

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Інтелектуальна система автоматизованого керування мікрокліматом у
приміщеннях для утримання тварин

Виконав: студент 4 курсу, групи 401МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Рябінов А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Галай В.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Леві Л.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи

«Інтелектуальна система автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин»

Робота містить 49 сторінок, 28 ілюстрацій, 4 таблиць, 20 використаних джерел.

Ключові слова: автоматизація, моделювання, мікроклімат, температура, вологість, загазованість, алгоритм.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є процеси регулювання обігрівом, вентиляцією, вологістю, загазованістю, освітленістю приміщення для утримання великої рогатої худоби.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є САК мікрокліматом приміщення для утримання великої рогатої худоби.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення інтелектуальної системи автоматизованого керування мікрокліматом у тваринницьких приміщеннях для забезпечення гігієнічних умов утримання тварин.

Доведена необхідність розробки систем моніторингу та регулювання мікроклімату у приміщеннях утримання тварин, що диктується необхідністю реалізації повною мірою високого рівня генетичного потенціалу сучасних тварин. Розроблена структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування по каналу температури та вологості. Сформульовано вимоги до системи моніторингу мікроклімату. Розроблена функціональна схема автоматизації приміщення утримання тварин, на якій схематично показані канали регулювання мікрокліматом. Обрані сучасні, швидкодіючі засоби автоматизації та виконавчі механізми, що відповідають поставленим вимогам. Розроблено алгоритм керування мікрокліматом.

ABSTRACT

of the qualification work

"Intelligent system of automated microclimate control in livestock premises to ensure hygienic conditions for keeping cattle"

The work contains 49 pages, 28 illustrations, 4 tables, 20 sources used.

Keywords: automation, modeling, microclimate, temperature, humidity, gas contamination, algorithm.

The object of the bachelor's qualification work is the processes of regulating heating, ventilation, humidity, gas contamination, lighting of premises for keeping cattle.

The subject of the bachelor's qualification work is the possibility of developing an automated microclimate control system for premises for keeping cattle.

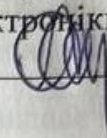
The purpose of the bachelor's qualification work is to develop an intelligent system of automated microclimate control in livestock premises to ensure hygienic conditions for keeping cattle.

The need to develop systems for monitoring and regulating the microclimate in cattle housing is proven, which is dictated by the need to fully realize the high level of genetic potential of modern animals. A structural and algorithmic scheme of an automatic control system via the temperature and humidity channel has been developed. Requirements for a microclimate monitoring system have been formulated. A functional scheme for automation in cattle housing has been developed, which schematically shows the microclimate regulation channels. Modern, high-speed automation tools and actuators that meet the requirements have been selected. A microclimate control algorithm has been developed.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної, електроніки та телекомунікацій



О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Рябінову Артуру Володимировичу

1. Тема проекту (роботи) **«Інтелектуальна система автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин»**. Керівник проекту **Галай Василь Миколайович, к.т.н., доцент, затверджена наказом вищого навчального закладу №306/1 ф.а від 03.03.2025 року.**
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) межі коливання температури – від 4 до 20 °С; межі коливання вологості– від 40 до 70%; обмін повітря на 1ц маси – 17 м³/год взимку до 35 м³/год влітку; концентрація вуглекислого газу – 0,25%; концентрація аміаку – 20мг/м³; концентрація сірководню – 10мг/м³.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Мікроклімат приміщення для утримання ВРХ. Аналіз існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання ВРХ. Мікроклімат приміщення для утримання ВРХ як об'єкт автоматизації. Розроблення математичної моделі технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції. Створення функціональної та структурно-алгоритмічної схем. Дослідження системи на стійкість та якість регулювання. Перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості. Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання ВРХ. Вибір датчиків. Вибір виконавчих механізмів. Розроблення алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання ВРХ.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1. Актуальність, мета та задачі розроблення інтелектуальної системи автоматизованого керування мікрокліматом.
 2. Аналіз основних характеристик мікроклімату приміщення для утримання тварин.
 3. Мікроклімат приміщення як об'єкт автоматизації.

4. Математична модель потоків тепла, вологості в приміщенні для утримання тварин.
5. Дослідження системи регулювання температури приміщення для утримання тварин.
6. Дослідження системи регулювання вологості приміщення для утримання тварин.
7. Блок-схема автоматизованої САК приміщення для утримання тварин.
8. Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин.
9. Алгоритм керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин.
10. Висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

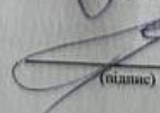
Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Дата початку	Рівень	Відсоток	
1	Мікроклімат приміщення для утримання ВРХ. Аналіз існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання ВРХ	15.04.25		10%	Пл. 1, 2
2	Мікроклімат приміщення для утримання ВРХ як об'єкт автоматизації. Розроблення математичної моделі технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції	22.04.25	I	20%	Пл. 3, 4
3	Створення функціональної та структурно-алгоритмічної схем. Дослідження системи на стійкість та якість регулювання. Перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості	08.05.25		30%	Пл. 5
4	Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання ВРХ. Вибір датчиків. Вибір виконавчих механізмів	22.05.25	II	40%	Пл. 6, 7
5	Розроблення алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання ВРХ	30.05.25		70%	Пл. 8, 9
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.06.25	III	100%	

Студент


(підпис)

Рябіннов А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Галай В.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН	
1.1 Мікроклімат приміщення для утримання тварин	9
1.2 Аналіз існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання тварин	13
1.3 Мікроклімат приміщення для утримання тварин як об'єкт автоматизації	16
2. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУЛЬНОЇ САК МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН	
2.1 Розроблення математичної моделі потоків тепла, вологості в приміщенні для утримання тварин та їх дослідження	18
2.2 Розроблення функціональної та структурно-алгоритмічної схем	27
2.3 Дослідження системи на стійкість та якість регулювання	31
2.4 Перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості	33
3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ САК МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН	
3.1 Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин	35
3.2 Вибір датчиків	37
3.3 Вибір виконавчих механізмів	43
3.4 Розроблення алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання тварин	45
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТОК А	51
ДОДАТОК Б	60

ВСТУП

Актуальність роботи. Величка частина тварин утримуються на фермах, в окремих приміщеннях, що мають на увазі знаходження тварин в обмеженому просторі. Такий спосіб утримання вимагає особливої уваги до умов, в яких вирощуються тварини. Температура, вологість, атмосферний тиск, освітленість, вентиляція – це не весь перелік факторів, що мають значний вплив на процес вирощування тварин. До цих факторів окремим важливим пунктом можна віднести загазованість приміщення, а саме концентрація вуглекислого газу, аміаку, сірководню. Ці всі фактори впливають на здоров'я, продуктивність, розмноження тварин. Актуальним завданням є можливість керувати цими факторами для забезпечення сприятливих умов для існування тварин. Досягти цього можливо за допомогою спеціального обладнання, а саме датчиків, контролерів, виконавчих механізмів, що в сукупності складають інтелектуальну систему керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин.

Тому **метою** кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення інтелектуальної системи автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин.

Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є процеси регулювання обігрівом, вентиляцією, вологістю, загазованістю, освітленістю приміщення для утримання тварин.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання:**

- провести аналіз мікроклімату приміщення для утримання тварин;
- проаналізувати існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання тварин;

- розглянути мікроклімат приміщення для утримання тварин як об'єкт автоматизації;
- розробити математичну модель технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції;
- створити функціональної та структурно-алгоритмічної схем;
- дослідити системи на стійкість та якість регулювання;
- оцінити перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості;
- побудувати функціональну схему САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин;
- обрати датчики та виконавчі механізми САК;
- розроблення алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання тварин.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених наукових завдань будуть використані основні положення електричних вимірювань, методи з планування експерименту, методи кореляційного і регресійного аналізу, метод об'єктно-візуального моделювання. Обчислення і моделювання проводилися із застосуванням пакетів програм Excel, Matlab.

1. МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН

1.1 Мікроклімат приміщення для утримання тварин

За ступенем впливу на продуктивність тварин мікроклімат приміщення поступається лише впливу породи та годівлі. Параметри мікроклімату, які рекомендується підтримувати у приміщеннях, містяться у відповідних нормах технологічного проектування тваринницьких ферм та повинні витримуватися незалежно від пори року, стану погоди та інших значущих факторів.

Таблиця 1.1 – Нормативні показники мікроклімату для утримування тварин [1]

Параметр	Показник
Температура, °С	10 (8-12)
Відносна вологість, %	
Обмін повітря, м ³ /год на 1 ц маси:	
зима	17
перехідний період	35
літо	70
Швидкість руху повітря, м/с:	
зима	0,3-0,4
перехідний період	0,5
літо	0,8-1,0
Допустима концентрація шкідливих газів	
вуглекислий газ, %	0,25
аміак, мг/м ³	20,0
сірководень, мг/м ³	5,0
Освітленість, лк	20-70

Окремий вид тварин має свої певні особливості, в тому числі зони комфорту. На зони комфорту впливають пори року, порода тварин, вік, продуктивність, умови утримання та годування. Для порід великої рогатої худоби зона нейтральності знаходиться в діапазоні температур від +4 до +20 °С, високопродуктивних корів – від +9 до +16 °С. Так, зниження надої при температурі повітря в приміщенні 25 °С досягає 17%, 30 °С - близько 33%, при

35 °C - близько 56%. Якщо за 100% взяти удій, отриманий за температури 10 °C, то в середньому втрати молока при мінус 5 °C становитимуть 14%, при плюс 5 °C – 5% [2].

Особливо важливе та критичне зоогігієнічне значення для утримання тварин мають: температура, вологість, концентрація шкідливих газів, освітленість.

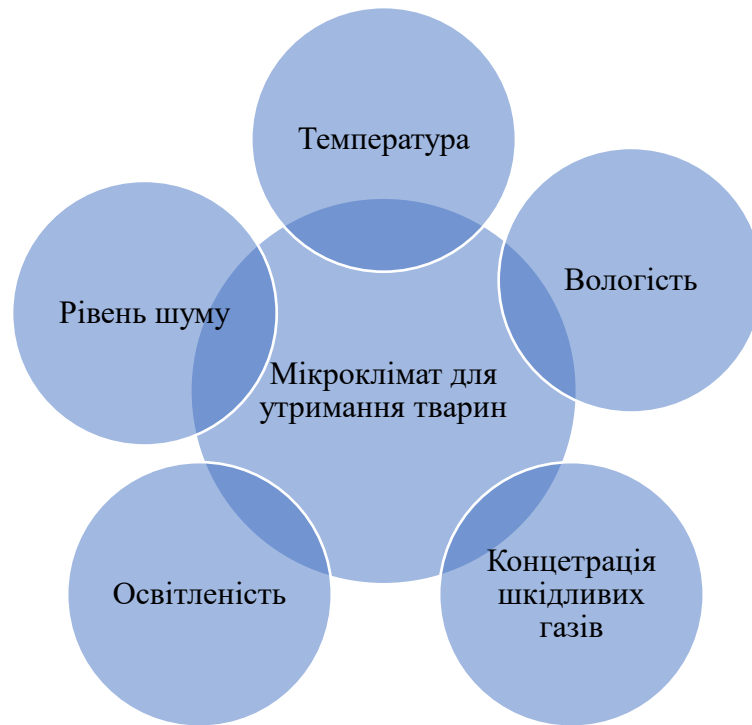


Рисунок 1.1 – Матриця мікроклімату приміщення для утримання тварин

Температура. В процесі своєї життєдіяльності тварини можуть відчувати як перегрівання, так і переохолодження, та досить відчутно реагувати на такі процеси. Тварини витрачають свою енергію на зігрівання, якщо температура буде нижче 12⁰C. Це в свою чергу значно впливає на їх стан та продуктивність, розмноження. Досліджено, що температура повітря впливає на рівень теплопродукції тварин, а також на процеси теплообміну між організмом тварини і навколишнім середовищем. Зниження апетиту, вироблення ферментів, порушення травлення спостерігається у тварин у випадку підвищення температури вище оптимальної. Частота дихання у тварин при надмірно високих температурах може варіюватися в залежності від

віку, вгодованості та фізіологічного стану, збільшуючись з 15 до 120 вдихів на хвилину. Це в свою чергу впливає на ефективність вирощування тварин. При такому впливі температури слід чітко дотримуватись температурного режиму, що забезпечується виколристанням системи опалення та вентиляції. При встановленні датчика температури комп'ютер мікроклімату самостійно регулюватиме роботу систем вентиляції та обігріву при виході за межі норми. Гіпертермією прийнято називати явище, коли при надмірно високій температурі порушуються механізми терморегуляції тварин, що призводить до накопичення надлишку тепла в організмі. Крім високої температури, до перегрівання тварин можуть привести підвищена вологість та недостатня циркуляція повітря в приміщенні, де вирощуються тварини. Гіпертермія також посилюється під час швидкого руху тварини, їх скупченого утримання, ожиріння тварини чи захворювань органів дихання [3].

Вологість. Основними джерелами водяних парів, що потрапляють у приміщення для утримання тварин, є атмосферне повітря, підлога, з поверхні шкіри та дихвальних шляхів тварин. Відносна вологість нерозривно взаємопов'язана із температурою навколишнього середовища. Наслідками підвищеної вологості є поява хвороботворних мікроорганізмів, вірусів.

Як результат, тварини будуть хворіти на застуди тощо. У свою чергу це буде впливати на продуктивність та їх здоров'я. Вплинути на рівень відносної вологості можна за допомогою опалення та вентиляції. Показники вологості повинні знаходитись в межах нормативних для утримання тварин 40-85 %. Нижче 40 % повітря вважається сухим, вище 85 % надто вологим. Система керування відносною вологістю включає в себе датчик вологості, контролер та виконавчий механізм. Алгоритм роботи інтелектуальної системи наступний: з датчика вологості сигнал надходить на контролер, в якому задані необхідні параметр меж вологості; з контролера команда надходить на виконавчий механізм, в нашому випадку на систему опалення чи вентиляції.

Концентрація шкідливих газів. Важливим показником інтенсивності є швидкість руху повітря у приміщеннях та його обмін. Цей показник варто

розглядати у парі з температурою повітря, адже однакова швидкість руху може мати різний фізіологічний вплив при різних температурах. Сухість повітря є наслідком сильного повітробміну в приміщенні. Грибки, мікроби, пліснява, збільшення концентрації шкідливих газів (вуглекислого газу, аміаку, сірководню) є наслідком низької швидкості переміщення повітряних потоків. Вміст вуглекислого газу у повітрі приміщення для утримання тварин змінюється при недостатній вентиляції, як природній, так і примусовій. У видихуваному тваринами повітрі концентрація вуглекислого газу значно зростає, а вміст кисню зменшується, тому варто притримуватись норм кількості тварин на площу приміщення. Підвищений рівень аміаку та сірководню викликає у тварин захворювання органів дихання, пневмонію, запалення легень. Належний повітрообмін відчутно впливає на здоров'я та продуктивність тварин. Для забезпечення сприятливого мікроклімату необхідно встановити датчики вуглекислого газу, аміаку, сірководню. Якщо показники будуть виходити за межі встановлених в програмі, контролер подає команду на систему вентиляції.

Освітленість. Самопочуття тварин, їх продуктивність напряму залежать від рівня освітленості. Особлив в зимній період року рівень освітленості недостатній. Рівень освітленості розраховується із співвідношення площі вікон та площі підлоги. Норми штучного освітлення складають 50-75 люкс для телят та, відповідно, 20-30 люкс для молодняку на відгодівлі. У нічний час необхідно забезпечити чергове освітлення на рівні 15-20% від загальної інтенсивності. Встановлення світлоаераційного коника, вентиляційних штор, додаткової кількості ламп штучного освітлення можна досягти необхідного рівня освітлення. Світло достатньої інтенсивності активізує центральну нервову систему тварин та стимулює обмінні процеси. Досягти норми освітлення можливо при встановленні датчика освітленості, що подасть сигнал на контролер при виході кількості за встановленні у програмі норми. Контролер дасть команду на ввімкнення додаткового штучного освітлення.

Рівень шуму. Рівень шуму у приміщенні також може бути досить високим: він виникає при підготовці та роздачі кормів, очищення приміщень, цілодобово працюють різні механізми та обладнання. Це негативно відбивається на стані тварин.

Беручи до уваги нормативні показники мікроклімату у приміщенні для утримання тварин та негативних вплив на стан, репродуктивність питання моніторингу та підтримки цих значень у нормованих значеннях є досить актуальним.

1.2 Аналіз існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання тварин

Моніторинг параметрів мікроклімату обумовлений необхідністю контролю за забрудненням довкілля продуктами життєдіяльності тварин: гній, стоки, парникові гази.

Екологічно безпечне функціонування тваринництва забезпечується за рахунок здійснення системи екологічного менеджменту (екологічний виробничий контроль). Моніторинг ведеться виходячи з інформації, одержуваної від засобів обліку. Ці дані дозволяють подати показники підприємства з метою оцінки підприємства загалом з позицій НДТ, зокрема одержати розрахункові значення питомих викидів шкідливих і парникових газів [3].

Для вимірювання всіх цих параметрів можуть використовуватися аналогові та цифрові датчики з обробкою комп'ютерної отриманих сигналів. Доцільно застосування цифрових датчиків, оскільки вони мають нижчі показники енергоспоживання та габаритні розміри.

В даний час пропонується ряд систем моніторингу та керування мікрокліматом у тваринницькому приміщенні, що відрізняються контрольованими параметрами та вартістю. У таблиці 1.2 наведено контрольовані параметри найпоширеніших систем моніторингу параметрів

мікроклімату. З таблиці видно, що майже всіма представленими системами контролюються температура і вологість повітря у приміщенні, меншою мірою враховується концентрація вуглекислого газу. Тільки однією системою контролюється швидкість і напрям вітру, і у всіх виключений контроль концентрації аміаку та сірководню, що є їх недоліком [4].

Таблиця 1.2 – Контрольовані параметри мікроклімату в системах, що аналізуються

Контрольовані параметри	DeLaval (Данія)	Rotem (Ізраїль)	Venton ПП «Вентура» (Україна)
Температура повітря в приміщенні	+	+	+
Температура зовнішнього повітря	-	+	+
Відносна вологість повітря в приміщенні	-	+	+
Швидкість руху повітря в приміщенні	-	-	-
Напрямок та швидкість вітру	-	+	-
Концентрація CO ₂	-	-	+
Концентрація NH ₃	-	-	+
Концентрація H ₂ S	-	-	-

Система керування мікрокліматом «Контролер керування мікрокліматом у тваринницьких приміщеннях BSC» фірми DeLaval являє собою інтегровану систему централізованого контролю та керування технологічним обладнанням у тваринницьких приміщеннях. піктографічним інтерфейсом користувача, який дозволяє оператору контролювати параметри мікроклімату та керувати обладнанням в корівнику. Система керування дозволяє оптимізувати виконання технологічних процесів, забезпечити необхідний температурний режим для тварин [4].

Фірмою Rotem (Ізраїль) пропонується серія приладів технологічного контролю Smart Controllers. Вони призначені для контролю вологості та

температури повітря в приміщеннях та зовнішніх погодних умов. Всі контролери можуть працювати спільно, об'єднані в локальну мережу. Склад системи: 3 датчики температури, датчик вологості, лічильник витрати води, 2 цифрові входи на контролері для підключення додаткових пристроїв, можливість зв'язку з комп'ютером, знімний модуль пам'яті (типу Flash). Недоліком цієї системи є відсутність контролю газового складу повітря [12].

Фірмою ПП «Вентура» (Україна) розроблений блок керування кліматом Venton. Даний блок досить універсальний, може використовуватись як для тварин, так і рослин. До його функціоналу входить керування: температурний режим, режим вологи, вентиляційний режим. Керування відбувається за допомогою спеціальної програми.

Основні функціональні можливості представлені на рисунку 1.2.

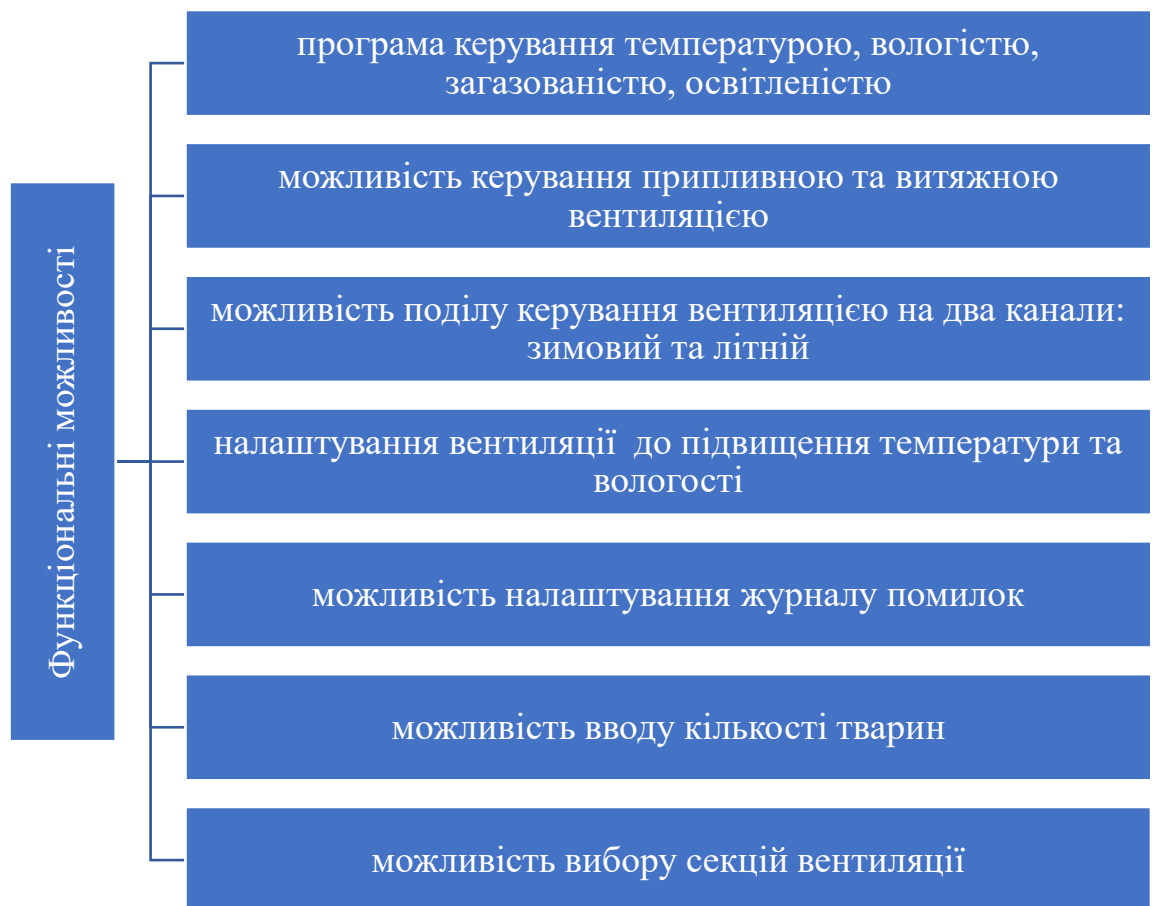


Рисунок 1.2 – Функціональні можливості блоку керування мікрокліматом Venton

З розглянутих варіантів найбільших технічних можливостей має система DeLaval. Недоліком, на наш погляд, є відсутність контролю газового складу повітря (CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 тощо). Високий технічний рівень за відсутності кваліфікованих кадрів на селі значно знижує можливість та ефективно використання даного обладнання у сільськогосподарському виробництві.

Отже, враховуючі переваги та недоліки існуючих інтелектуальних систем керування мікрокліматом, необхідно розробити актуальну схему пристрою моніторингу за мікрокліматом приміщення для утримання тварин.

1.3 Мікроклімат приміщення для утримання тварин як об'єкт автоматизації

Для початку розробимо модель пристрою моніторингу параметрів мікроклімату [5]. Корисна модель відноситься до технологій утримання тварин, і може бути використана на фермах з різними способами утримання та поголів'ям тварин. На рисунку 1.3 представлено блок-схему пристрою моніторингу параметрів мікроклімату в приміщеннях для утримання тварин.

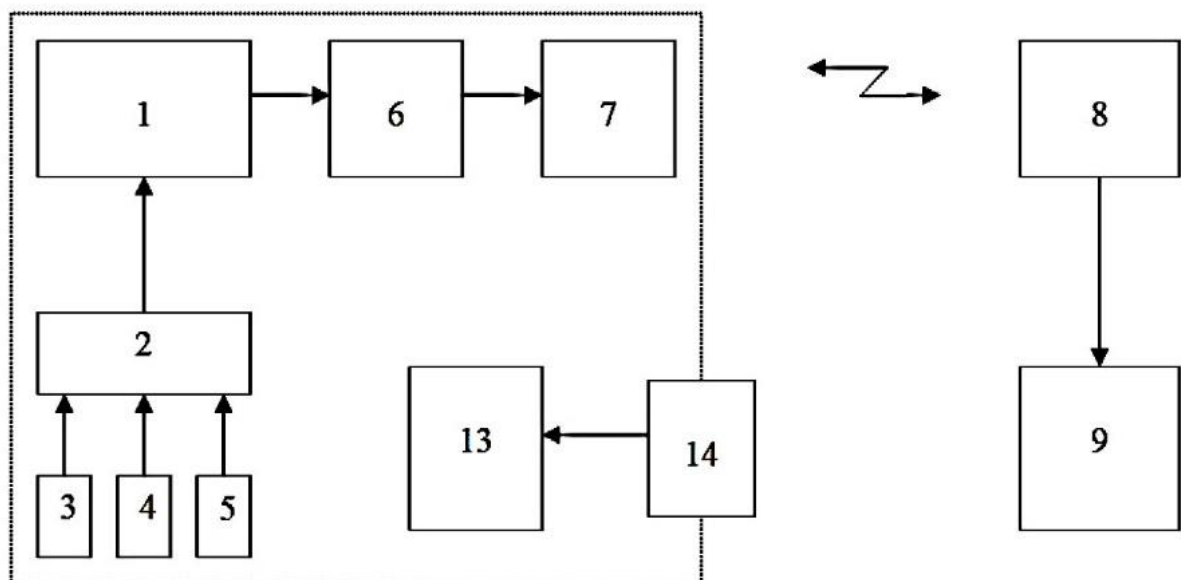


Рисунок 1.3 - Блок-схема пристрою моніторингу параметрів мікроклімату

Пристрій моніторингу параметрів мікроклімату містить блок контролю 1, перетворювач параметрів датчиків 2, датчики температури 3, вологий канал 9. Джерело живлення пристрою 13 має роз'єм 14 на зовнішній поверхні корпусу. Для реалізації запропонованих рішень необхідно вибрати засоби автоматизації. У таблиці 1.2 представлені основні датчики параметрів мікроклімату для системи контролю параметрів мікроклімату як інноваційного продукту.

Таблиця 1.3 – Основні напрямки автоматизації приміщення

	Діапазон вимірювань	Похибка	Вихідний сигнал
Датчик температури та вологості	-20...+70 °C	0,5°C	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
	0...95%	3,0%	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
Датчик вуглекислого газу CO ₂	0...5000ppm	100ppm	4...20 мА
Датчик концентрації NH ₃	0...64мг/м ³	5%	4...20 мА
Датчик концентрації CH ₄	0...3,7% об	25%	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
Перетворювач швидкості потоку повітря	0...10м/с	3%	0...10В 4...20 мА

Висновки за розділом

Необхідність розробки систем моніторингу мікроклімату у приміщеннях утримання тварин диктується необхідністю реалізації повною мірою високого рівня генетичного потенціалу сучасних тварин. Сформульовано вимоги до системи моніторингу мікроклімату: масштабованість, виконання на сучасних засобах автоматизації, простота в експлуатації, обслуговуванні та ремонті. Контролю підлягають такі параметри мікроклімату – температура та відносна вологість повітря, швидкість руху повітря у приміщенні, концентрація вуглекислого газу, аміаку, сірководню, освітленість.

2. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ САК МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН

2.1 Розроблення математичної моделі потоків тепла, вологості в приміщенні для утримання тварин та їх дослідження

Для забезпечення гігієнічних умов вирощування тварин протягом календарного року, приміщення потребує системи обігріву повітря та підлоги. Відповідно до цієї вимоги буде розроблено математичну модель обігріву приміщення для утримання тварин. Дана модель надасть повний спектр інформації про потоки тепла в приміщенні для утримання тварин та полегшить завдання розроблення математичної моделі [6].

Припустимо, що температура повітря t_p є сталою на всій площі приміщення, а температура теплоносія t_v дорівнює середньоарифметичному значенню різниці між температурами гарячої води, що подається в труби t_g та води, що виходить з приміщення t_y . На рисунку 2.1 можливо представити блок-схему потоків тепла можна представити у вигляді двох ланок: води, яка слугує джерелом тепла, та повітря, яке приймає це тепло.

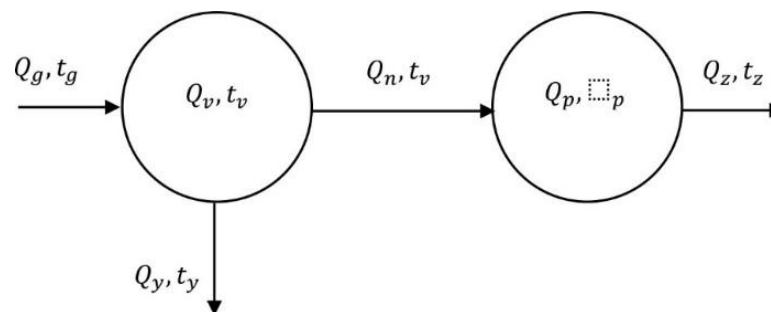


Рисунок 2.1 – Блок-схема потоків тепла в приміщенні
для утримання тварин

t_g - температура води на вході; t_v - температура води в трубах;
 t_y - температура води на виході; t_p - температура повітря; t_z - зовнішня температура;
 Q_g - тепло введене водою; Q_v - тепло у воді; Q_y - тепло виведене водою;
 Q_n - тепло перейняте повітрям; Q_p - тепло у повітрі;
 Q_z - втрачене тепло

Відзначимо, що у статичному режимі тепло у воді Q_v та тепло у повітрі

Q_p не змінюються. Після таких роздумів, ми можемо сформулювати рівняння теплового балансу для води та рівняння теплового балансу для повітря в приміщенні, де утримується велика рогата худоба [7]:

$$Q_{,q} - Q_y - Q_n = Q_n - Q_z = 0; \quad (2.1)$$

де: Q_q – тепло введене водою;

Q_y – тепло виведене водою;

Q_n – тепло перейняте повітрям;

Q_z – втрачене тепло.

Теплоємність теплоносія C_v , продуктивність насоса G_n , густина теплоносія ρ_v , та температура теплоносія мають значний вплив на тепло, яке надходить та виходить із системи опалення за одну секунду. Кількість тепла в системі опалення також залежить від об'єму теплоносія в системі V_v .

Виходячі з вищенаведених міркувань маємо::

$$\begin{aligned} Q_{,q} &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_q; \\ Q_{,y} &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_y; \\ Q_{,v} &= C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot t_y; \end{aligned} \quad (2.2)$$

Температура в приміщенні для утримання тварин залежить від наступних параметрів: теплоємності повітря C_p , густини повітря ρ_p , температури повітря t_p , та об'єм опалюваного простору V_p . Виходячі з цього, запишемо наступне рівняння [8]:

$$\begin{aligned} Q_{,p} &= C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot t_p; \\ Q_{,p} &= C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot t_p; \end{aligned} \quad (2.3)$$

За відомим законом Фур'є розраховується тепло, яке передається від води до повітря в приміщенні для утримання тварин, а потім до навколишнього повітря:

$$Q_n = k_1 \cdot F_t \cdot (t_v - t_p);$$

$$Q_z = k_2 \cdot F_c \cdot (t_p - t_z); \quad (2.4)$$

де: k_1, k_2 – коефіцієнти теплопередачі через стінки труб системи опалення приміщення для утримання тварин і через скло вікон приміщення для утримання тварин;

F_t, F_c – поверхні труби і приміщення;

t_z – зовнішня температура.

Коефіцієнти з формули Фур'є розраховані за наступними формулами:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{vt}} + \frac{\delta_t}{\lambda_t} + \frac{1}{\alpha_{tp}}};$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{pc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{cz}}}; \quad (2.5)$$

де: $\alpha_{vt}, \alpha_{tp}, \alpha_{pc}, \alpha_{cz}$ – коефіцієнти тепловіддачі від води до стінки, від стінки до повітря, від повітря до скла, від скла назовні;

λ_t, λ_c – коефіцієнти теплопровідності труби та скла;

δ_t, δ_c – товща стінки та скла.

Всі попередні формули стосуються статичної можелі потоків тепла. Нам необхідно перейти від статичної моделі до динамічної. Враховуючи попередні рівняння, отримаємо систему диференційних рівнянь, яка описує зміну кількості тепла в часі у воді та повітрі. Розрахуємо похідні щодо середньої температури води t_v , та повітря t_p :[9]:

$$C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot \frac{dt_v}{d\tau} = C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_q - C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_y - k_1 \cdot F_t \cdot (t_v - t_p);$$

$$C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot \frac{dt_p}{d\tau} = k_1 \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_2 \cdot F_c \cdot (t_p - t_z); \quad (2.6)$$

Приймаючи $t_v = (t_q - t_y) / 2$ з рівняння отримуємо температуру

охолодженої води у приміщення для утримання тварин та підставляємо до рівняння (2.7). Наступним кроком необхідно записати рівняння у вигляді Коші:

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{2Gt_v}{V_v} \cdot (t_q - t_v) - \frac{k_1 \cdot F_1 \cdot (t_v - t_p)}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v};$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{k_1 \cdot F_1 \cdot (t_v - t_p) - k_2 \cdot F_c \cdot (t_p - t_z)}{C_p \cdot V_p \cdot \rho_p}; \quad (2.7)$$

У приміщенні для утримання тварин відбувається обмін вологи, на який впливають температура, процес випаровування відходів тощо. Для наглядного розуміння даного процесу зобразимо схематично потоки вологи в такому приміщенні. Схему статичного режиму візуалізовано на рисунку 2.2 [6].

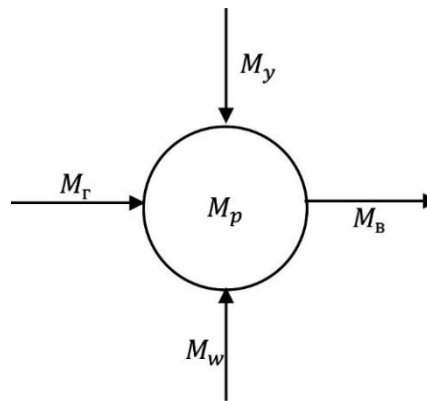


Рисунок 2.2 – Блок-схема потоків вологи в приміщенні
для утримання тварин

де: M_r – вологість що випаровується з навозу;

M_p – вологість у приміщенні;

M_w – вологість від води;

M_y, M_b – вологість, яку утворюється вентиляційним повітрям.

Ефективність підтримки вологості повітря залежить від дисперсності рідкої фази та різниці парціальних тисків. За інтенсивністю випаровування краплин можна кількісно оцінити цю ефективність, використовуючи відому формулу Максвела [7]:

$$\frac{dm_k(\tau)}{d\tau} = \frac{4 \cdot \pi \cdot \gamma_k(\tau) \cdot D \cdot (\theta) \cdot m_w \cdot [P_H(\theta) - P(d)]}{RT}; \quad (2.8)$$

де m_k, r_k – маса та радіус краплини;

$D(\theta)$ – коефіцієнт дифузії пари;

m_w, R – молекулярна вага води та газова стала для пари;

T – температура пари;

P_n, P_c – парціальний тиск пари в оточуючому середовищі.

Іншим варіантом представлення рівняння Максвелла є:

$$\frac{dm_k}{d\tau} = 4 \cdot \pi \cdot \gamma_k \cdot D \cdot \frac{\rho_v}{\rho_w} \cdot (d_n - d_c) \cdot 10^3; \quad (2.9)$$

де: d_c, d_n – вологовміст у повітрі та краплі;

ρ_w – густина повітря.

При постійному тиску та відсутності теплообміну з навколишнім середовищем процесу змішування у вологому повітрі отримане рівняння буде мати наступний вигляд:

$$m_v = \frac{di_2}{d\tau} = G_w \cdot i_w - G_v \cdot (i_2 - i_1); \quad (2.10)$$

$$m_w \cdot C_w \cdot \frac{d\theta_w}{d\tau} = G_w \cdot (d_2 - d_1) \cdot \gamma + G_w \cdot (\theta_{w1} - \theta_{w2}) \cdot C_w + \\ + G_v \cdot C_v \cdot (t_1 - t_2); \quad (2.11)$$

$$i_w = \frac{i_2 - i_1}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}; \quad (2.12)$$

де: i_w – ентальпія води, кДж/кг;

$$i_w = c_w \cdot \theta_w = 4,19\theta_w; \quad (2.13)$$

де θ_w – температура води, °С.

З урахуванням $i_w = a_1 \cdot t - b_1 d$ розв'язок для статичного режиму буде у вигляді наступної залежності [8]:

$$t_2 = \frac{G_w}{G_v \cdot a} \cdot (4,19 \cdot \theta_w - b \cdot 10^{-3}) + t_1; \quad (2.14)$$

Отже, маємо висновок, що вміст води не впливає на температуру води під час циркуляції в приміщенні для утримання тварин. Лише обсяг води має вплив на температури води, що циркулює в приміщенні.

$$m_v \cdot \frac{dM_p}{d\tau} = G_w \cdot d_w - G_v \cdot (M_p - d_1); \quad (2.15)$$

Використаємо рівняння, що є наближеним до ентальпії вологого повітря:

$$i_v = C_p \cdot t_v + \gamma_0 \cdot d_v \cdot \gamma_0 = 2500; \quad (2.16)$$

Диференційне рівняння, що описує зміну вологості в динамічному режимі, отримуємо, розв'язуючи рівняння (2.17):

$$\frac{m_v}{G_v} \cdot \frac{dM_p}{d\tau} + M_p = G_v \cdot 10^3 + G_v \cdot d_1; \quad (2.17)$$

В результаті цих розрахунків розроблена математична модель, що відображає зміни температури та вологості в приміщенні для утримання тварин. Дану модель представляємо у вигляді системи диференційних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dt_v}{d\tau} &= \frac{2 \cdot G_n}{V_v} \cdot (t_q - t_v) - \frac{k_1 \cdot F_t \cdot (t_v - t_p)}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}; \\ \frac{dt_p}{d\tau} &= \frac{k_1 \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_2 \cdot F_c \cdot (t_p - t_z)}{C_p \cdot V_p \cdot \rho_p}; \\ \frac{m_v}{G_v} \cdot \frac{dM_p}{d\tau} + M_p &= G_w \cdot 10^3 + G_v \cdot d_1; \end{aligned} \quad (2.18)$$

Для створення остаточної моделі об'єкта необхідно визначити коефіцієнти системи рівнянь (2.5). Знайдемо коефіцієнти теплопередачі, враховуючи розмірності наших змінних [9]:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{1000} + \frac{0,002}{50} + \frac{1}{15}} = 11,837 \text{ Вт / мград.} \quad (2.19)$$

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{7,5} + \frac{0,004}{0,74} + \frac{1}{10}} = 4,189 \text{ Вт / мград.} \quad (2.20)$$

Труби мають об'єм 80 м^3 і діаметр 44 мм . Визначимо їх довжину:

$$L = \frac{80}{\frac{3,14 \cdot 0,044^2}{4}} = 51613,2 \text{ м.} \quad (2.21)$$

Наступним кроком визначимо поверхню теплообміну:

$$F_t = 51613,2 \cdot 3,14 \cdot 0,048 = 7933,9 \text{ м}^2. \quad (2.22)$$

Як правило приміщення для утримання тварин має прямокутну форму, тому площа застеклення вікон обчислюється за наступною формулою:

$$F_c = 10000 + 500 \cdot 2 \cdot 3 + 20 \cdot 2 \cdot 3 = 13120 \text{ м}^2. \quad (2.23)$$

Враховуючі вищенаведені розрахунки отримаємо рівняння вологості:

$$t_2(\tau) = B - (B - t_{20}) \cdot e^{-\frac{\tau}{T_v}}; \quad (2.27)$$

$$d_2(\tau) = A_1 - (A_1 - d_{20}) \cdot e^{-\frac{\tau}{T_v}}; \quad (2.28)$$

$$\varphi_2 = \frac{10^5 \cdot dz}{622 \cdot (232,7 \cdot t_2 - 2394)}; \quad (2.29)$$

$$B = \frac{G_w}{G_v \cdot C_p} \cdot (4,19\theta_w - \gamma_0); \quad (2.21)$$

$$A_1 = \frac{G_w}{G_p} \cdot 10^3 + d_1; \quad (2.22)$$

Процес зволоження повітря приміщення для утримання тварин від системи вентиляції можна описати за допомогою залежностей: $t_2(\tau)$ і $d_2(\tau)$.

Коефіцієнти передачі та сталі часи можливо розрахувати за такими формулами:

$$T_1 = \frac{G_v \cdot V_v \cdot \rho_v}{k_1 \cdot F_1}; T_2 = \frac{G_p \cdot V_p \cdot \rho_p}{k_2 \cdot F_2}; T_3 = \frac{m_v}{G_v}; k_1 = \frac{2}{V_v};$$

$$k_2 = \frac{k_1 \cdot F_1}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}; k_2 = \frac{k_1 \cdot F_1}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}; k_3 = \frac{k_1 \cdot F_1}{C_p \cdot V_p \cdot \rho_p}; k_4 = \frac{k_2 \cdot F_2}{G_z \cdot V_z \cdot \rho_z};$$

$$k_5 = d_w; k_6 = d_1; k_7 = \frac{G_v}{F_c};$$

Отримавши математичну модель, продовжимо дослідження в середовищі MATLAB Simulink [11]. За допомогою цього пакету ми створимо структурну схему математичної моделі (рис. 2.3). Через канал регулювання вологості та канал регулювання температури необхідно отримати динамічні характеристики для визначення властивостей об'єкта. Подачею стрибкоподібного сигналу можна реалізувати дану задачу. Величина даного сигналу дорівнює номінальному значенню керуючого параметра. З аналізу рівнянь можна зробити висновок, що для підтримки температури в приміщенні для утримання тварин, керуючою дією є постачання теплоносія (гарячої води) до трубопроводу t_g , а для регулювання температури - подача стисненого зволоженого повітря G_v . Зовнішня температура в даному контексті виступає збурюючим впливом t_z .

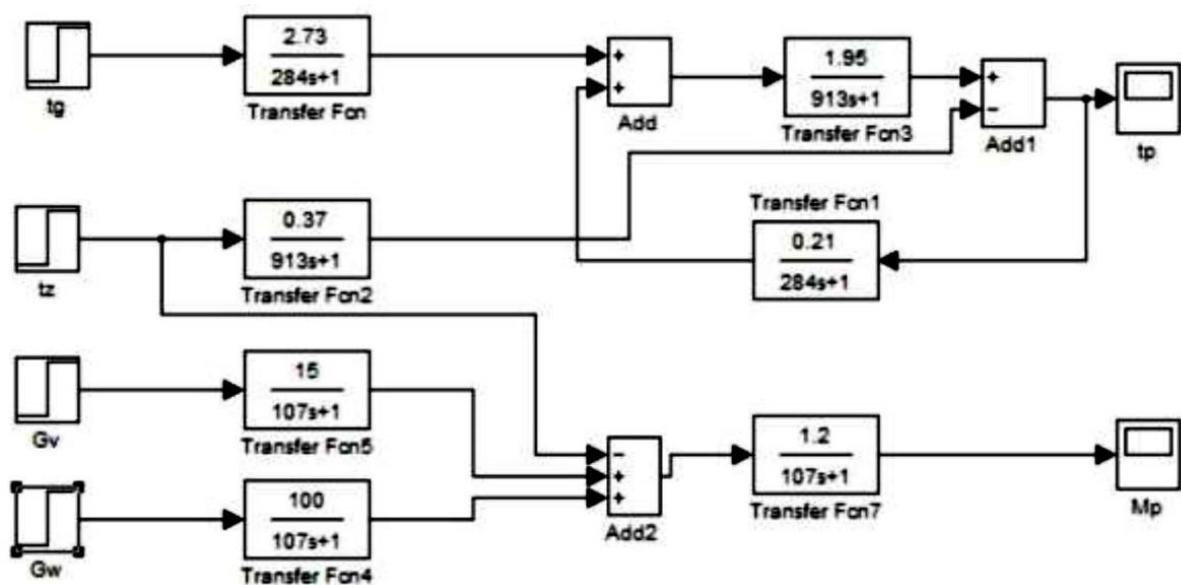


Рисунок 2.3 – Математична модель для дослідження систем температури та вологості приміщення

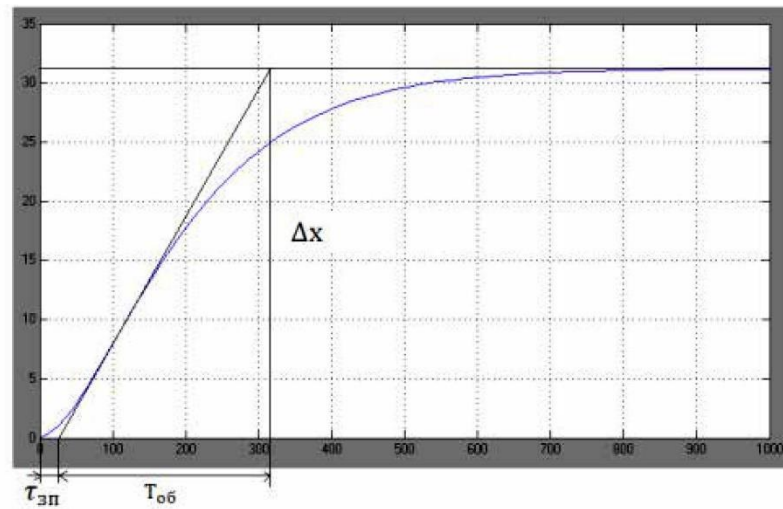


Рисунок 2.4 – Крива розгону по каналу регулювання вологості

Через канал вологості вхідний сигнал дозволяє нам визначити динамічні властивості нашого об'єкта (рис. 2.4):

$$\tau_{зп} = 27 \text{ с}, T_{об} = 27 \text{ с}.$$

$$K_{об} = \frac{\Delta X}{\Delta U}; \quad (2.22)$$

$$K_{об} = \frac{31,5}{35} = 0,9.$$

$$W_{OY(S)} = \frac{0,9}{310S + 1} \cdot e^{-S27}; \quad (2.22)$$

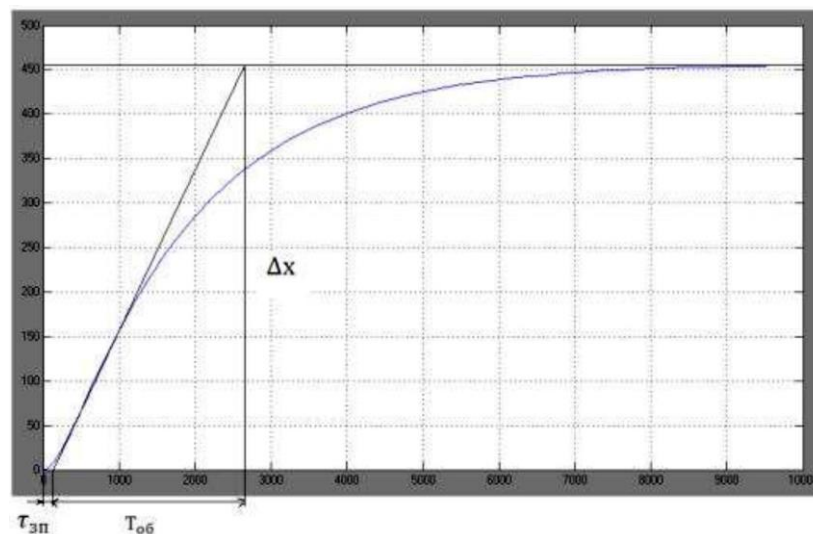


Рисунок 2.5 – Крива розгону по каналу регулювання температури

Вхідний сигнал $\Delta U = 90^\circ\text{C}$, тому ми визначаємо динамічні властивості

нашого об'єкта за температурним каналом (рис. 2.5):

$$\tau_{зп} = 100 \text{ с}, T_{об} = 2500 \text{ с.}$$

$$K_{об} = \frac{\Delta X}{\Delta U}; \quad (2.22)$$

$$K_{об} = \frac{445}{90} = 5,05.$$

$$W_{OY(s)} = \frac{5,25}{2500S + 1} \cdot e^{-s100}; \quad (2.22)$$

2.2 Розроблення функціональної та структурно-алгоритмічної схем

Перейдемо до розробки функціонально-структурної схеми у нашій роботі бакалавра, які схематично зображені на рисунку 2.6 та 2.7. Функціональні елементи системи та взаємозв'язки між ними ілюструє дана схема. Елементи позначаються прямокутниками з буквами, які відображають скорочену назву відповідного елемента. Взаємозв'язки представлені лініями, які також вказують напрямок зв'язків [12].

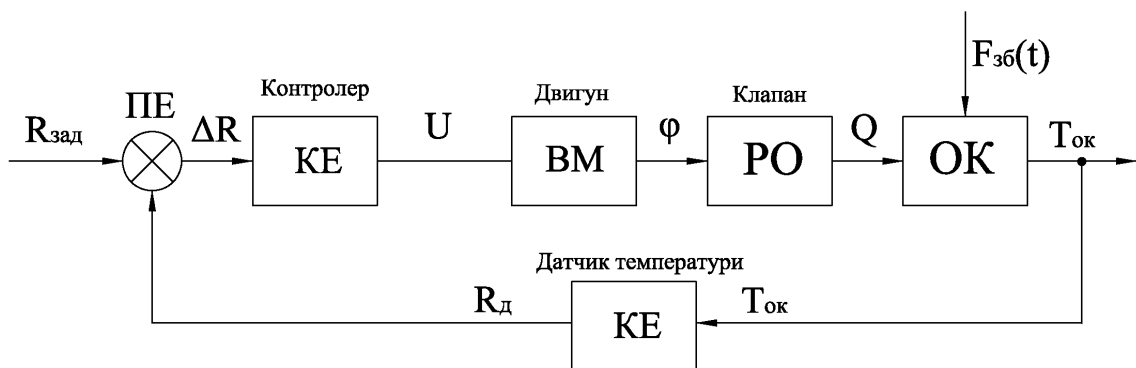


Рисунок 2.6 – Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування за каналом температури

Елементи, представлені на схемі мають наступне тлумачення:

$R_{зад}$ – температура, що задається;

$\Delta R = R_{зад} - R_{д}$ – температура, що вимірюється датчиком;

КЕ – керуючий елемент, представлений регулятором;

U – керуюча напруга;
 ВМ – виконавчий механізм, представлений двигуном;
 РО – регулюючий орган, представлений клапаном;
 ОК – об’єкт керування, представлений приміщенням для утримання тварин;
 $F_{зб}$ – зовнішні збурення, що діють на об’єкт керування. Температура зовнішнього середовища;
 ПП – первинний перетворювач, представлений датчиком температури.

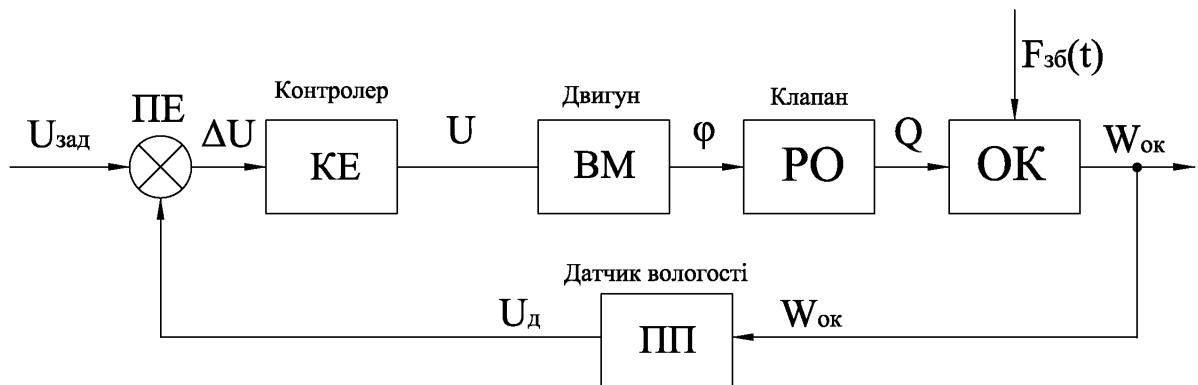


Рисунок 2.7 – Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування по каналу вологості

Розтлумачимо елементи, що зображені на схемі вище:

$U_{зад}$ – напруга, що задається;

$\Delta U = U_{зад} - U_{з}$ – напруга, що вимірюється;

U – керуюча напруга;

ВМ – виконавчий механізм, представлений двигуном;

ПП – первинний перетворювач, представлений датчиком вологості.

Визначення елементів схеми САК температури та вологості буде нашим наступним кроком. САК створюється на основі функціональної схеми та передаточних функцій елементів, які на ній візуалізовані. Зображення елементів на схемах є однаковими.

Головними завданнями САК є опис моделі процесу керування та ілюстрація динамічних властивостей функціональних елементів системи. На

рисунках 2.8 та 2.9 можна побачити типові динамічні ланки, що присутні в системі, а також їх тісні взаємозв'язки.

Після проведених аналізу та розрахунків визначимо наступні передаточні функції для об'єктів системи:

1. ОУ за показниками температури та вологості:

$$W_{OY}(s) = \frac{5,05}{2500S + 1} \cdot e^{-S100}; \quad W_{OY}(s) = \frac{0,9}{310S + 1} \cdot e^{-S27};$$

2. Регулятори:

$$W_{KE(w)}(s) = 3,47 + \frac{1}{1750 \cdot S}; \quad W_{KE(w)}(s) = 8,33 + \frac{1}{202 \cdot S};$$

3. Датчиків температури і вологості:

$$W_t(S) = \frac{0,21}{15 \cdot S + 1}; \quad W_w(S) = \frac{0,181}{30 \cdot S + 1};$$

4. Виконавчий механізм:

$$W_{BM}(S) = \frac{18,182}{210 \cdot S};$$

5. Регулюючий орган:

$$W_{po}(S) = \frac{1,18}{S};$$

Цифрові пристрої в реальному житті використовуються набагато частіше, ніж аналогові, а в нашому випадку контролери цифрові, тому ми використовуємо програмне забезпечення Matlab та Simulink для аналізу перехідних процесів автоматизованих систем керування. Simulink призначений для моделювання та симуляцій на системному рівні, що дозволяє проводити всебічне дослідження системи, що розробляється в єдиному середовищі проектування. Спочатку розглянемо лінійну частину імпульсної САК [11].

Передатна функція розімкнутої системи визначається за формулою для послідовного з'єднання елементів. Передатна функція системи автоматичного

керування, що відповідає завданню роботи та структурно-алгоритмічній схемі, визначається за наступною формулою:

$$W_{\text{ROZ}}(t) = W_{\text{OY}}(s) \cdot W_{\text{KE}}(s) \cdot W_t(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s); \quad (2.22)$$

$$W_{\text{ROZ}} = \left(\frac{5,05}{2500 \cdot S + 1} \cdot e^{-s100} \right) \left(3,47 + \frac{1}{1750 \cdot S} \right) \cdot \left(\frac{0,21}{15 \cdot S + 1} \right) \cdot \left(\frac{18,182}{210 \cdot S} \right) \cdot \left(\frac{1,18}{S} \right);$$

$$W_{\text{ROZ}}(t) = W_{\text{OY}}(s) \cdot W_{\text{KE}}(s) \cdot W_w(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s);$$

$$W_{\text{ROZ}} = \left(\frac{0,9}{310 \cdot S + 1} \cdot e^{-s27} \right) \left(8,33 + \frac{1}{202 \cdot S} \right) \cdot \left(\frac{0,181}{30 \cdot S + 1} \right) \cdot \left(\frac{18,182}{210 \cdot S} \right) \cdot \left(\frac{1,18}{S} \right);$$

Відповідно до теореми Котельникова, також відомою як імпульсна теорема, для безпомилкового відтворення сигналу, аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи показує, що мінімальна частота квантування повинна становити $2\omega_{\text{ш}}$. Тут $\omega_{\text{ш}}$ – це найвища частота вхідного сигналу, яка присутня в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи [12].

Суть теореми полягає в тому, що безперервний сигнал може бути відновлений після квантування без спотворення, якщо частота квантування в 2 рази або більше перевищує граничну частоту в спектрі безперервного сигналу:

$$T_{\text{ц}} \leq \pi/\omega_{\text{ш}}.$$

На жаль, на практиці сигнали з обмеженим спектром у системах керування не існують. Усі фізичні сигнали містять гармоніки, які охоплюють частотний діапазон до нескінченності. Однак амплітуди високочастотних компонентів значно знижені, тому при певній точності відтворення сигналу можна вважати, що він має обмежений спектр. Цю межу спектра можна визначити за допомогою формули:

$$W_{\text{зам.н.ч.}}(i\omega) \leq \theta_{\text{зад.}};$$

де $|W_{\text{зам.н.ч.}}(j\omega)|$ - амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

$\theta_{\text{зад}}$. – необхідна точність, яка повинна бути забезпечена на виході системи.

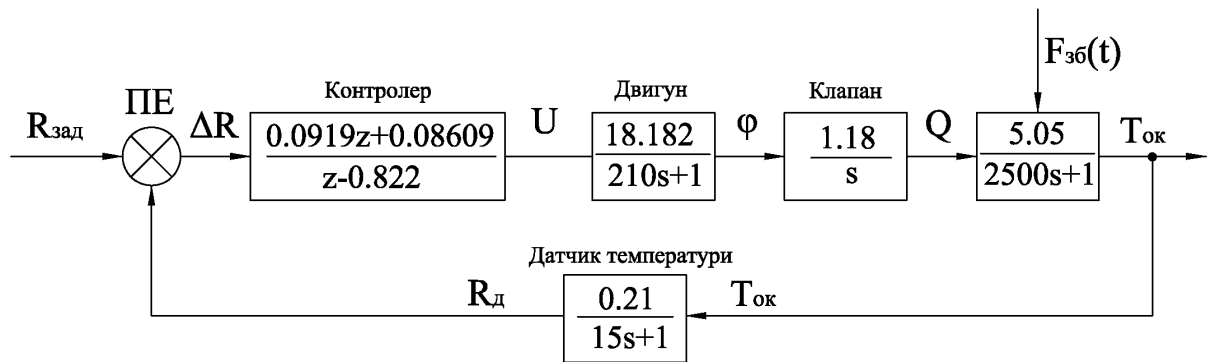


Рисунок 2.8 – Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування за каналом температури

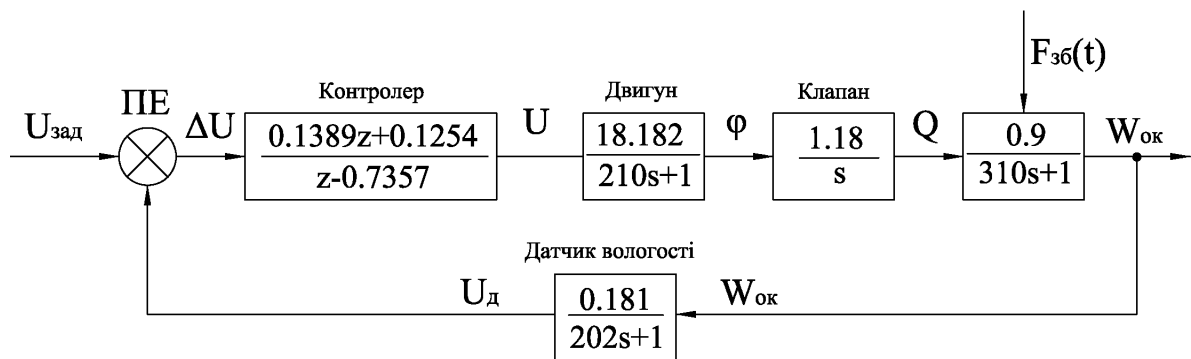


Рисунок 2.9 - Структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування за каналом вологості

2.3 Дослідження системи на стійкість та якість регулювання

Канали регулювання температурою та вологістю мають такі передаточні функції:

$$W_{\text{ROZ}}(t) = W_{\text{OY}}(s) \cdot W_{\text{KE}}(s) \cdot W_t(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s);$$

$$W_{\text{ROZ}}(t) = W_{\text{OY}}(s) \cdot W_{\text{KE}}(s) \cdot W_w(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s);$$

Для аналізу стійкості ми скористаємося амплітудно-фазовою частотною характеристикою (АФЧХ), що візуалізована на рисунках 2.20 та 2.21. Ця властивість показує, як змінюється амплітуда та фаза вихідного сигналу

залежно від частоти та амплітуди вхідного сигналу. Для побудови АФЧХ нашої системи ми використаємо програмне середовище MATLAB та Simulink.

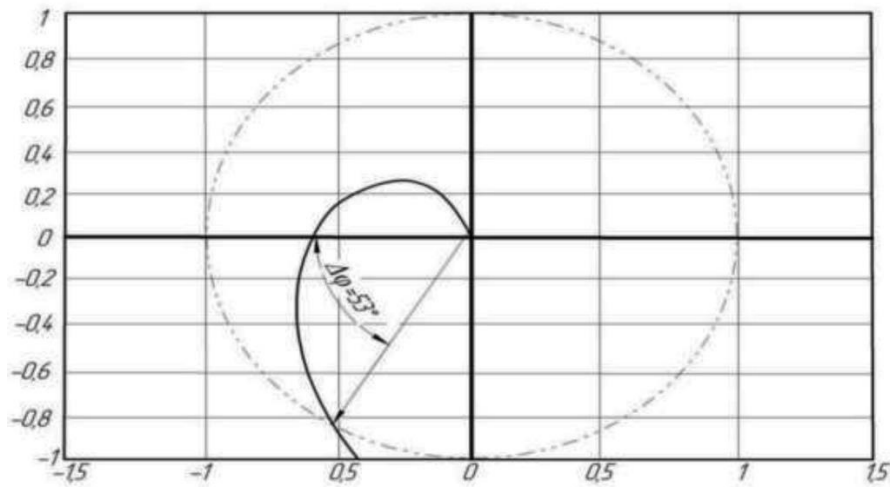


Рисунок 2.10 – Годограф Найквіста за каналом регулювання температури

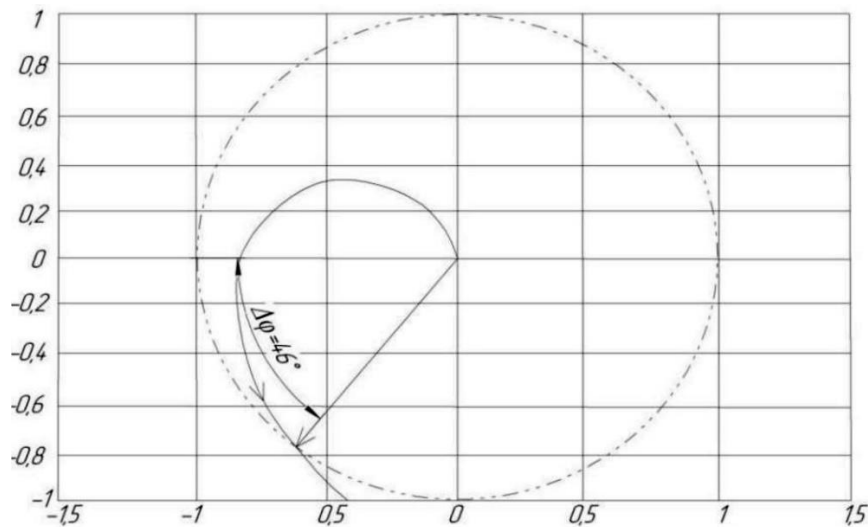


Рисунок 2.11 – Годограф Найквіста за каналом регулювання вологості

Проаналізувавши годограф Найквіста для каналів регулювання температури та вологості приміщення для утримання тварин, можна відзначити, що при зміні частоти від нуля до нескінченності годографи не перетинають точку з координатами $(-1; 0)$. Робимо висновок, що досліджувана система стійка. Амплітудні запаси стійкості ΔL_t та ΔL_W становлять:

$$\Delta L_t = 21\text{дБ, та } \Delta L_W = 18\text{дБ.}$$

Графічним методом визначили запас стійкості за фазою:

$$\Delta\varphi_t = 53^\circ \text{ та } \Delta\varphi_W = 46^\circ.$$

2.4 Перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості

Зауважимо, що у досліджуваній САК приміщення для утримання тварин є об'єктом керування. Температура в цьому приміщенні підтримується в заданих межах завдяки надходженню додаткового тепла від системи опалення від котельні. Вода виконує роль теплоносія. Від датчика температури сигнал надходить на керуючий пристрій, який і буде визначати кількість теплоносія. Датчик вологості передає сигнал на керуючий пристрій, що вмикає систему вентиляції, яка і буде визначати кількість поданого зволоженого повітря або кількість відведеного повітря. Збурюючими факторами, що впливають на систему керування мікрокліматом в приміщенні для утримання тварин будуть кліматичні умови, такі як зовнішня температура, опади, швидкість вітру тощо.

З використанням можливостей MATLAB та Simulink моделюємо перехідні процеси системи з цифровим регулятором (рис. 2.22 та рис. 2.23).

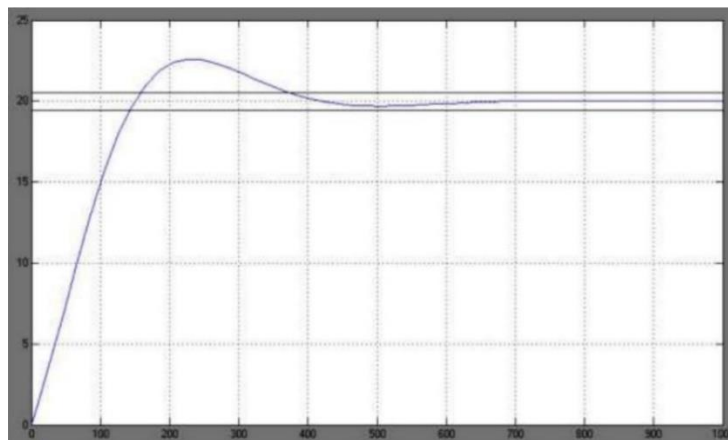


Рисунок 2.12 – Перехідний процес керування температурою

Проаналізувавши графік, робимо наступні висновки:

- час регулювання, рівний $t_p = 360$ с;
- коливальність $n = 2$;
- відсутність статичної похибки
- перерегулювання.

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{22 - 20}{20} \cdot 100\% = 10\% \leq 20\%;$$

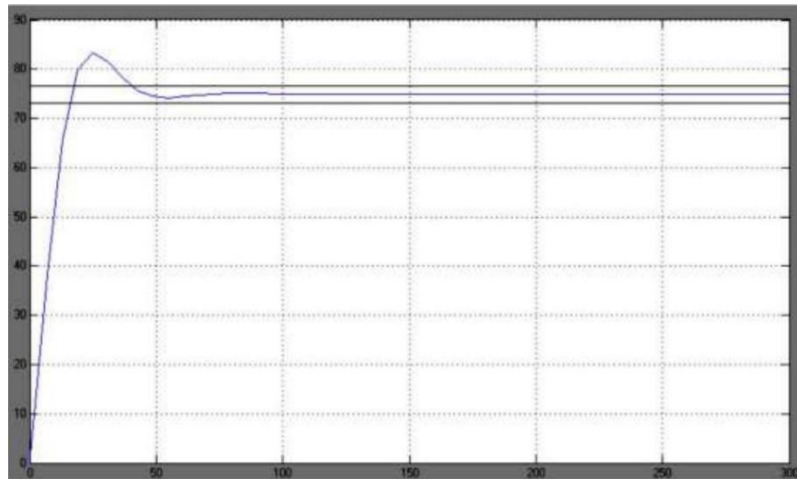


Рисунок 2.13 – Перехідний процес керування вологістю

Проаналізувавши графік, робимо наступні висновки:

- час регулювання, рівний $tp = 40$ с;
- коливальність $n = 2$;
- відсутність статичної похибки
- перерегулювання. $\sigma = \frac{21,5 - 20}{20} \cdot 100\% = 10,7\% \leq 20\%$;

Проведені дослідження доводять, що для контролю температури та вологості мікроклімату приміщення для утримання тварин ефективний є ПІ-закон регулювання. Запроектована система довела свою якість.

Висновки за розділом

Розроблена система здійснює регулювання відповідно до ПІ-закону керування параметрів мікроклімату приміщення для утримання тварин, забезпечує якісну індикацію технологічних параметрів, має контури керування електродвигунами і електроклапанами. Перехідні процеси у системі були змодельовані за допомогою математичної моделі, що дало змогу одержати час переходного процесу і відносне перерегулювання для каналів керування температурою та вологістю.

3. ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ САК МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ УТРИМАННЯ ТВАРИН

3.1 Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин

Система контролю мікроклімату – це поєднання систем, що відповідають за обігрів, вентиляцію, контроль вуглекислого газу, аміаку, сірководню, освітленості тощо. Для реалізації такої системи використовується контролер із встановленим програмним забезпеченням, що відповідає за ці параметри і дозволяє керувати ними в автоматичному або напівавтоматичному режимах.

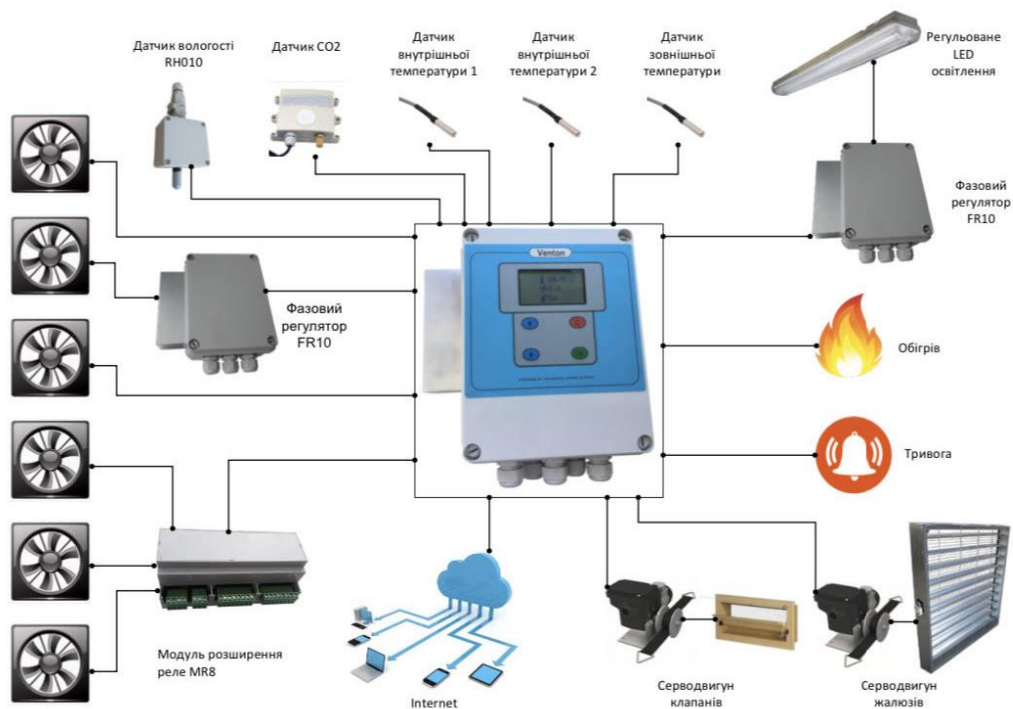


Рисунок 3.1 – Блок-схема САК мікрокліматом приміщення для утримання ВРХ

Така система дозволяє у значній мірі економити ресурси, оскільки на ріст та розвиток тварин у значній мірі впливає своєю кількістю тепла, світла, температури, вологості та загазованості. Для контролю цих показників по

периметру приміщення для утримання тварин встановлюють датчики та виконавчі механізми.

Розроблена система здійснює регулювання по ПІ-закону за параметрами мікроклімату, індикацію ТП (технологічних параметрів), контури керування електродвигунами. Мікроклімат у приміщення для утримання тварин регулюється такими каналами: температура та вологість повітря, а також вентиляція, освітленість.

Усі датчики надсилають інформацію на мікроконтролер, який її обробляє і відсилає сигнали керування на певний РО або ВМ, якщо існують відхилення від заданих у програмі показників. Функціональну схему САК мікрокліматом в приміщенні для утримання ВРХ представлено на рис. 3.2.

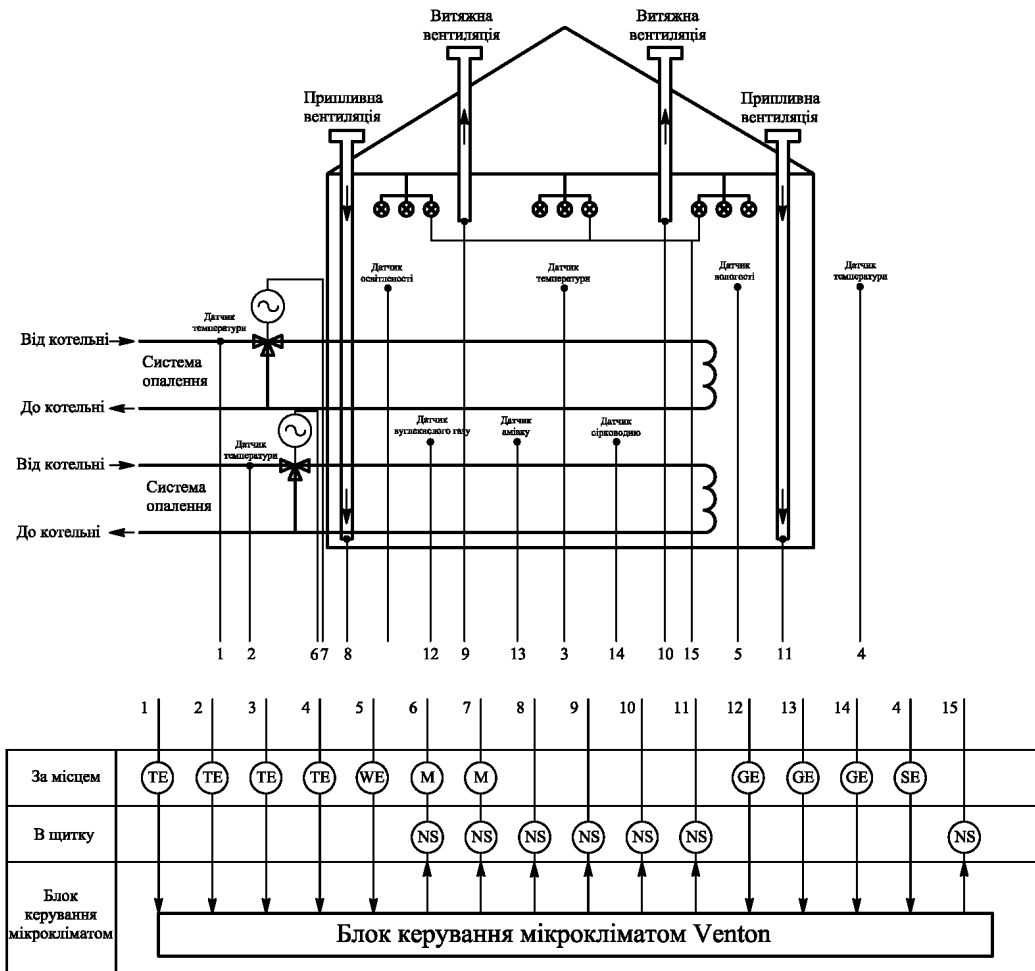


Рисунок 3.2 – Функціональна схема САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин

Контур керування температури. Від котельні вода по трубах за допомогою насосів надходить до приміщення для утримання тварин. В разі необхідності підвищити температуру сигнал від відповідних датчиків надходить на контролер, який дає команду на включення підігріву води в котельні і подачу до приміщення. Система обігріву більш актуальна у зимовий період. У разі необхідності зменшення температури приміщення для утримання тварин про це сигналізують відповідні датчики температури, які подаєть сигнал на контролер, який дає команду на виконавчі механізми вентиляції про вмикання.

Контур керування вологості. Система подачі води у приміщення має два контури: перший для обігріву приміщення, другий для зволоження приміщення. У разі необхідності підвищення вологості спрацьовують датчики вологості, сигнал подається на контролер, а від нього на виконавчий механізм розпилення води. У разі необхідності зменшення вологості сигнал від датчиків подається на контролер, а від контролера на систему вентиляції для ввімкнення витяжної вентиляції.

Контур керування вмістом аміаку, сірководню, вуглекислого газу. У разі необхідності сигнал від датчику загазованості подає сигнал на контролер, від якого на систему вентиляції для ввімкнення витяжної вентиляції.

Контур освітленості. У разі необхідності сигнал від датчиків освітленості подає сигнал на контролер, від якого дає команду на ввімкнення додаткових світильників для досягнення необхідного рівня.

3.2 Вибір датчиків

Вимоги що до використовуваних датчиків для приміщення утримання тварин:

- нелінійність не більше за 0,1-3%;
- чутливість на високому рівні;
- стабільність;

- швидкодія;
- стійкість до шкідливого середовища;
- мінімальний вплив на контрольований параметр;
- доступність монтажу.

Різновид ВП (вимірювального перетворювача) визначається залежно від параметру, що він контролює у об'єкті керування та залежно від умов його роботи. Типорозмір ВП визначають після обрання усіх інших елементів регулятора, відповідно до каталогів. Для датчика необхідно, щоб контрольований параметр змінювався у межах діапазону охоплення цього пристрою. Також важливим параметром для датчиків є постійна часу T , котра характеризує швидкодію приладу.

Для вимірювання температури приміщення для утримання тварин використовуємо датчик DOL12 від компанії «SKOV». Цей засіб автоматизації має клас захисту «IP67», що робить його ідеальним для зазначених умов експлуатації.



Рисунок 3.3 – Датчик температури DOL 12

Датчик має такі технічні характеристики:

1. Діапазон вимірювання датчика- $-10^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$.
2. Точність вимірювань $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
3. Постійна часу - 2 хв.
4. Напруга живлення - 10 В.
5. Температура навколишнього середовища, експлуатація - $10^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$.

6. Температура навколишнього середовища, зберігання $-30^{\circ}\text{C} \dots +75^{\circ}\text{C}$.
7. Клас захисту, електроніка «IP67».
8. Кабель двожильний 1,4 м, $\varnothing 5 \text{ mm}$ [13].

Датчик вологості використовуємо DOL 114 фірми «SKOV» (рис. 3.4), що підходить під умови експлуатації.



Рисунок 3.4 – Датчик вологості DOL 114

Основними характеристика датчика вологості є

1. Вихід повного опору - $< 1 \Omega$.
2. Діапазон вимірювань - 0 – 100 % RH.
3. Точність 10-10В 2 % RH (40-85 %) 3 % відносної вологості (10-95 %) при $0-40^{\circ}\text{C}$.
4. Навантаження - $> 500 \Omega$ - $< 10 \text{ MOm}$.
5. Вихідний сигнал - 0-10В 0.1V/% RH.
6. Постійна часу - 2 хв.
7. Напруга живлення - 11 - 30В DC.
8. Температура, експлуатації та зберігання - 40°C - 60°C .
9. Струм живлення: 20 мА за відсутності навантаження 70мА при макс. навантаженні.
10. Рекомендується - \geq навантаження 100 кОм.
11. Класифікація IP - IP 67.
12. Кабель - 2 м. 4 x 22AWG / 0,34 mm^2 [14].

Датчик вуглекислого газу (CO_2) використовуємо ІГС-98 (рис. 3.5).

1. Цей датчик має такі технічні характеристики:

2. Температурний діапазон - від -40 до +55 градусів.
3. Зовнішні габарити - 120x110x55 мм.
4. Діапазон виміру - 0-10 % або на замовлення.
5. Вихідний сигнал - 4-20 мА.
6. Пило – вологозахист - IP65 [15].



Рисунок 3.5 – Датчик вуглекислого газу

В якості датчику аміаку використовуємо датчик WALCOM FGD-NH₃-A.



Рисунок 3.6 – Датчик аміаку

Таблиця 3.1 – Параметри датчику аміаку [16]

Діапазон вимірювання	0 ~ 100 ppm
Роздільна здатність	0.1 ppm/1 ppm
Точність вимірювання	≤ ± 5 % F.S.
Тип датчика	Каталітичний
Метод відбору проб	Дифузія
Вихідний сигнал	4–20мА, 0–5В, RS485, реле, бездротові цифрові (додатково)
Час відгуку	≤ 30 с

Для вимірювання освітленості використовуємо датчик SL0302 (рис. 3.7).
Цей датчик відповідає встановленим умовам експлуатації.



Рисунок 3.7 – Датчик освітленості SL0302

SL0302 має такі технічні характеристики:

1. Ступінь захисту - IP 65.
2. Живлення - 24 V.
3. Похибка - +/- 5%.
4. Опір навантаження - >50кОМ.
5. Температурна залежність - +/- 5 %.
6. Допустима температура - від -20 до +70°C.
7. Довжина хвилі при макс. чутливості - 600 nm [17].

Для вимірювання тиску в мережі обігріву приміщення, а також для контуру подачі води для розпилення використовуємо цифровий перетворювач «DSP-01» (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Датчик тиску DSP-01

DSP–01 має такі технічні характеристики:

1. Вихідний сигнал постійного струму 4-20 мА.
2. Виконання: надлишковий, абсолютний, різниця тисків, розрідження.
3. Діапазон вимірювань тиску: від 0 до 25 МПа (на замовлення).
4. Клас точності перетворювачів: 0.25 (на замовлення від 1.5 до 0.1).
5. Споживана потужність: не більше 1.0 ВА.
6. Ступінь захисту корпусу IP54.
7. Живлення від 12 до 36 В.
8. Цифровий HART інтерфейс [18].

Датчики температури мають клас захисту «IP 67», що забезпечує їхню стійкість до агресивних середовищ та механічних впливів. Вони функціонують у температурному діапазоні від -30°C до $+75^{\circ}\text{C}$, встановлюються шляхом паяння та не потребують демонтажу під час дезінфекції та миття приміщення. Датчик вологості також має клас захисту «IP 67» та встановлюється через герметичне з'єднання, яке потребує періодичної перевірки та обслуговування відповідно до графіка технічного обслуговування. Крім того, він оснащений двома аналоговими виходами з дуже низьким вихідним опором і повним захистом від коротких замикань. Спеціальний чутливий елемент та вбудований фільтр забезпечують ефективну роботу в тваринницьких приміщеннях з постійно високим рівнем агресивних середовищ. Датчик керується мікропроцесором та оснащений двоколірним світлодіодом (LED), який інформує про стан його роботи.

Датчики CO_2 та освітленості мають клас захисту «IP 65», що дозволяє їх використання під час роботи. Однак, через специфіку чутливого елемента, їх потрібно знімати під час миття та дезінфекції приміщення. Встановлювати ці датчики слід знову в день «заселення» пташника.

Датчик тиску, подібно до датчиків температури, не потребує демонтажу під час обробки та миття приміщення. Його чутливий елемент захищений від впливу агресивних середовищ та може безперервно виконувати свої функції протягом року.

3.3 Вибір виконавчих механізмів

Для керування заслінками припливної та витяжної вентиляції використовуються серводвигуни з вбудованими потенціометрами, які дозволяють визначати позицію заслінки. Моделі серводвигунів DA 75 та DA 75A (рис. 3.9) відповідають заданим умовам експлуатації, проте відрізняються редукторами та способами кріплення обладнання (заслінок).

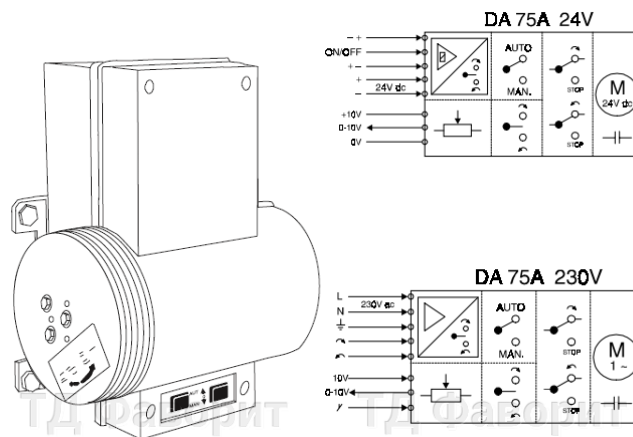


Рисунок 3.9 – Серводвигун DA 75

Цей серводвигун володіє такими технічними характеристиками:

1. Робоча напруга - 24В постійного струму $\pm 15\%$.
2. Потужність - 1,6 А.
3. Макс. час безперервної роботи - 60 хв.
4. Макс. крутний момент - 75 Нм.
5. Кількість оборотів приводного шківa - 4.
6. Тривалість включення між двома кінцевими точками - 4,8 5-7 хв.
7. Сигнал керування аварійного відкриття ON/OFF 1 потенц. безконтактний вимикач.

В якості виконавчого механізму для системи зволоження обираємо поршневий (плунжерний) насос високого тиску з електронним керуванням VIRSTON FOG 60/2 (рис. 3.10). Цей насос забезпечує високий тиск води в трубках та розпилює її через форсунки, що дозволяє рівномірно розподілити вологу в приміщенні.



Рисунок 3.10 – Поршневий (плунжерний) насос високого тиску з електронним керуванням VIRSTON FOG 60/2

Технічні характеристики цього насоса такі:

1. Робочий тиск - 60 Бар.
2. Електродвигун - 1450 об/хв, 230 В - 50 Гц.
3. Рама - нержавіюча сталь.
4. Поршень - керамічний (3 шт.).
5. Голова - латунь.
6. Габарити - 50×20×30 см.

У якості головного контролера, який отримує сигнали від датчиків та видає команди на виконавчі механізми обираємо інтелектуальний блок керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин Venton.



Рисунок 3.11 – Контролер керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин

Вищенаведений потужний блок керування кліматом, припливною та витяжною вентиляцією призначений для автоматичного контролю мікроклімату в приміщеннях для утримання тварин протягом усього періоду

зростання тварин. Він забезпечує необхідний температурний режим та використовується для регулювання мікроклімату на фермах та в пташниках. Керування кліматом здійснюється за допомогою автоматичної програми, яка враховує криві температури, вологості, живої ваги за визначеними днями та рівень мінімальної вентиляції на кілограм живої ваги. Знаючи кількість тварин, контролер розраховує мінімальний рівень вентиляції відповідно до зростання живої ваги. Це забезпечує постійне збільшення обміну повітря щодня. Даний контролер може використовуватися як для камінної, так і для тунельної вентиляції.

Розберемо фізичні характеристики контролера керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин:

1. Корпус: IP 55.
2. Живлення: 230V.
3. Кількість датчиків температури: 3.
4. Фазовий регулятор для плавного регулювання однофазних двигунів (10A).
5. 8 реле для керування виконавчими пристроями (вентилятори, нагрівачі, серводвигуни, освітлення тощо).
6. CAN-шина для підключення модулів розширення.
7. 6 аналогових входів (0-10V), 4 аналогових виходи (0-10V) [19].

3.4 Розробка алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання тварин

Алгоритм функціонування системи мікроклімату приміщення для утримання тварин виглядає наступним чином. Спочатку система опитує датчики та потенціометри для визначення початкових параметрів та позицій. Після цього відбувається порівняння реальних значень із заданими, а також перевірка стартових значень партії (наприклад, номер дня, коефіцієнти усунення тощо). Після збору даних інформація відображається на екрані і

система переходить до регулювання мікроклімату. Якщо значення установок не відповідають реальним, мікроконтролер надсилає керуючий сигнал до відповідного виконавчого пристрою, після чого чекає на повторний збір інформації з датчиків та виконавчих пристроїв. Якщо дії системи виявляються недостатніми, мікроконтролер генерує новий сигнал для виконавчого пристрою. Цей алгоритм дозволяє ефективно працювати в умовах значної інертності системи та забезпечує плавне регулювання.

Для виконання даного алгоритму роботи необхідна програма, яка виконає поставляється разом з контролером.

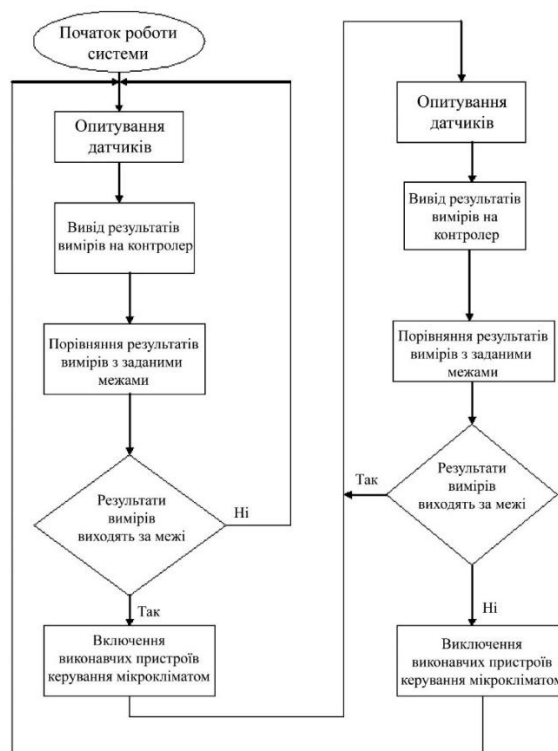


Рисунок 3.12 – Алгоритм керування мікрокліматом приміщення для утримання ВРХ

Висновки за розділом

Розроблена функціональна схема автоматизації приміщення утримання тварин, на якій схематично показані канали регулювання мікрокліматом. Обрані сучасні, швидкодіючі засоби автоматизації та виконавчі механізми, що відповідають поставленим вимогам. Розроблено алгоритм керування мікрокліматом.

ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме розроблено інтелектуальну систему автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин.

У першому доведена необхідність розробки систем моніторингу та регулювання мікроклімату у приміщеннях утримання тварин, що диктується необхідністю реалізації повною мірою високого рівня генетичного потенціалу сучасних тварин. Сформульовано вимоги до системи моніторингу мікроклімату: масштабованість, виконання на вітчизняній елементній базі, простота в експлуатації, обслуговуванні та ремонті. Контролю підлягають такі параметри мікроклімату – температура та відносна вологість повітря, швидкість руху повітря у приміщенні, концентрація вуглекислого газу, аміаку, сірководню.

У другому розділі розроблена структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування по каналу температури та вологості приміщення для утримання тварин, яка здійснює регулювання відповідно до ПІ-закону керування параметрів мікроклімату, забезпечує якісну індикацію технологічних параметрів, має контури керування електродвигунами і електрклапанами. Перехідні процеси у системі були змодельовані за допомогою математичної моделі, що дало змогу одержати час перехідного процесу і відносне перерегулювання для каналів керування температурою та вологістю.

У третьому розділі розроблена функціональна схема автоматизації приміщення для утримання тварин, на якій схематично показані канали регулювання мікрокліматом. Обрані сучасні, швидкодіючі засоби автоматизації та виконавчі механізми, що відповідають поставленим вимогам. Розроблено алгоритм керування мікрокліматом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-1:2024 "Будівлі і споруди для тваринництва. Основні положення".
2. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
3. Мікроклімат приміщення для ВРХ. – Режим доступу: <https://uvt.com.ua/mikroklimat-prymishchen-dlia-vrkh/?srsltid=AfmBOopd2zlumoswEkF1fZ9cztLMQgswp94P5v-AKHkrvB5DoocOgvcY>
4. Проектування систем автоматизації для АПК : підручник / В. П. Лисенко [та ін.]. - К. : ФОП Ямчинський О.В., 2022. - 626 с.
5. Автоматизація та комп'ютерні технології систем керування : наук.допом. бібліогр. покажч. / [упоряд.О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2021. – 171 с.
6. Моделювання систем керування в SIMULINK : навч. посібник / [В. О. Богомолів, О. Г. Гурко, В. І. Клименко, Д. М. Леонт'єв, О. М. Красюк] ; М-во освіти і науки України. Харків ХНАДУ, 2018. - 220 с.
7. Теорія автоматичного керування. Частина 1: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Керування, захист та автоматизація енергосистем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.А. Марченко, В.С. Гулий. - Електронні текстові данні (1 файл: 3,32 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.
8. Хорольський, В. П. Х 81 Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. – Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. – 400 с.
9. Поліщук Є. С., Дорожовець М. М., Яцук В. О., Ванько В. М., Яцук Ю. В. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник. Львів: Вид-во Львівської політехніки. 2015. 584 с

10. Медиковський М. О., Ткаченко Р. О., Цмоць І. Г., Цимбал Ю. В., Дорошенко А. В., Скорохода О. В. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем керування: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2015. 280 с.

11. Аблесімов О. К. Теорія автоматичного керування: навчальний посібник / О. К. Аблесімов – К. : «Освіта України», 2019. – 270 с.

12. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, –2019. – 492 с.

13. Каталог датчиків температури. – Режим доступу: <https://ventura.com.ua/dol-12/?srsrtid=AfmBOoqxf2qiBlWPsAQ4Qq9p9PfqG2d2ElNCMJiNpcXieUjYpiGQovZ>

14. Каталог датчиків вологості. – Режим доступу: <https://vada.ua/ru/datchik-vlazhnosti-i-temperature-0-5-v-dol-114/>

15. Каталог датчиків вуглекислого газу. – Режим доступу: <https://aqteck.ua/ua/datchyky/pkg100-co2-promyslovyj-datchyk-kontsentratsiji-vuglekyslogo-gazu-v-povitri>

16. Каталог датчиків аміаку. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/ru/promisloviy-datchik-amiaku-z-signalizatsiieu-0100-ppm-420ma-rs485-svitlova-ta-zvukova-signalizatsiya-walcom-fgd-nh3-a/>

17. Каталог датчиків освітленості. – Режим доступу: <https://polum.com.ua/datchik-osveshchennosti-elektrum-uls-0s302>

18. Каталог датчиків тиску. – Режим доступу: <https://grempis.com.ua/dsp/>

19. Каталог контролерів. – Режим доступу: <https://ventura.com.ua/venton/>

20. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

1. MICROCLIMATE OF ANIMAL KEEPING PREMISES

1.1 Microclimate of animal keeping premises

In terms of the degree of influence on animal productivity, the microclimate of the premises is second only to the influence of breed and feeding. The microclimate parameters that are recommended to be maintained in the premises are contained in the relevant standards for technological design of livestock farms and must be maintained regardless of the season, weather conditions and other significant factors.

Table 1.1 – Normative indicators of microclimate for animal keeping [1]

Parameter	Indicator
Temperature, °C	10 (8-12)
Relative humidity, %	
Air exchange, m ³ /h per 1 kg of mass:	
winter	17
transition	35
summer	70
Air speed, m/c:	
winter	0,3-0,4
transition	0,5
summer	0,8-1,0
Permissible concentration of harmful gases	
carbon dioxide, %	0,25
ammonia, мг/м ³	20,0
hydrogen sulfide, мг/м ³	5,0
Light, лк	20-70

A particular species of animal has its own specific characteristics, including comfort zones. Comfort zones are influenced by the seasons, animal breed, age, productivity, conditions of keeping and feeding. For cattle breeds, the neutral zone is in the temperature range from +4 to +20 °C, for high-yielding cows - from +9 to +16 °C. Thus, the decrease in milk yield at a room temperature of 25 °C reaches

17%, 30 °C - about 33%, at 35 °C - about 56%. If we take the milk yield obtained at a temperature of 10 °C as 100%, then on average milk losses at minus 5 °C will be 14%, at plus 5 °C - 5% [2].

Temperature, humidity, concentration of harmful gases, illumination are of particular importance and critical zoohygienic importance for keeping animals.

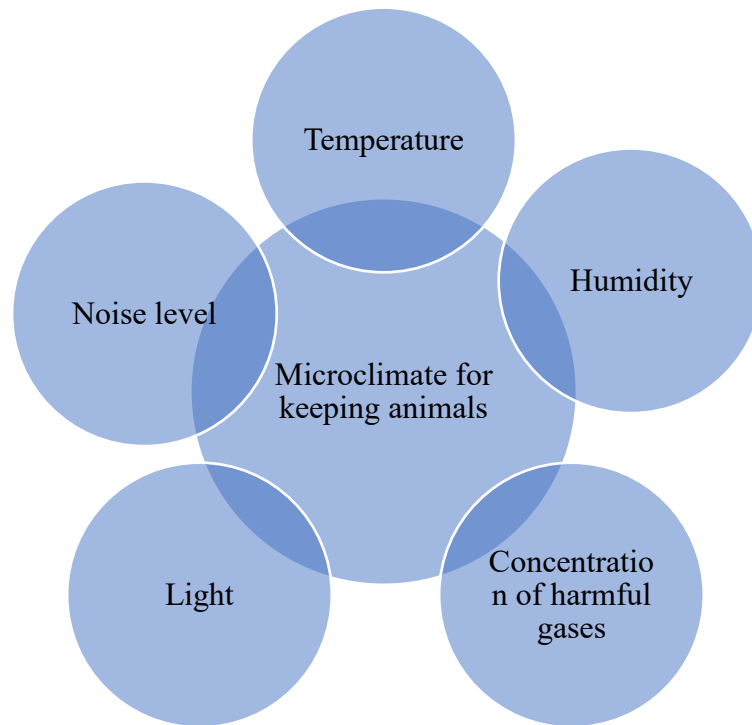


Figure 1.1 – Microclimate matrix of an animal housing facility

Temperature. Animals are sensitive to fluctuations in temperature, their condition is indicated by both its decrease and increase. If the air temperature drops below 12°C, animals have to spend part of the feed energy for warming. Therefore, animal growth decreases, feed is consumed inefficiently, and productivity decreases. Therefore, it is economically expedient to use effective heating in the cold season.

When the temperature increases above the optimum, animals have a reduced appetite, less enzymes are produced, digestion is impaired. The incoming food is not digested completely. When the temperature increases above 32°C, feed is absorbed worse, reproduction is lost, and production efficiency decreases. To prevent this, it is important to maintain the optimal temperature regime, in summer by operating the fan, as well as the cooling system.

When a temperature sensor is installed, the microclimate computer will independently regulate the operation of the ventilation and heating systems when the temperature exceeds the norm.

Hyperthermia is a phenomenon when, at excessively high temperatures, the thermoregulation mechanisms of animals are disrupted, which leads to the accumulation of excess heat in the body. In addition to high temperature, overheating of cattle can be caused by increased humidity and insufficient air circulation in the room where the animals are raised. Hyperthermia is also aggravated by rapid movement of the animal, their crowded housing, animal obesity, or respiratory diseases [3].

Humidity. Usually, water vapor enters the room from atmospheric air, from damp floors, feeders, as well as from the surface of the skin and respiratory tract of animals. Relative humidity is interconnected with ambient temperature. Increased humidity creates a favorable environment for pathogenic microorganisms, viruses.

For these reasons, animals often get colds and gastrointestinal infections. This affects immunity, and therefore productivity. You can reduce humidity in a livestock building using heating devices and ventilation systems.

When installing a humidity sensor, the microclimate computer will receive a signal about exceeding the standard humidity level, and the ventilation or heating systems will be switched on automatically depending on the temperature outside the room. Humidity above 85% is considered high. If the air humidity is lower than 40%, the air is considered too dry, which is also harmful to animals.

Concentration of harmful gases. A favorable microclimate in livestock buildings is ensured by optimal air exchange. If the air exchange is too strong, the humidity decreases, the air becomes dry.

At low air flow speeds:

- the air stagnates, fungi, microbes, mold appear;
- the amount of ammonia, carbon dioxide increases;
- the oxygen content decreases, especially when animals are kept in close quarters on farms.

Ammonia causes respiratory diseases, pneumonia, shortness of breath, and in severe cases, pulmonary edema. Hydrogen sulfide paralyzes breathing, leads to poisoning, gastrointestinal diseases, and cessation of weight gain. Carbon dioxide reduces productivity, immunity, and provokes an increase in pulse rate and shortness of breath.

It is possible to install ammonia and carbon dioxide sensors in the livestock building. If the normative indicators of the content of these harmful gases in the room are exceeded, the microclimate computer will increase air exchange by turning on the ventilation systems, which will occur in automatic mode.

Illumination. The level of illumination greatly affects the well-being of animals and their productivity. In winter, light may not be enough, so additional light sources are needed. The level of illumination is calculated from the ratio of the area of windows and the area of the floor. The norms of artificial lighting are 50-75 lux for calves and, accordingly, 20-30 lux for young animals for fattening. At night, it is necessary to provide additional lighting at a level of 15-20% of the total intensity. For animals, the optimal solution will be natural lighting of the room, which is achieved by installing a light-aeration ridge, as well as ventilation curtains. Light of sufficient intensity activates the central nervous system of animals and stimulates metabolic processes. Lighting is especially important when growing young animals for fattening.

Noise level. The noise level in the room can also be quite high: it occurs during the preparation and distribution of feed, cleaning of premises, various mechanisms and equipment work around the clock. This negatively affects the condition of the animals.

Taking into account the normative indicators of the microclimate in the room for keeping animals and the negative impact on the condition, reproduction of the issue of monitoring and maintaining these values in normalized values is quite relevant.

1.2 Analysis of existing systems for monitoring and controlling the microclimate of premises for keeping animals

Monitoring of microclimate parameters is due to the need to control environmental pollution by animal waste products: manure, sewage, greenhouse gases.

The environmentally safe functioning of livestock farming is ensured by implementing an environmental management system (environmental production control). Monitoring is carried out based on information received from accounting tools. These data allow us to provide enterprise indicators for the purpose of assessing the enterprise as a whole from the standpoint of BAT, in particular, to obtain estimated values of specific emissions of harmful and greenhouse gases [3].

To measure all these parameters, analog and digital sensors with computer processing of the received signals can be used. It is advisable to use digital sensors, since they have lower energy consumption and overall dimensions.

Currently, a number of systems for monitoring and controlling the microclimate in livestock premises are proposed, which differ in controlled parameters and cost. Table 1.2 shows the controlled parameters of the most common systems for monitoring microclimate parameters. The table shows that almost all of the systems presented control the temperature and humidity of the indoor air, and to a lesser extent, the concentration of carbon dioxide is taken into account. Only one system controls the speed and direction of the wind, and all of them exclude the control of the concentration of ammonia and hydrogen sulfide, which is their disadvantage [4].

The microclimate control system "BSC Livestock Climate Controller" by DeLaval is an integrated system for centralized control and management of technological equipment in livestock premises. pictographic user interface, which allows the operator to control the microclimate parameters and manage the equipment in the barn. The control system allows you to optimize the execution of technological processes, provide the necessary temperature regime for animals [4].

Table 1.2 – Controlled microclimate parameters in the systems under analysis

Controlled parameters	DeLaval (Denmark)	Rotem (Israel)	Venton PE "Ventura" (Ukraine)
Indoor air temperature	+	+	+
Outdoor temperature	-	+	+
Relative indoor humidity	-	+	+
Indoor air speed	-	-	-
Wind direction and speed	-	+	-
Concentration CO ₂	-	-	+
Concentration NH ₃	-	-	+
Concentration H ₂ S	-	-	-

The company Rotem (Israel) offers a series of technological control devices Smart Controllers. They are designed to control humidity and air temperature in rooms and external weather conditions. All controllers can work together, combined into a local network. System composition: 3 temperature sensors, humidity sensor, water flow meter, 2 digital inputs on the controller for connecting additional devices, the ability to communicate with a computer, removable memory module (Flash type). The disadvantage of this system is the lack of control of the gas composition of the air [12].

The Venton climate control unit has been developed by the Ventura Private Limited Company (Ukraine). This unit is quite versatile and can be used for both animals and plants. Its functionality includes control of: temperature regime, humidity regime, ventilation regime. Control is carried out using a special program.

The main functional capabilities are presented in Figure 1.2.

Of the considered options, the DeLaval system has the greatest technical capabilities. The disadvantage, in our opinion, is the lack of control of the gas composition of the air (CO₂, CH₄, H₂S, NH₃, etc.). A high technical level in the absence of qualified personnel in the village significantly reduces the possibility and effective use of this equipment in agricultural production.

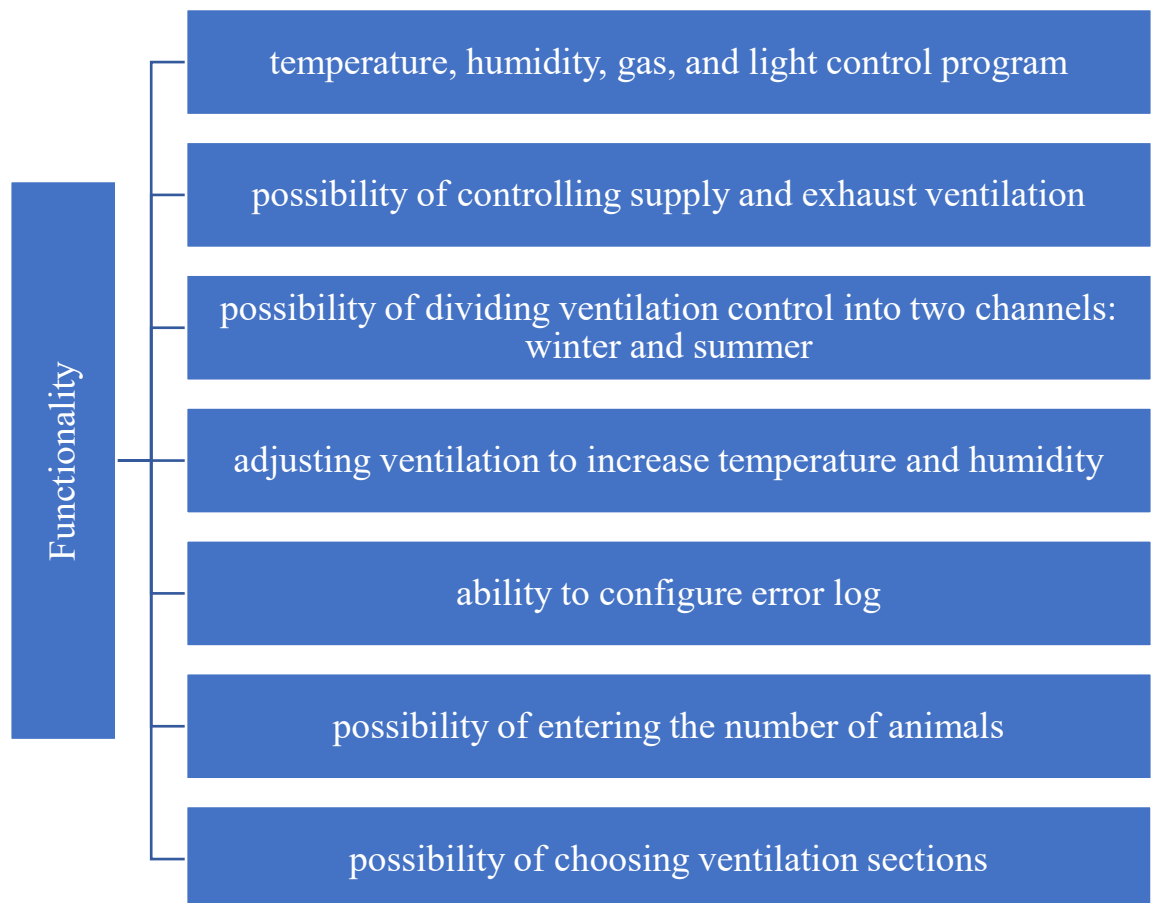


Figure 1.2 – Functional capabilities of the Venton microclimate control unit

Therefore, taking into account the advantages and disadvantages of existing intelligent microclimate control systems, it is necessary to develop an up-to-date scheme for a device for monitoring the microclimate of a room for keeping animals.

1.3 Microclimate of a room for keeping animals as an object of automation

First, let's develop a model of a device for monitoring microclimate parameters [5]. The utility model relates to animal husbandry technologies, and can be used on farms with different methods of keeping and animal populations. Figure 1.3 shows a block diagram of a device for monitoring microclimate parameters in animal housing.

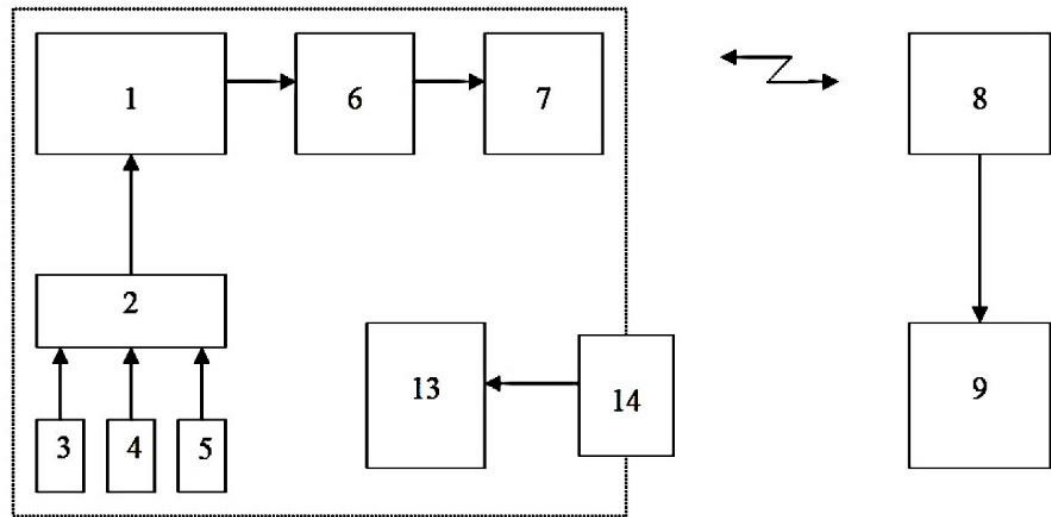


Figure 1.3 - Block diagram of the microclimate parameter monitoring device

The microclimate parameter monitoring device contains a control unit 1, a sensor parameter converter 2, temperature sensors 3, a wet channel 9. The power supply of the device 13 has a connector 14 on the outer surface of the housing. To implement the proposed solutions, it is necessary to select automation tools.. Table 1.2 presents the main microclimate parameter sensors for the microclimate parameter monitoring system as an innovative product.

Table 1.3 - Main directions of room automation

	Measurement range	Error	Output
Temperature and humidity sensor	-20...+70 °C	0,5°C	Combined (4...20 mA, RS-485)
	0...95%	3,0%	Combined (4...20 mA, RS-485)
Carbon dioxide sensor CO ₂	0...5000ppm	100ppm	4...20 mA
1	2	3	4
Concentration sensor NH ₃	0...64мг/м ³	5%	4...20 mA
Concentration sensor CH ₄	0...3,7% об	25%	Combined (4...20 mA, RS-485)
Airflow velocity transducer	0...10м/с	3%	0...10В 4...20 mA

Conclusions by section

The need to develop microclimate monitoring systems in animal housing is dictated by the need to fully realize the high level of genetic potential of modern animals. The requirements for the microclimate monitoring system are formulated: scalability, implementation using modern automation tools, ease of operation, maintenance and repair. The following microclimate parameters are subject to control - temperature and relative humidity of the air, air velocity in the room, concentration of carbon dioxide, ammonia, hydrogen sulfide, illumination.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Інтелектуальна система автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин

ДОДАТОК Б

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент 401МЕ групи

Керівник:

к.т.н, доцент

Рябинов А.С.

Галай В.М.

Полтава 2025

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення інтелектуальної системи автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин.

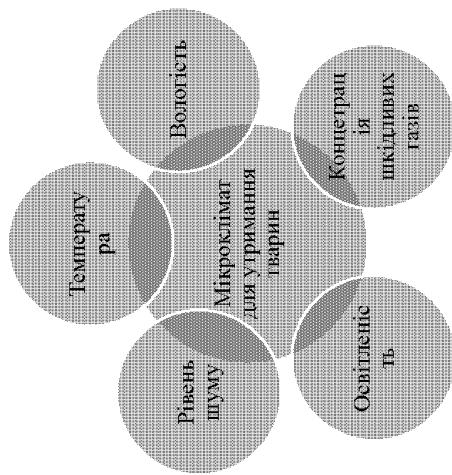
Об'єктом кваліфікаційної роботи бакалавра є процеси регулювання обігрівом, вентиляцією, вологістю, загазованістю, освітленістю приміщення для утримання тварин.

Предметом кваліфікаційної роботи бакалавра є САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз мікроклімату приміщення для утримання тварин;
- проаналізувати існуючих систем моніторингу та керування мікроклімату приміщень для утримання тварин;
- розглянути мікроклімат приміщення для утримання тварин як об'єкт автоматизації;
- розробити математичну модель технологічного процесу, дослідження її характеристик і визначення передатної функції;
- створити функціональної та структурно-алгоритмічної схем;
- дослідити системи на стійкість та якість регулювання;
- оцінити перехідний процес системи автоматичного керування та показники якості;
- побудувати функціональну схему САК мікрокліматом приміщення для утримання тварин;
- обрати датчики та виконавчі механізми САК;
- розроблення алгоритму функціонування мікроклімату приміщення для утримання тварин.

Аналіз основних характеристик мікроклімату приміщення для утримання тварин



Матриця мікроклімату приміщення для утримання тварин

Параметр	Показник
Температура, °С	10 (8-12)
Відносна вологість, %	
Обмін повітря, м ³ /год на 1 ц маси:	
зима	17
перехідний період	35
літо	70
Швидкість руху повітря, м/с:	
зима	0,3-0,4
перехідний період	0,5
літо	0,8-1,0
Допустима концентрація шкідливих газів	
вуглекислий газ, %	0,25
аміак, мг/м ³	20,0
сірководень, мг/м ³	5,0
Освітленість, лк	20-70

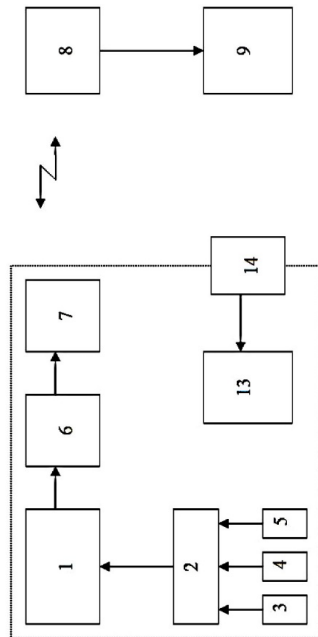
Температура. Тварини чуйно реагують на коливання температурного режиму, з їхньої стані позначаються як його зниження, і підвищення. Якщо температура повітря опускається нижче за 12°C, тваринам доводиться витрачати для зігрівання частину енергії корму. Тому приріст тварин знижується, корм витрачається неефективно, зменшується продуктивність. Тому економічно доцільно використовувати ефективне опалення в холодну пору року.

Вологість. Завичай водянні пари потрапляють у приміщення з атмосферного повітря, з вологих підлог, годівниць, а також з поверхні шкіри та дихальних шляхів тварин. Відносна вологість взаємопов'язана із температурою навколишнього середовища. Підвищена вологість створює сприятливе середовище для хвороботворних мікроорганізмів, вірусів.

Концентрація шкідливих газів. Сприятливий мікроклімат тваринницьких приміщень забезпечується оптимальним повітрообміном. При надто сильному повітрообміні вологість зменшується, повітря стає сухим.

Освітленість. Рівень освітленості сильно впливає самопочуття тварин, їх продуктивність. Взимку світла може бути недостатньо, тому потрібні додаткові джерела світла. Рівень освітленості розраховується із співвідношення площі вікон та площі підлоги.

Мікроклімат приміщення як об'єкт автоматизації

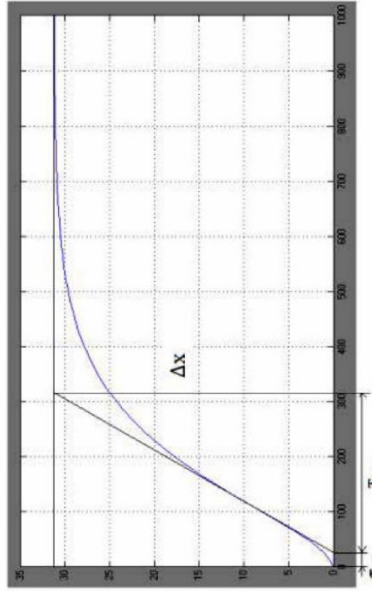


Блок-схема пристрою моніторингу параметрів мікроклімату

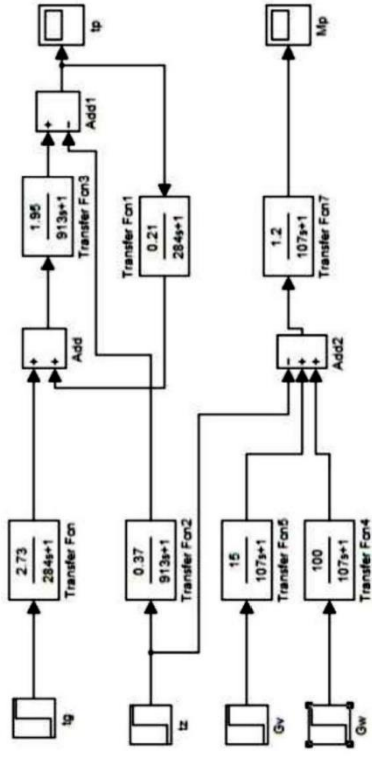
	Діапазон вимірювань	Похибка	Вихідний сигнал
Датчик температури та вологості	-20...+70 °C	0,5°C	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
	0...95%	3,0%	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
Датчик вуглекислого газу CO ₂	0...5000ppm	100ppm	4...20 мА
Датчик концентрації NH ₃	0...64мг/м ³	5%	4...20 мА
Датчик концентрації CH ₄	0...3,7% об	25%	Комбінований (4...20 мА, RS-485)
Перетворювач швидкості потоку повітря	0...10м/с	3%	0...10В 4...20 мА

Контрольовані параметри	DeLaval (Данія)	Kotem (Ізраїль)	Venton ІПП «Вентура» (Україна)
Температура повітря в приміщенні	+	+	+
Температура зовнішнього повітря	-	+	+
Відносна вологість повітря в приміщенні	-	+	+
Швидкість руху повітря в приміщенні	-	-	-
Напрямок та швидкість вітру	-	+	-
Концентрація CO ₂	-	-	+
Концентрація NH ₃	-	-	+
Концентрація H ₂ S	-	-	-

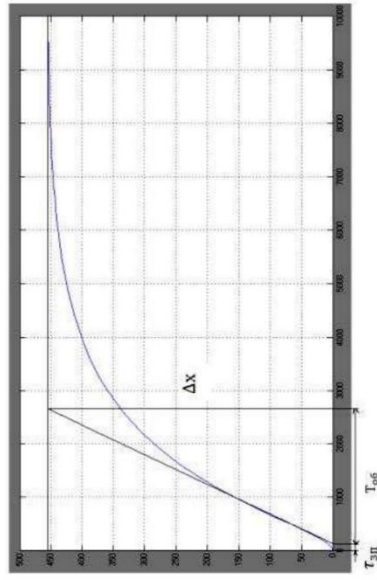
Математична модель потоків тепла, вологості в приміщенні для утримання тварин



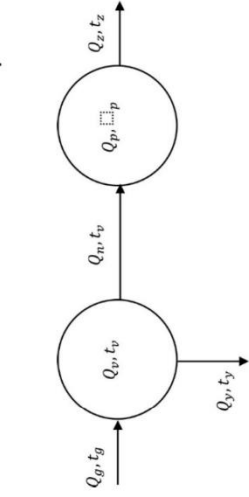
Крива розгону по каналу регулювання вологості



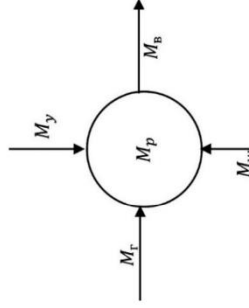
Математична модель для дослідження систем температури та вологості приміщення



Крива розгону по каналу регулювання температури

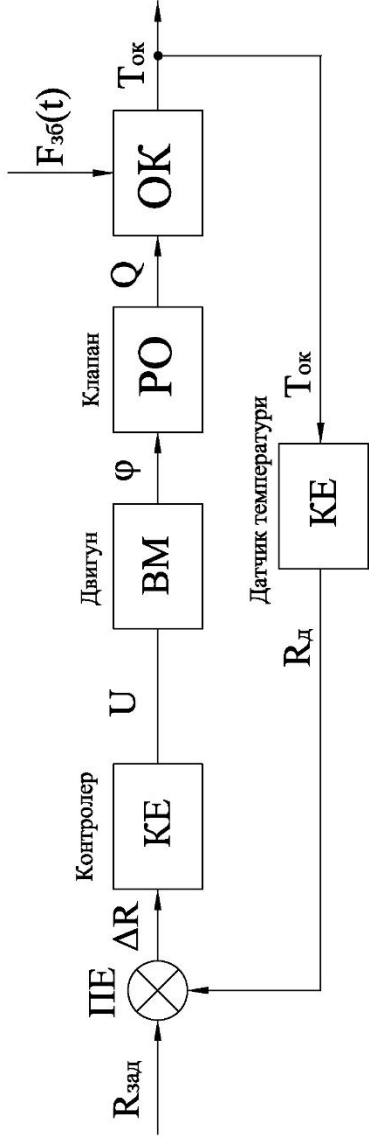


Блок-схема потоків тепла в приміщенні для утримання тварин

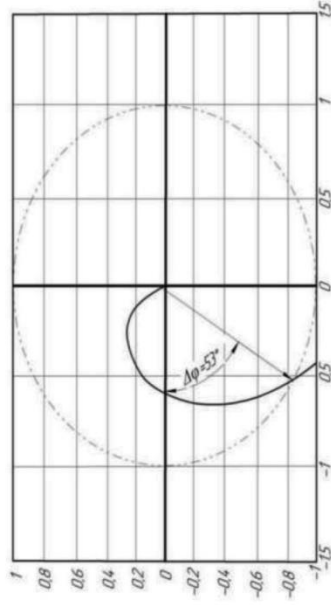


Блок-схема потоків вологості в приміщенні для утримання тварин

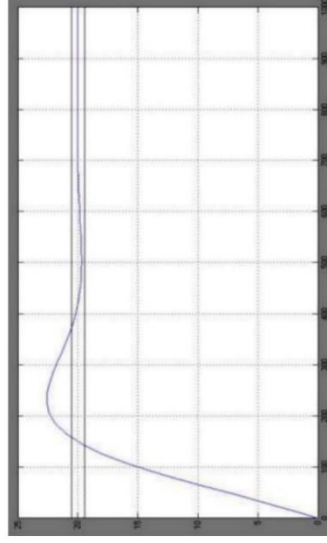
Дослідження системи регулювання температури приміщення для утримання тварин



$R_{зад}$ – температура, що задається; ΔR – $R_{зад}$ – $R_{д}$ – температура, що вимірюється датчиком; KE – керуючий елемент, представлений регулятором; U – керуюча напруга; BM – виконавчий механізм, представлений двигуном; PO – регулюючий орган, представлений клапаном; ОК – об’єкт керування, представлений приміщенням для утримання тварин; $F_{зб}$ – зовнішні збурення, що діють на об’єкт керування. Температура зовнішнього середовища; ПП – первинний перетворювач, представлений датчиком температури.

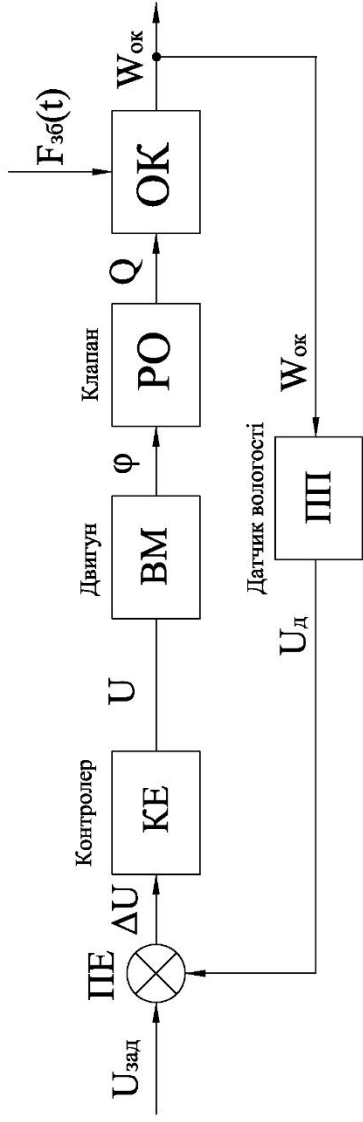


Годограф Найквіста за каналом регулювання температури

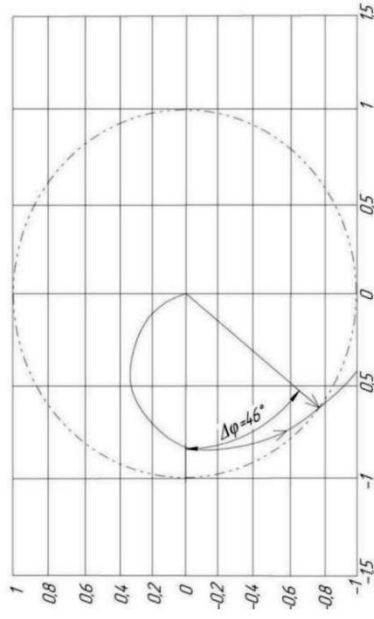


Перехідний процес керування температурою

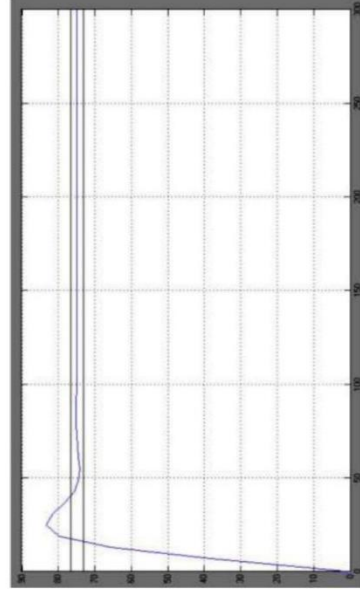
Дослідження системи регулювання вологості приміщення для утримання тварин



$U_{зад}$ – напруга, що задається; $\Delta U = U_{зад} - U_{д}$ – напруга, що вимірюється; U – керуюча напруга; VM – виконавчий механізм, представлений двигуном; $ПШ$ – первинний перетворювач, представлений датчиком вологості

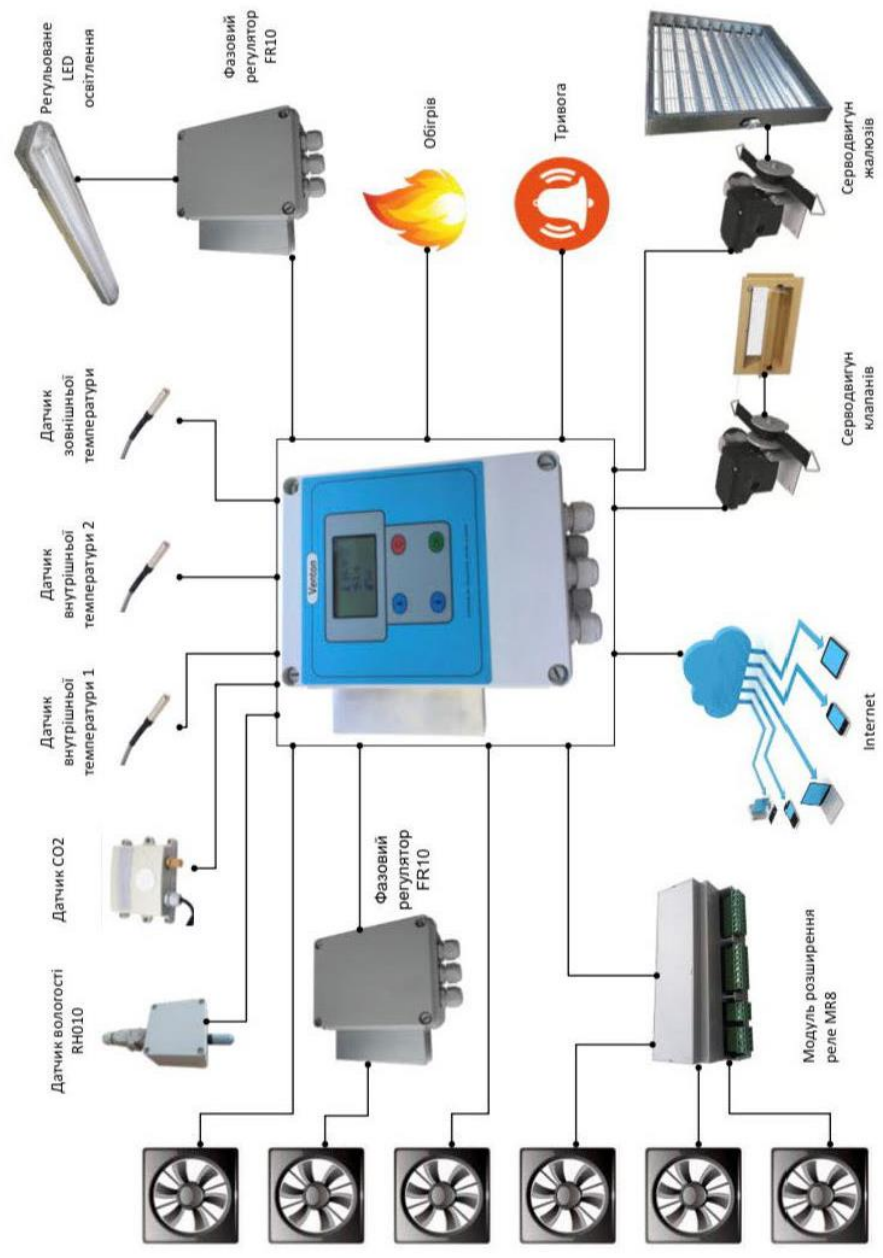


Годограф Найквіста за каналом регулювання вологості

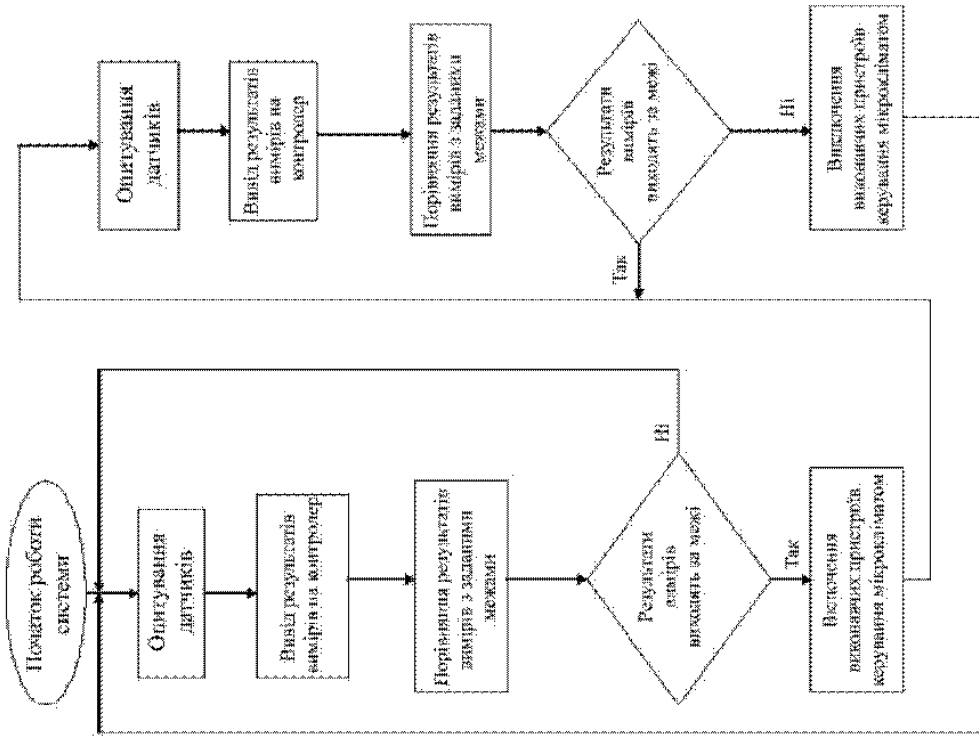


Перехідний процес керування вологості

Блок-схема автоматизованої САК приміщення для утримання тварин



Алгоритм керування мікрокліматом приміщення для утримання тварин



ВИСНОВКИ

Мета кваліфікаційної робота бакалавра досягнута, а саме розроблено інтелектуальну систему автоматизованого керування мікрокліматом у приміщеннях для утримання тварин.

У першому доведена необхідність розробки систем моніторингу та регулювання мікроклімату у приміщеннях утримання тварин, що диктується необхідністю реалізації повною мірою високого рівня генетичного потенціалу сучасних тварин. Сформульовано вимоги до системи моніторингу мікроклімату: масштабованість, виконання на вітчизняній елементній базі, простота в експлуатації, обслуговуванні та ремонті. Контролю підлягають такі параметри мікроклімату – температура та відносна вологість повітря, швидкість руху повітря у приміщенні, концентрація вуглекислого газу, аміаку, сірководню.

У другому розділі розроблена структурно-алгоритмічна схема системи автоматичного керування по каналу температури та вологості приміщення для утримання тварин, яка здійснює регулювання відповідно до ПП-закону керування параметрів мікроклімату, забезпечує якісну індикацію технологічних параметрів, має контури керування електродвигунами і електрореклапанами. Перехідні процеси у системі були змодельовані за допомогою математичної моделі, що дало змогу одержати час перехідного процесу і відносне перерегулювання для каналів керування температурою та вологістю.

У третьому розділі розроблена функціональна схема автоматизації приміщеннях для утримання тварин, на якій схематично показані канали регулювання мікрокліматом. Обрані сучасні, швидкодіючі засоби автоматизації та виконавчі механізми, що відповідають поставленим вимогам. Розроблено алгоритм керування мікрокліматом.

Дякую за увагу!