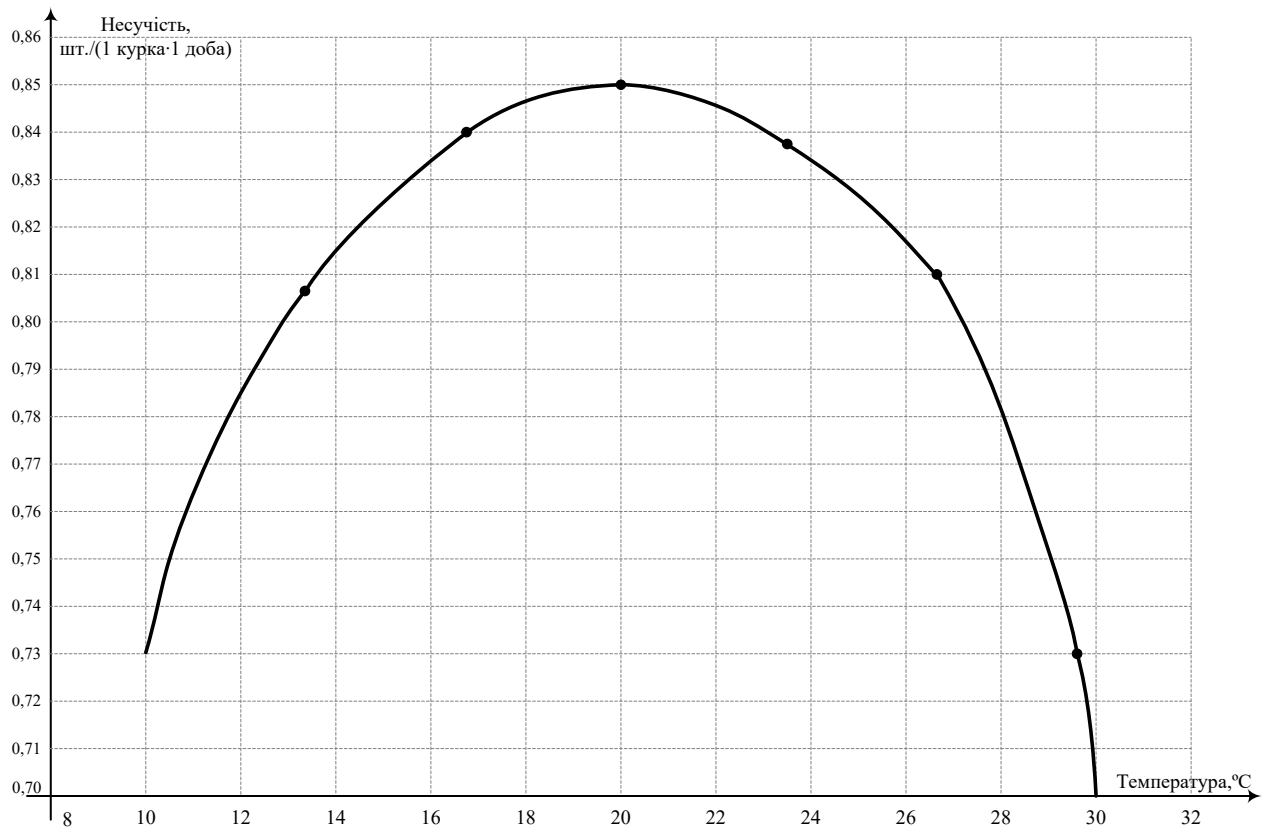


Рис. В1. Залежність середньої несучості курей за весь період їх утримання від температури повітря у пташнику

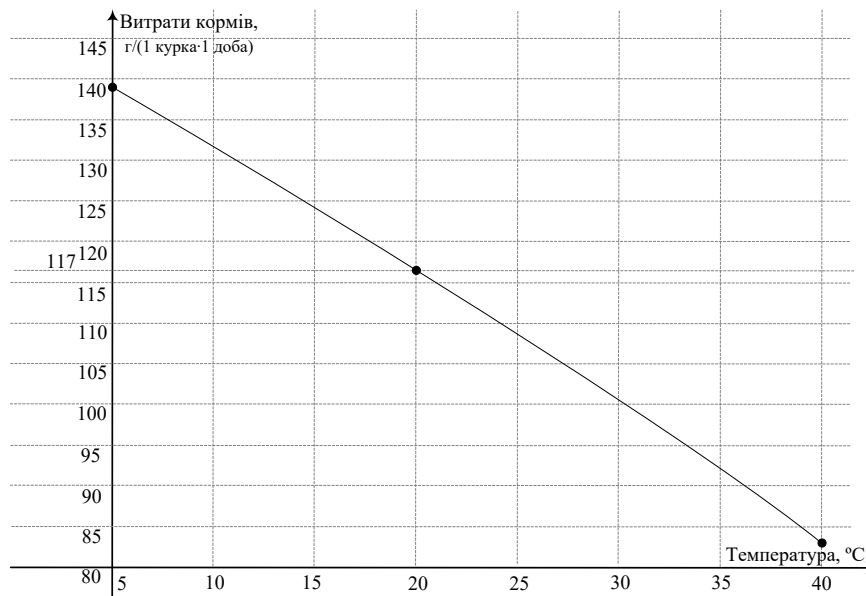


Рис. В2. Залежність середніх витрат кормів від усталених температурних параметрів при зміні температури повітря від +5 °C до +40 °C

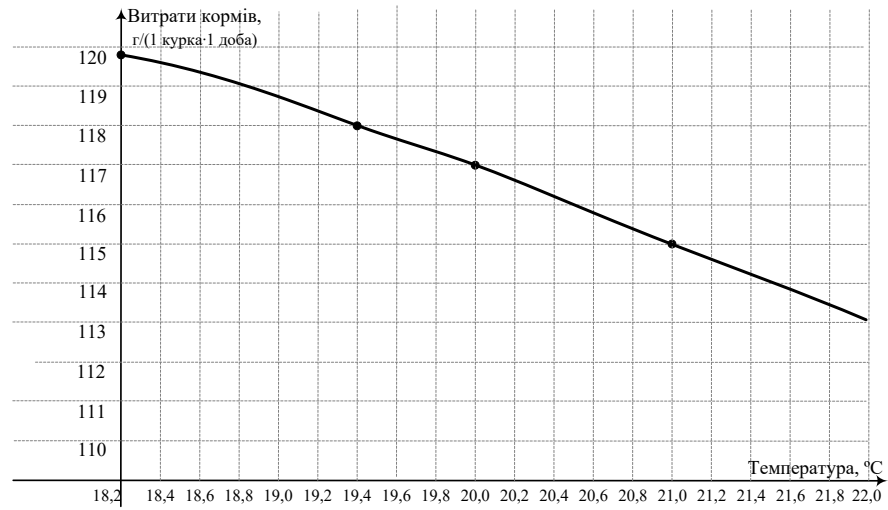


Рис. В3. Залежність середніх витрат кормів від усталених температурних параметрів для робочої зони з межами температур від +18 °C до +20 °C

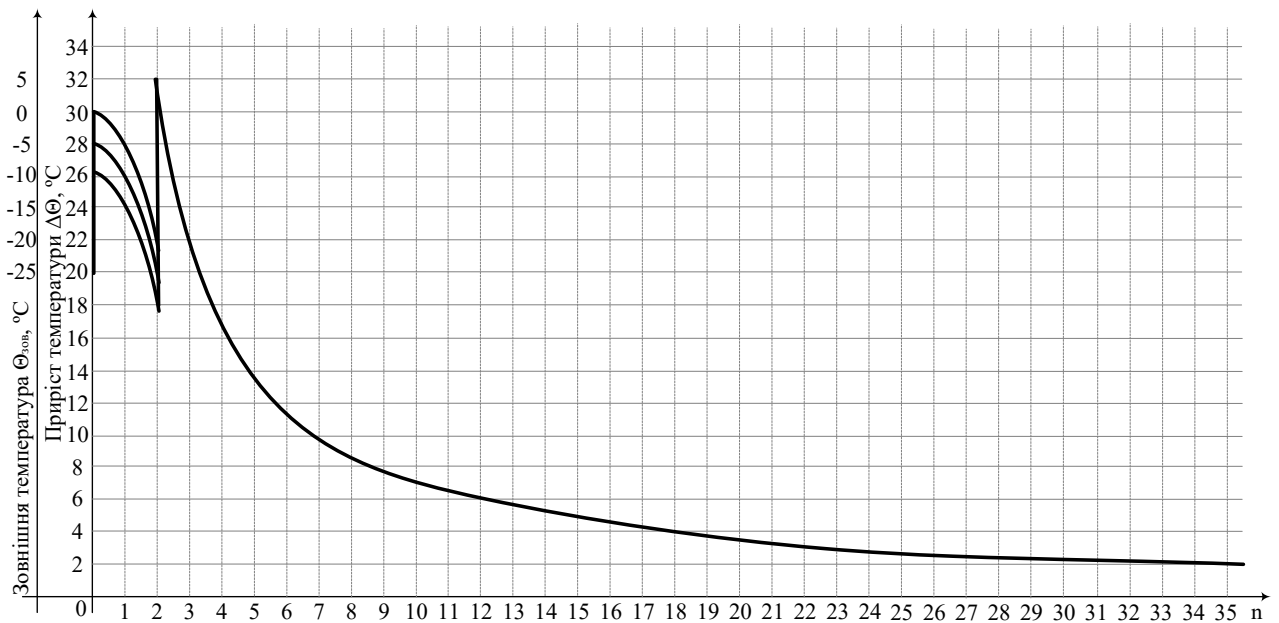


Рис. В4. Приріст температури повітря в пташнику від тепловиділення птиці залежно від кратності повітрообміну (n)

ДОДАТОК Г

Таблиця Г1. Відомість електротехнічних приладів, технічних засобів автоматичної та пуско-захисної апаратури

<i>Поз. позначення</i>	<i>Назва</i>	<i>Кількість</i>	<i>Примітки</i>
<i>QF1</i>	<i>Автомат захисту двигуна SIE.3RV2011-4AA10</i>	<i>1</i>	<i>3п</i>
<i>QF2-6</i>	<i>Автомат захисту двигуна SIE.3RV2011-1AA15</i>	<i>5</i>	<i>3п</i>
<i>QF7</i>	<i>Вимикач автоматичний iK60N</i>	<i>1</i>	<i>2п</i>
<i>QF8</i>	<i>Автомат захисту двигуна Eaton MS-0.16/2</i>	<i>1</i>	<i>1п</i>
<i>M1-3</i>	<i>Електродвигун системи вентилявання</i>	<i>3</i>	<i>3 кВт</i>
<i>M4-8</i>	<i>Електродвигун системи вентилявання</i>	<i>5</i>	<i>0,37 кВт</i>
<i>M9</i>	<i>Електродвигун приводу вентиляційних отворів</i>	<i>1</i>	<i>0,16 кВт</i>
<i>U1</i>	<i>Перетворювач частоти SINAMICS G120C</i>	<i>1</i>	<i>6SL3210-1KE15-8A</i>
<i>D1.1</i>	<i>Модуль живлення PS 307 5A</i>	<i>1</i>	<i>24 В, 5A</i>
<i>D1.2</i>	<i>Модуль процесора S7-1200</i>	<i>1</i>	<i>CPU 1215C</i>
<i>D1.3</i>	<i>Модуль аналогового введення AI8</i>	<i>1</i>	<i>6ES7531-7KF00-0AB0</i>
<i>D2-5</i>	<i>Датчик температури повітря TCM</i>	<i>3</i>	
<i>D6-7</i>	<i>Датчик вологості повітря QFM2120</i>	<i>2</i>	
<i>KM1-7</i>	<i>Пускач електромагнітний 3RT2026-1BB40</i>	<i>7</i>	
<i>KL 1-2</i>	<i>Проміжне реле LZS-PT2D5T30</i>	<i>2</i>	<i>230 В</i>
<i>KL3-11</i>	<i>Проміжне реле LZS-PT3A5L24</i>	<i>9</i>	<i>24 В</i>
<i>KL 12</i>	<i>Проміжне реле LZS-PT3A5L24</i>	<i>1</i>	<i>до теплогенератора</i>
<i>SB1-8</i>	<i>Кнопка "Старт-Стоп" 3SU1000-3AB42-0AK0</i>	<i>8</i>	<i>3SU15501AA 101LA0</i>
<i>SB3-6</i>	<i>Кнопка без фіксації "Старт" зелена 3SU1000</i>	<i>5</i>	<i>0AB40-0AA0-Z Y12</i>
<i>SA1</i>	<i>Селекторний перемикач 3SU1100-2BF60-3MA0</i>	<i>1</i>	
<i>SQ1-2</i>	<i>Кінцевий вимикач 3SE5 112-0CH01</i>	<i>2</i>	
<i>HL1-15</i>	<i>Лампа сигнальна червона 3SU1106-6AA20-1AA0</i>	<i>15</i>	
<i>HL 16</i>	<i>Лампа сигнальна зелена 3SU1102-6AA40-1AA0</i>	<i>1</i>	

ДОДАТОК Д

Алгоритм функціонування системи автоматизованого керування



