

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

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

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **"РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИМ КОМПЛЕКСОМ ПРОМИСЛОВОГО
ПТАШНИКА ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПЕРЕГРІВУ ПТИЦ"**

Спеціальність:

174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Дудник А.О.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Опришко О.О.
(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Недбайло Ю.С.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Недбайлу Юрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність:

174 - "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: "Розроблення системи автоматичного керування вентиляційним комплексом промислового пташника для запобігання перегріву птиці",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2518"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "29" травня 2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики бакалаврської кваліфікаційної роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Стрес-фактори промислового вирощування птиці.

4.2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму в пташнику в літній період.

4.3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом у пташнику та засобів його реалізації.

4.4. Розробка цифрової системи керування.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Структура та реалізація диспетчерської системи контролю та керування структурними підрозділами птахофабрики.

4.7. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування вентиляційним комплексом промислового пташника в літній період.

5.2. Система автоматичного керування вентиляційним комплексом промислового пташника. Схема електрична принципова.

5.3. Система автоматичного керування вентиляційним комплексом промислового пташника. Схема електрична з'єднань.

5.4. Система автоматичного керування вентиляційним комплексом промислового пташника. Схема електрична підключень.

5.5. Система автоматичного керування вентиляційним комплексом промислового пташника. Зовнішній вигляд щита керування.

Дата видачі завдання "25" жовтня 2025 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Опришко О.О.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Недбайло Ю.С.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1. Стрес-фактори промислового вирощування птиці	9
1.1. Класифікація стрес-факторів курей-несучок та бройлерів	9
1.1.1. Фізичні стрес-фактори курей-несучок та бройлерів	9
1.1.2. Хімічні стрес-фактори у курей-несучок та бройлерів	11
1.1.3. Кормові стрес-фактори у курей-несучок та бройлерів	12
1.1.4. Транспортні фактори	12
1.2. Тепловий стрес у птахівництві: ознаки, причини, шляхи усунення	12
1.2.1. Ознаки, причини та наслідки теплового стресу	13
1.2.2. Методи профілактики теплового стресу у птахівництві та технологічне обладнання для їх реалізації	18
1.3. Нормативні значення параметрів мікроклімату в промислових пташниках для курей-несучок та бройлерів	25
РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму в пташнику в літній період	29
2.1. Визначення продуктивності системи вентиляції у промисловому пташнику в літній період	29
2.2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму у пташнику в літній період	34
2.3. Аналіз динаміки об'єкта керування та визначення його передатної функції	39
2.4. Функціональна схема автоматизації системи керування вентиляційним комплексом у пташнику для утримання курей-несучок	41
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування вибору алгоритму керування температурним режимом у пташнику та засобів його реалізації	45
3.1. Вибір алгоритму керування	45
3.2. Реалізація алгоритму керування	48
3.2.1. Вибір частотного перетворювача для керування електродвигунами приводу вентиляторів	50
3.2.2. Вибір первинного вимірювального перетворювача	53
3.2.3. Визначення передатної функції виконавчого механізму	58
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування	62
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	68
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи керування вентиляційним обладнанням у пташнику	68
5.2. Розробка схем електричних з'єднань та підключень САК вентиляційним обладнанням у пташнику	73
5.3. Вибір апаратів захисту та керування	74
5.4. Вибір проводів та кабелів	80
5.5. Вибір щита керування	83

РОЗДІЛ 6. Структура та реалізація диспетчерської системи контролю та керування структурними підрозділами птахофабрики	84
6.1. Дезінфекційний бар'єр: автоматизація санітарного контролю на в'їзді	84
6.2. Розробка системи диспетчерського контролю та керування параметрами мікроклімату пташників	87
6.3. Диспетчеризація комбікормового заводу та системи водопостачання	96
6.3.1. Диспетчеризація комбікормового заводу	96
6.3.2. Система підготовки води: керування насосами і частотними перетворювачами	96
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування	97
Висновки	101
Література	103
Додатки	106

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідники всього світу не випадково приділяють велику увагу проблемі теплового стресу (ТС) у сільськогосподарської птиці. І хоча підрахунок економічних збитків від ТС у промисловому птахівництві у різних експертів відрізняється, деякі джерела оцінюють їх у 128–165 мільйонів доларів щороку [1]. Безумовно, є країни, більш або менш схильні до цього явища через свою географію, проте тренд останніх десяти років свідчить про збільшення середньоденних літніх температур навіть у регіонах з помірним кліматом.

Останнім часом на території України все частіше спостерігаються екстремальні погодні явища, що супроводжуються рекордними показниками температури, а також посухою в літню пору року, причому спека реєструється не лише в південній частині, а й на півночі країни. Досить часто літня температура повітря в цих регіонах тривалий час тримається на рівні 40°C і більше. У таких умовах, навіть при максимальному використанні примусової вентиляції, температура в пташниках на 10°C і більше перевищує нормативний рівень. У цей період у галузі птахівництва часто виникають проблеми з підтриманням оптимальних параметрів мікроклімату в пташниках. Окрім цього, за своєю будовою птиця суттєво відрізняється від інших теплокровних тварин – вона більш чутлива до коливань зовнішніх температур. У птиці відсутні потові залози, слабка судинорухова реакція, терморецептори локалізовані в шкірі, на язичку та у мозку, центр терморегуляції розташований у гіпоталамусі – усе це робить її вразливішою до температурних коливань [2].

З огляду на це, однією з найактуальніших проблем високопродуктивного птахівництва є тепловий стрес, який характеризується порушенням терморегуляції в організмі птиці під впливом високої температури, що тягне за собою низку негативних змін. Зниження споживання корму – один із основних проявів теплового стресу. За рахунок зниження

апетиту організм птиці намагається зменшити надходження енергії корму у відповідь на підвищення енергії в навколишньому середовищі. Птиця може використовувати власні жири як джерело енергії, що виробляє менше тепла, ніж метаболізм протеїнів або вуглеводів у кормах.

Існують температурні діапазони повітря для життєдіяльності та продуктивності сільськогосподарської птиці, кожен з яких характеризується конкретними змінами в кормовій поведінці та продуктивності птиці [3].

На ступінь тяжкості прояву теплового стресу у птиці впливають як зовнішні чинники, такі як раціон та його якісний і кількісний склад, вода, система вирощування та утримання, щільність посадки, температура та вологість повітря, швидкість руху повітря тощо, так і внутрішні – вид, порода, вік, фізіологічний стан. Сучасні високопродуктивні кроси характеризуються високою швидкістю метаболічних процесів, чутливі до стресів різної етіології та схильні до порушень обміну речовин при недотриманні умов годівлі та утримання. У дорослої птиці суттєво страждають відтворювальні якості: знижується спермо-продукція та запліднювальна здатність племінних півнів; яєчна продуктивність, якість шкаралупи (вона стає тонкою та крихкою) і самого яйця (водянистість, обриви канатиків). Крім того, зумовлене високою температурою зниження споживання корму і, як наслідок, споживання кальцію може стати причиною мінерального виснаження м'язової та кісткової тканини (насамперед тканини стегнової кістки) високопродуктивної птиці, внаслідок чого у курей-несучок розвивається синдром "клітинної втоми" [4].

Існують три основні стратегії вирішення проблеми теплового стресу у сільськогосподарської птиці. *Перша* полягає в усуненні теплового стресу за рахунок суворого дотримання зоогігієнічних норм, корекції мікроклімату (покращення вентиляції), зміни щільності посадки та вдосконалення існуючих методів і технологій виробництва. Суть *другої* полягає в підвищенні у птиці природної резистентності шляхом генетичного вдосконалення та дотримання технології інкубації курчат. *Третя* – використання засобів фармакологічної

корекції, що містять антиоксиданти, бікарбонат натрію, електроліти, органічні кислоти, ферментні препарати, аспірин, вітаміни тощо.

Таким чином, питання профілактики та терапії теплового стресу відіграють винятково важливу роль для галузі птахівництва.

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

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

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

Задачі бакалаврської кваліфікаційної роботи:

- обґрунтування кількісних та якісних показників вентиляційного обладнання, що входить до складу вентиляційного комплексу;
- розробка математичної моделі створення температурного режиму у пташнику в літній період та визначення його динамічних властивостей;
- розробка функціональної схеми автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику в літній період;
- вибір технічних засобів автоматизації для реалізації САК температурним режимом;
- визначення показників якості роботи САК;
- розробка електричних схем реалізації САК;
- розробка операторського інтерфейсу SCADA-системи контролю та керування параметрами мікроклімату промислового пташника.
- техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої системи керування.

РОЗДІЛ 1

СТРЕС-ФАКТОРИ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОЩУВАННЯ ПТИЦІ

1.1. Класифікація стрес-факторів курей-несучок та бройлерів

У промисловому та приватному птахівництві використовуються інтенсивні технології вирощування, що роблять можливим максимальне виявлення генетичного потенціалу птиці. Водночас надмірно щільна посадка птиці, відсутність сонячного світла та багато чого іншого, про що буде вказано нижче – це *стрес-фактори*, що негативно позначаються на здоров'ї, продуктивних якостях і збереженості курей.

Чим більше стрес-фактор не відповідає біології птиці, тим сильніший його негативний ефект.

Загальні симптоми стресу: 1) відмова від корму або поганий апетит; 2) неспокій, збуджений стан; 3) гіпертермія; 4) прискорене дихання; 5) пришвидшене серцебиття; 6) посиніння слизових оболонок; 7) низькі показники продуктивності; 8) низьке співвідношення: "витрата кормів / продуктивність"; 9) низька якість продукції (м'ясо, яйця); 10) виражена чутливість до патогенів; 11) загибель птиці.

Зовнішні агресивні подразники (негативні стрес-фактори, або причини стресу) бувають *фізичними, хімічними, кормовими, транспортними, технологічними, психічними* та іншими. Розглянемо деякі з них більш детально.

1.1.1. Фізичні стрес-фактори курей-несучок та бройлерів

Стресовий стан курей – це можливий результат некомфортного мікроклімату (низької або високої *температури*, відносної *вологості*), несприятливого *радіаційного фону*, *шуму*, *відсутності сонячної інсоляції*, *різкої зміни тривалості світлового дня*.

Максимальну продуктивність птиця показує при температурі 21–22°C – у цих температурних межах корму витрачається найменше. Коли температура падає до 7°C або піднімається до 27°C і вище, у стаді починають з'являтися особини з ознаками стресу. До того ж, низька температура сприяє розвитку патологій дихальної системи, зокрема інфекційних респіраторних недуг.

Через тепловий стрес починає інтенсивніше вироблятися лептин і глюкагон, знижується концентрація інсуліну, що тією чи іншою мірою шкодить усім внутрішнім органам. При тривалій температурі 27°C знижується лужний резерв крові, порушується робота щитоподібної залози та обмін кальцію.

Тепловий стрес провокується і високою відносною вологістю. Якщо вона доповнює високу температуру, погіршується тепловіддача і розвивається гіпертермія організму. Підвищення вологості та зниження температури позитивно корелює з тепловіддачею та кормовими витратами, пов'язаними з терморегуляцією організму.

При запізнілому вирішенні проблеми перегріву розвивається респіраторний алкалоз, що закінчується загибеллю.

Важливо не допускати сильних шумів у пташнику. Максимальна верхня межа шуму – 90 дБ. Шум рівнем 92–107 дБ гальмує діяльність центральної нервової системи (ЦНС) і, відповідно, пригнічує курей, погіршує їхню продуктивність. При постійному низькому шумі (62–70 дБ) збуджується ЦНС, зменшується швидкість росту курчат і показники яєчної продуктивності несучок. Дослідження вчених дозволили встановити цікаву тенденцію: якщо протягом пів-години стукати молотком по металевій поверхні (90 дБ), кількість битих яєць у несучок збільшується на 6% [4].

При дуже яскравому світлі птиця стає дратівливою, нервовою, несучки починають розкльовувати свої та чужі яйця, частішають випадки канібалізму. Зворотний ефект дає освітлення, яке коливається в межах 0,5 – 1 Лк.

Молодняк, що потрапив до пташника з інкубаторію, швидше адаптується до нових умов і починає харчуватися, якщо приміщення

обладнане джерелами зеленого світла. Зі швидкістю росту бройлерів позитивно асоціюється зелене світло і негативно – біле [5].

1.1.2. Хімічні стрес-фактори у курей-несучок та бройлерів

До цієї групи факторів належить газовий склад повітря в пташнику. Провокаторами розглянутої проблеми є аміак, сірководень та вуглекислий газ. Загроза криється і в різних фармакологічних засобах, що використовуються у боротьбі з паразитами.

Аміак становить найбільшу небезпеку, оскільки від його кількості залежить вага, витрата комбікорму, рівень яєчної продуктивності та тривалість періоду від народження до статевої зрілості. Висока концентрація аміаку в газовій суміші повітря є причиною зниження живої маси бройлерів на 3–4%, підвищення чутливості до патогенів, що викликають захворювання дихальної системи, та збільшення кількості шкідливої мікрофлори.

При концентрації *вуглекислоти* понад 0,3% птиця стає загальмованою, тому їсть і п'є менше, у неї більше часу йде на сон. Депресія проявляється після 12-годинного перебування птиці в приміщенні із концентрацією 3–4% вуглекислого газу. Якщо вміст газу збільшується до 10–11%, дихальний центр відключається і настає смерть.

Один зі стрес-факторів – *вилов птиці з метою застосування ветеринарного препарату*. Медикаментозне лікування часто закінчується побічними ефектами, зокрема порушенням кількісного та видового складу кишкової мікрофлори. Така перспектива найімовірніша при використанні сульфаніламідів та антибіотиків.

Окрім стресу, передозування антибіотиків викликає проблеми, пов'язані з роботою та станом печінки і імунної системи [6].

1.1.3. Кормові стрес-фактори у курей-несучок та бройлерів

Тепловий стрес з усіма його наслідками провокують як недогодовування, так і перегодовування курей; кормові суміші, не збалансовані за елементами живлення; різкий перехід на нові корми; неправильно організована годівля, а також хибний підхід до годівлі в період штучно викликаного линяння.

До якості, співвідношення та поживності кормів дуже вимогливі високопродуктивні несучки, оскільки частина речовин у них витрачається на формування яєць. Навіть незначний дефіцит органічних з'єднань може призвести до виснаження такої птиці, через що вона стає сприйнятливою до заразних патологій. Чим нижча вгодованість, тим імовірнішим є летальний результат [6].

1.1.4. Транспортні фактори

До стрес-факторів відноситься і перевезення, яке включає вилов, навантаження, розвантаження птиці та використання незвичної для неї тари. Усе це лякає курей і, як наслідок, вводить їх у стан стресу. При неакуратному транспортуванні неякісними дорогами нерідко трапляються пошкодження, що викликають больові відчуття. Останні є причиною повільного, неповного знекровлення і, відповідно, нетоварного вигляду тушок.

1.2. Тепловий стрес у птахівництві: ознаки, причини, шляхи усунення

Одним із важливих технологічних заходів для ведення ефективного птахівництва є забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату пташників, зокрема у профілактиці теплового стресу.

Тепловий стрес є однією з головних проблем у птахівництві, особливо в літній період або при недостатній вентиляції пташника. Він може призвести

до значних економічних втрат: зниження приросту ваги, зменшення споживання корму, загибелі птиці.

1.2.1. Ознаки, причини та наслідки теплового стресу

Тепловий стрес – це стан, коли температура в середовищі перевищує межі комфортної зони для птиці і організм не справляється з тепловим навантаженням. Організм птиці може пристосовуватися до змін повітряного середовища, але лише до певних меж. Фізіологічна рівновага зберігається доти, поки дія зовнішніх подразників не перевищує можливостей організму.

Анатомо-фізіологічні особливості птиці полягають у тому, що птиця не пітніє, оскільки не має потових залоз. Єдиний спосіб охолодження – дихання з відкритим дзьобом та випаровування з дихальних шляхів. Якщо повітря вологе, птаху важче позбутися надлишкового тепла [7].

У стаді птицю з тепловим стресом можна визначити за: 1) прискореним диханням; 2) постійно відкритим дзьобом; 3) прагненням занурити голову в напувалку або підстилку; 4) скуйовдженим оперенням; 5) відсутнім або слабо вираженим харчовим рефлексом; 6) розставленими крилами; 7) нерівномірний розподіл птиці у пташнику зі скупченням у місцях із прохолодними повітряними потоками.

Мікроклімат – це складний комплекс взаємопов'язаних факторів параметрів повітряного середовища всередині приміщення, що впливають на організм (на обмін речовин, теплообмін, газообмін, фізико-хімічні властивості крові, температуру тіла та ін.). Параметри мікроклімату досить непостійні в своєму складі і властивостях. Так, повітря пташників, може мати різну концентрацію водяних парів, температуру, різну швидкість руху, більше чи менше забруднене пилом, і мікроорганізмами, неоднаково збагачене сонячними променями, має різний газовий склад та ін. Тому і взаємодія між організмом птиці і повітряним середовищем має мінливий характер.

Одним із ключових факторів параметрів мікроклімату пташників є температурно-вологісний режим повітряного середовища [8].

Температура і вологість – єдиний мікрокліматичний комплекс, який для повноцінного уявлення про комфорт або ризики для птиці обов'язково розглядається в сукупності, оскільки баланс температурно-вологісного співвідношення формують реальні умови утримання птиці.

Температура повітря – основний фізичний подразник організму тварин. Гігієнічне значення температури зовнішнього середовища полягає в тому, що вона має визначальний вплив на теплорегуляцію організму тварин. У залежності від температури навколишнього середовища організм пристосовує або перебудовує свою теплорегуляцію. При зниженні температури збільшується теплоутворення в результаті підвищення обміну речовин в організмі і зменшується тепловіддача, а при підвищенні температури повітря до певних меж знижується теплоутворення і збільшується тепловіддача.

Порушення в теплообміні можуть бути викликані не тільки підвищеними і зниженими температурами навколишнього повітря і предметів, велике значення має висока вологість і швидкість руху повітря. Вологість повітря впливає на процеси терморегуляції у птиці. Висока відносна вологість негативно позначається на організмі тварин, віддачі ним тепла при високих вона зменшується, а при низьких температурах зростає. При насиченні вологою повітря віддача тепла не можлива. Зокрема, висока температура при високій вологості ускладнює тепловіддачу. Занадто сухе повітря, особливо при високій температурі – виникає зневоднення організму, пересихання слизових оболонок, підвищується пилюка в повітрі.

Температурно-вологісний режим вирощування птиці – це один із найважливіших факторів, що впливають на збереження поголів'я, темпи росту, споживання та конверсію корму, імунітет та загальну продуктивність курей. Неправильний режим призводить до стресу, хвороб і збитків.

У практиці птахівництва для оцінки умов утримання птиці використовують показник **температурно-вологісного індексу** (ТВІ). Температурно-вологісний індекс (ТВІ) є показником, що описує сукупний вплив температури та вологості на фізіологічний стан птахів і є одним з

найбільш критичних факторів середовища. Він дозволяє оцінити, наскільки комфортно або стресовою є середовище для птиці з точки зору теплового навантаження.

Досить висока кореляція між TBI та продуктивністю птиці дозволяє використовувати цей показник при плануванні роботи автоматизованих систем забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату.

TBI – це число, розраховане на основі температури повітря та відносної вологості. Він враховує, що висока вологість погіршує здатність птиці віддавати тепло через випаровування, що може призвести до теплового стресу, навіть якщо температура повітря не є надмірно високою.

Низькі значення TBI (наприклад, 66) вказують на термонеутральні умови, коли птах може підтримувати оптимальну температуру тіла без надмірних зусиль. *Високі значення TBI* (наприклад, 86) свідчать про умови, які можуть викликати тепловий стрес у птахів, особливо у курей, що призводить до зниження продуктивності та можливих проблем зі здоров'ям (табл. 1.1) [8].

Таблиця 1.1.

Комбінації параметрів мікроклімату та їх вплив на організм птиці

Температура	Вологість	Наслідки для птиці
Висока	Висока	Порушення дихання, перегрів, зниження споживання та погіршення конверсії корму
Висока	Низька	Зневоднення, респіраторні проблеми
Низька	Висока	Переохолодження, мокрий послід
Оптимальна	Оптимальна	Комфорт, оптимальний ріст і продуктивність

Зміни TBI також впливають на біохімічні показники крові, такі як рівень гормонів, електролітів, та інші параметри, що відображають стан терморегуляції. Розуміння та контроль температурно-вологісного індексу є важливим аспектом управління птахівництвом, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для утримання птахів та досягнення високої продуктивності.

Фактори, що сприяють тепловому стресу у птиці, включають *високу щільність посадки* та *сезонність*. Висока щільність посадки, коли велика кількість птиці знаходиться в замкнутому просторі, обмежує циркуляцію повітря та ускладнює стабілізацію температури тіла птахів. Поєднання високої температури та вологості не дає птиці можливостей знизити температуру тіла, що призводить до теплового стресу. Крім того, чим більша маса тіла в пташнику, тим більше тепла виробляють самі птахи, що ще більше посилює загальний тепловий стрес.

Виділяють два типи теплового стресу: 1) *поступовий тепловий стрес* – птиця встигає адаптуватися, що знижує ризики для здоров'я і продуктивності; 2) *раптовий тепловий стрес* – різке підвищення температури викликає гострий стрес і критичні або незворотні порушення стану організму.

Розглянемо наслідки теплового стресу для бройлерів та курей-несучок.

У літературі описано велику кількість експериментів, що демонструють дію теплового стресу на *бройлери*. Так, у [9] описується експеримент на бройлерах кросу Ross 308, які піддавалися впливу високих температур (близько 35°C), і зазначається, що споживання корму знизилося на 16,4%, маса тіла – на 32,6%, а також відбулося збільшення конверсії корму на 25,4%. Слід зауважити, що крім прямої шкоди, на м'ясній птиці в літній період часто можна спостерігати і вторинні наслідки. Так, зниження споживання корму призводить до низького надходження протеїну та його меншої кількості для побудови м'язів тіла, а викид кортизолу спричиняє посилення протеолізу та ліполізу, запускаючи одночасно процеси окиснення. На практиці в такому разі ми бачимо скорочення термінів зберігання охолодженого м'яса, м'ясо "тече" на підкладці (відбувається швидка втрата вологи та зниження рН) і виглядає непривабливо (природно блідий колір).

У *курей-несучок* тепловий стрес запускає такі процеси: гіпервентиляція легень призводить до порушення кислотно-лужного балансу, а саме – до високих втрат CO₂ та збільшення рН крові, що, своєю чергою, знижує рівень іонізованого кальцію в крові та органах яйцеутворення. На практиці в цьому

випадку спостерігається зниження продуктивності, а головне – якості шкаралупи та категорійності. Шкаралупа стає крихкою, збільшується кількість бою та насічки. У разі тривалої дії високих температур материнський організм мобілізується і намагається максимально віддати кальцій у яйце, забираючи його з кісток – витончується медулярна кістка, вона стає крихкою та ламкою.

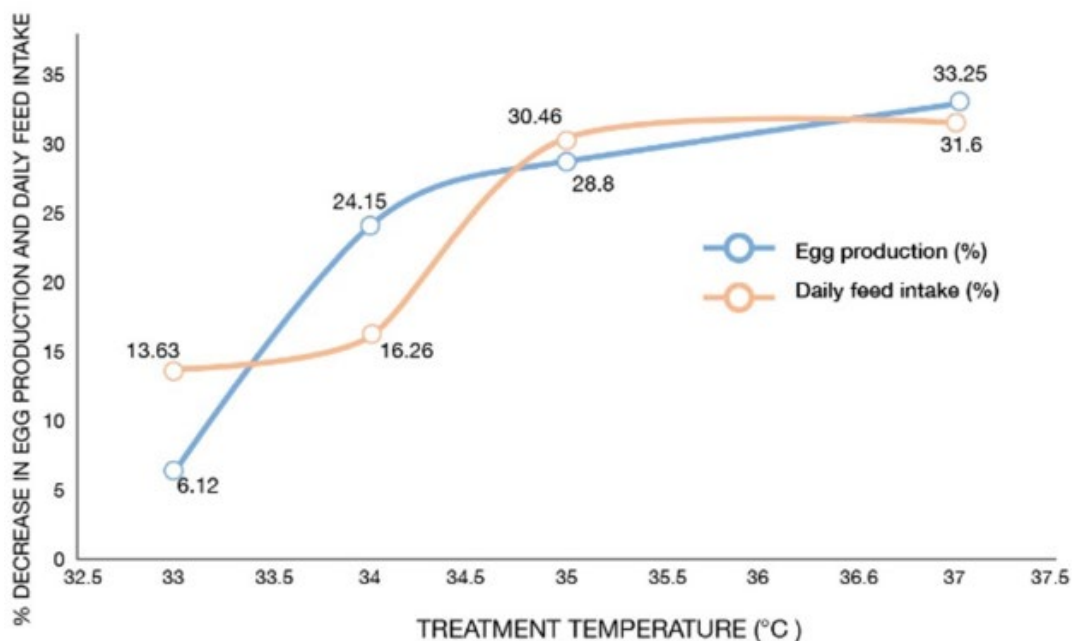


Рис. 1.1. Відсоток зниження яєчної продуктивності (синій) та добового споживання корму (помаранчевий) при різних температурах

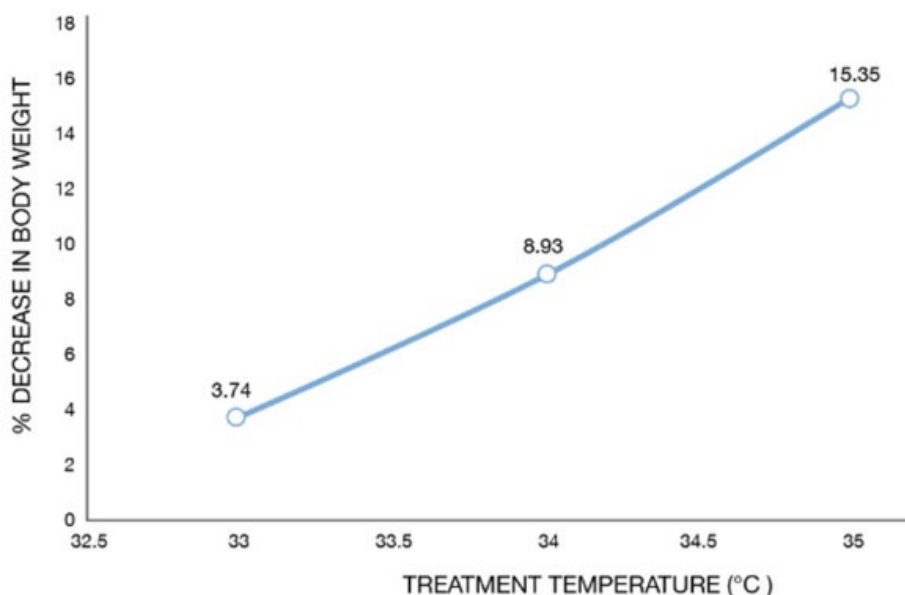


Рис. 1.2. Відсоток зниження живої маси курей-несучок при різних температурах

Відсоток зниження яєчної продуктивності, добового споживання корму та живої маси при різних температурах у пташнику наведені на рис. 1.1, 1.2, таблиці 1.2 [9].

Таблиця 1.2.

Наслідки відхилень температурного режиму від нормативних значень

Температура у пташнику, °C	Негативні наслідки для птиці
26-28	- зниження споживання комбікорму на 3...5%; - підвищення рівня газообміну;
близько 33	- зниження яйценосності на 11...14%; - витончення шкаралупи яєць; - збільшення витрати води майже у 2 рази;
35-40	- підвищення температури тіла птиці на 0,6...1°C; - збільшення споживання води у 2,5...3 рази; - різке зниження активності харчових ферментів; - подальше зниження яйценосності; - підвищення смертності;
41-44	- підвищення температури тіла птиці на 1,5°C і вище; - впадання у кому; - масова загибель птиці.

1.2.2. Методи профілактики теплового стресу у птахівництві та технологічне обладнання для їх реалізації

Ефективна профілактика теплового стресу – це поєднання технологічних, кормових, водних та управлінських рішень. Комплекс методів профілактики теплового стресу включає:

1. Правильна організація контролю мікроклімату в пташнику.
2. Забезпечення водного балансу.
3. Використання різних стратегій годівлі.
4. Біологічні заходи.
5. Додаткові антистресові заходи.

Оскільки дана кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена автоматизації вентиляційного комплексу в промисловому пташнику,

розглянемо детально перший із вказаних пунктів, а інформацію щодо інших методів боротьби із тепловим стресом наведено в Додатку А1.

Отже, правильна організація контролю мікроклімату в пташнику полягає у:

- використанні тунельної або комбі-тунельної системи вентиляції;
- встановленні у пташнику додаткової системи охолодження повітря, яка працює за принципом тумано-утворення або панелей випарного охолодження;
- використанні теплоізоляційних світловідбивних матеріалів для даху та стін;
- використанні холодної джерельної води для систем охолодження;
- автоматизації процесу керування вентиляцією (температурно-вологісним режимом із урахуванням показнику *TBI*).

Для керування вентиляцією у пташнику використовують різні принципи організації системи вентиляції, засновані на:

- *від'ємному тиску* – де повітря виноситься із пташника за рахунок витяжних вентиляторів, створюючи певний рівень розрідження всередині і пасивно засмоктуючи повітря з навколишнього середовища;
- *надлишкового тиску* – де повітря, що нагнітається припливними вентиляторами, створює надлишковий тиск, за рахунок чого внутрішнє повітря пташника видаляється через спеціальні витяжні люки, що керуються сервоприводами;
- *нульовій різниці в тиску* (припливно-витяжні), коли пташник оснащується припливно-витяжною системою із спеціальними вентиляційними шахтами, де кількість припливного повітря дорівнює кількості повітря, що виноситься із пташника.

Для реалізації названих принципів організації систем вентиляції використовують різні схеми розташування обладнання (Додаток А2).

При улаштуванні *тунельної вентиляції* (Додаток А2, рис. г) витяжні вентилятори монтуються у торцевій стіні, а повітря у виробниче приміщення потрапляє через припливні жалюзі у фронтальній стінці або у передній частині бічних стін. Великі витяжні вентилятори викидають значні маси повітря через торцеву частину пташника, утворюючи у приміщенні високе розрідження. При цьому повітря, що надходить у пташник, рухається з великою швидкістю і створює ефект охолоджуючого "бризу", за рахунок чого можна зменшити температуру дорослої опіреної птиці на 5-7°C [10]. У сильну спеку тунельна вентиляція особливо ефективна у поєднанні із різними системами охолодження повітря.

Тунельна вентиляція є особливо незамінною в умовах спекотного клімату, однак у помірних зонах, особливо у перехідні періоди (весна, осінь), коли коливання між денною і нічною температурами є значними – необхідний більш плавний перехід від мінімальної до максимальної вентиляції. Цей ефект досягається за рахунок *комбі-тунельної вентиляції* (Додаток А2, рис. д). Така схема поєднує дахову та тунельну системи вентиляції в одному виробничому приміщенні. У цьому випадку на час холодного сезону для мінімальної вентиляції використовується дахова вентиляція. У період теплої та спекотної погоди, коли необхідно створити максимальний повітрообмін, використовується тунельна вентиляція (дахова при цьому не працює).

Використання різних систем вентиляції відносять до *конвекційних* методів охолодження за рахунок високої швидкості руху повітря. Ефективність охолодження при цьому безпосередньо залежить від швидкості руху повітря на рівні птиці та різниці температур повітря всередині та зовні пташника. Швидкість руху повітря (v , м/с) усередині пташника визначають три основні фактори: 1) максимальна продуктивність повітрообміну; 2) поперечний переріз пташника; 3) герметичність конструкції приміщення.

Конвекційний метод охолодження дозволяє знизити температуру, що *відчувається птицею*, на 4-6°C. Поки повітря не нагрілося до 41°C, і не зрівнялося з температурою тіла птиці, конвекційний спосіб охолодження через

неоперені ділянки ще можливий. Але як тільки досягається вказана температура, кури втрачають тепло лише через дихання та втрату вологи. Енергія на витрату краплі рідини дорівнює 540 калорій. Механізм терморегуляції настільки знижується, що якщо вчасно не запобігти перегріву, настає коматозний стан та загибель [11].

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

У птахівництві знайшли застосування 2 типи систем охолодження:

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

В основі обох систем лежить принцип *адіабатичного охолодження*, коли вода переходить з рідкого стану в пароподібний шляхом вільного випаровування. При збільшенні абсолютного вмісту вологи температура повітря знижується, в результаті чого одночасно зі зволоженням відбувається поглинання надлишків тепла без використання систем штучного охолодження. Таблиця із порівнянням різних систем охолодження повітря наведена у Додатку А3.

Принцип роботи систем випарного охолодження повітря простий – він ґрунтується на адіабатичному методі – природному охолодженні приміщення шляхом випаровування вологи. Вода зверху стікає на охолоджувальні касети (рис. 1.3, а), через отвори яких під дією примусової системи вентиляції проходить сухе тепле повітря (рис. 1.3, б). Завдяки цьому воно зволожується, а температура його знижується. Потім остигла повітряна маса надходить у приміщення (рис. 1.4).

Установка випарного охолодження проводиться швидко. У проріз стіни пташника встановлюються касети, що складаються з целюлозно-паперової основи (рис. 1.5), встановлюються в ряд, потім міцно між собою фіксуються.

Для циркуляції води здійснюється підключення до водопроводу або свердловини, щоб створити безперервне її надходження.



Рис. 1.3. Принцип роботи системи випарного охолодження повітря:

а) подача води на охолоджувальні панелі; б) складові частини системи

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

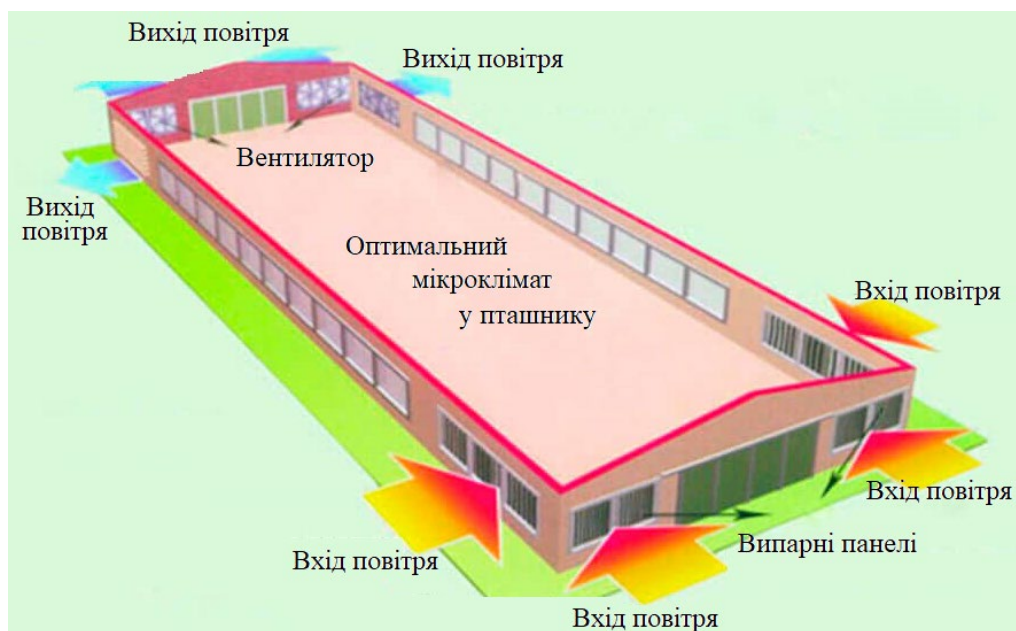


Рис. 1.4. Схема поєднання тунельної системи вентиляції із системою випарного охолодження повітря

Використання касет випарного охолодження (так звані "*cooling pad*") має такі переваги: 1) вони мають легку вагу; 2) відрізняються міцністю; 3) касети не деформуються та не гниють внаслідок своєї структури, що просочена спеціальними полімерами; 4) гофрована комірчаста структура дає можливість безперешкодного проходження повітря; 5) целюлозна основа пориста, має високу поглинаючу властивість, добре намокає.

При використанні систем випарного охолодження необхідно пам'ятати:

- зниження температури повітря у пташнику спричиняє підвищення вологості;
- ефективність зниження температури в пташнику зменшується у разі підвищення вологості (необхідно пам'ятати про показник ТВІ);
- воді, що міститься у зволоженому повітрі, складніше випаруватися, тому і якість остигання повітря знижується.

У разі зменшення температури на 1°C рівень вологості піднімається на 3%, що може негативно позначитися на тепловіддачі птиці. При відносній вологості повітря 75-80% тепловіддача утруднюється і в курей починається перегрів організму. Спільне встановлення випарної та тунельної систем дає можливість знизити температуру в приміщенні на 35%. Наприклад, зовні пташника вона становить 34°C , а відносна вологість повітря вбирається у 50%, і пройшовши через випарну панель, температура повітря у пташнику впаде приблизно на 7°C . Тунельна система вентиляції пташника ще знизить цей показник на 4°C , таким чином кінцева температура у пташнику складе 22°C , що є чудовим результатом [12].

Установка ідеально працює за умови правильного підбору продуктивності вентиляторів, площі касет, а також максимальної герметизації приміщення, що виключає засмоктування повітря через щілини і тріщини в стінах і покрівлі, в обхід касет. Приклад розрахунку конструктивних параметрів випарної системи охолодження повітря наведений у Додатку А4.

1.3. Нормативні значення параметрів мікроклімату в промислових пташниках для курей-несучок та бройлерів

У промисловому птахівництві існує таке поняття, як "**зона температурного комфорту**", або "**термонейтральна зона**". Воно уособлює такий діапазон температур птахівничого приміщення, у межах якого птиця відчуває себе "комфортно" (не відчуває а ні спеку, а ні холод, і практично не витрачає енергію на терморегуляцію тіла).

На практиці, поняття "**термонейтральна зона**" складається із *трьох основних факторів*: 1) температура повітря у птахівничому приміщенні; 2) відносна вологість повітря; 3) швидкість переміщення повітряних мас у пташнику.

Зазначені фактори тісно пов'язані між собою, і правильне їх поєднання є передумовою створення необхідного мікроклімату у пташнику і, відповідно, високоефективного виробництва. Термонейтральна зона є індивідуальною для різних видів і кросів птиці, а також залежить від її віку.

Нормативні значення зазначених трьох факторів для бройлерів та курей несучок залежно від їх віку наведені у таблицях 1.3 – 1.9.

Таблиця 1.3.

Параметри температурно-вологісного режиму пташників

Види та вікові групи птиці	Розрахункова температура у холодний та перехідний періоди року при утриманні птиці, °C		Оптимальна відносна вологість повітря в приміщенні, %
	підлоговому	клітковому	
<i>Дорослі кури</i> <i>Молодняк курей</i> віком:	12-16	16	60-70
від 31 до 70 діб	16	18	60-70
від 140 діб	12-16	16	60-70

Таблиця 1.4.

Оптимальні температурно-вологісні параметри
мікроклімату для бройлерів [8]

Вік бройлерів (діб)	Температура повітря у пташнику, °С	Відносна вологість повітря, %
0–3	33–34	60–70
4–7	31–32	60–70
8–14	29–30	55–65
15–21	27–28	55–65
22–28	24–26	50–60
29–35	21–23	50–60
36 і більше	20–22	50–60

Слід також зазначити, що при різній відносній вологості повітря птахи сприймають однакове значення температури по-різному (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5.

Значення комфортної температури залежно від вологості у пташнику для
бройлерів кросу "КОББ" різного віку [13]

Вага, гр.	Значення відносної вологості повітря у пташнику					
	30%	40%	50%	60%	70%	80%
42	33	32,2	32	29,5	29	27
175	32	31	31	29	28	26,5
486	30	30	29,5	28,5	27	25,5
931	28	28	27,5	26,5	26	25
1467	26	25	25	24	23,5	22,5
2049	23	23	22,5	22	21	20,5
2634	20	20	19,5	18,5	17,5	16
3177	18	17,5	17	16	15	14
4064	14	13,5	13	12	11	10

Зазвичай, при проектуванні вентиляційних систем для промислових пташників виділяють 3 періоди року: холодний (зимовий) період року із мінімальними розрахунковими температурами; весняно-літній (перехідний) період із температурами повітря у межах від 0 до +10°C; спекотний (літній) період із максимальними розрахунковими значеннями температури.

Таблиця 1.6.

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	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 1.7.

Мінімально необхідна кількість вентиляційного повітря для промислових
пташників пташник, м³/год. на 1 кг живої маси птиці

Дані досліджень	Показник повітрообміну, м ³ /год.	
	Холодний період року	Теплий період року
[14]	1,5...2,0	6,0
[10]	0,7	> 4,0
[15]	0,7	4,0
[16]	1,4...1,8	4,8

За умов, коли температура у пташнику досягне значення +30°C і вище, швидкість руху повітря у зоні розміщення підвищують до 2,2...2,5 м/с (для дорослої птиці) у комбінації із додатковими системами охолодження повітря (див. п. 1.2.2) для підсилення охолоджуючого ефекту.

Реальний ефект охолодження напряму залежить від віку: чим птиця є молодшою, тим більш холодною відчувається температура при однаковій швидкості руху повітря, що демонструють дані таблиці 1.8 [17].

Таблиця 1.8.

Порівняння ефекту охолодження повітря для птиці різного віку

	Доросла птиця	Добові курчата
Швидкість руху повітря	1,5 м/с	1,5 м/с
30°C відчуються як	25,5°C	18°C
Охолоджуючий ефект	30–25,5 = 4,5°C	30–18 = 12°C
Розрахунковий коефіцієнт охолодження	3 (3x1,5 м/с = 4,5°C)	8 (8x1,5 м/с = 12°C)

При проектуванні систем вентиляції птахівничих приміщень необхідно враховувати не тільки норми мінімального допустимого повітрообміну, але і обмеження для швидкості руху повітря в залежності від віку та виду птиці для попередження її переохолодження (таблиця 1.9).

Таблиця 1.9.

Гранична допустима швидкість руху повітря у пташниках
залежно від віку птиці [13]

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

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ПТАШНИКУ В ЛІТНІЙ ПЕРІОД

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

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

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

Вихідні дані для розрахунку:

- кількість курей-несучок у пташнику $n = 35000$ гол. ;
- вага птиці – 2,5 кг;
- розрахункова температура зовнішнього середовища для теплого періоду року $t_3 = 30^\circ \text{C}$;
- розміри виробничого приміщення (рис. 2.1) 96х18х4 м.

Повітрообмін для літніх умов, кг/год., (максимальна продуктивність вентиляції) визначається за виразом [18]

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

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

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

I_B, I_3 – ентальпія внутрішнього і зовнішнього повітря, кДж/(кг сухого повітря) (визначають за $I-d$ діаграмою, за емпіричними залежностями або за довідником).

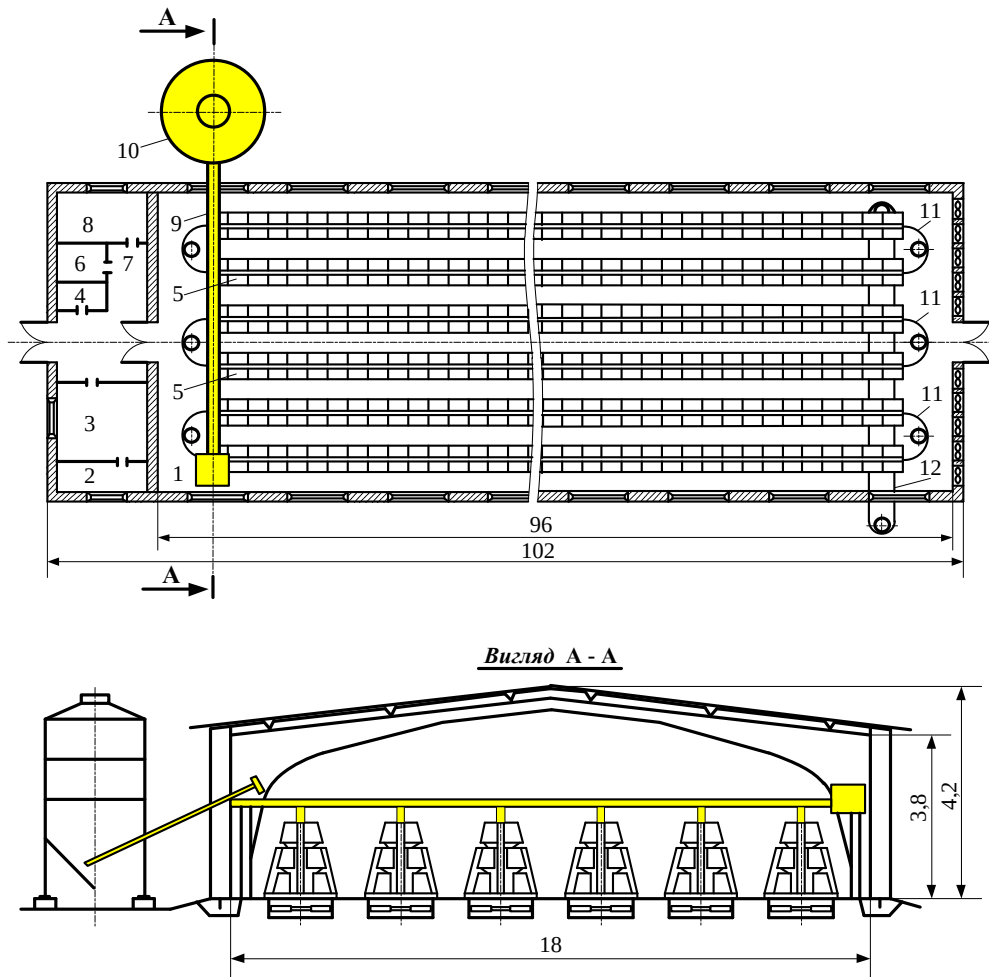


Рис. 2.1. Промисловий пташник для утримання 35000 курей-несучок у кліткових батареях

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

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

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

m – вага птиці, кг;

$Q_{пт}^1$ – кількість теплоти, кДж/год. на 1 кг живої маси птиці даного виду (додаток Б1).

k – поправочний коефіцієнт для визначення виділень теплоти птицею при різних температурах повітря у пташнику (додаток Б2).

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

$$Q_{РАД} = Q_{ОГ}^C + Q_{ОС}, \quad (2.3)$$

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

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

Розрахунок обох складових радіаційного тепла є дуже складним, тому для наближених розрахунків надходження сонячного тепла крізь стіни і покриття визначаються [18] за виразом

$$Q_{ОГ}^C = 3,6 \cdot \left(K_1 \cdot \frac{F_C}{2} + K_2 \cdot F_{II} \right), \quad (2.4)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує надходження тепла крізь 1 м² стіни, Вт/м² (приймають 3...4 Вт/м² [18]);

F_C – площа стін будівлі, м²;

K_2 – коефіцієнт, що враховує надходження радіаційного тепла крізь перекриття, Вт/м² (для безгорищних будівель при широті місцевості 45, 55, 65° приймають відповідно 21, 17,5 і 14 Вт/м², а для будівель з горищами 5,8 Вт/м² [18]);

F_{II} – площа горизонтальної проекції покрівлі, м².

Кількість тепла, що надходить крізь освітлене сонцем скло будівлі, приймають рівним 400 Вт/м² [18], але в розрахунок вводиться 0,5 загальної площі скла.

Враховуючи, що у досліджуваному пташнику утримується 35000 курей-несучок масою $m = 2,5$ кг та $Q_{mn}^1 = 25,2$ кДж/год. (додаток Б1), $k = 0,9$ при 30°C (додаток Б2), отримаємо значення кількості виділень тепла птахами

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

Оскільки досліджуваний пташник має розміри 96х18х4 і є безвіконним, отримаємо

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

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

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

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

Ентальпія (вміст теплоти) повітря, кДж/(кг сух. пов.), визначається за емпіричною [19] залежністю

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

де t – температура повітря, °С;

d – вміст вологи в пароводяній суміші, г/(кг сух. пов.), при температурі t , визначається [20] за виразом

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

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

Значення тиску насиченої пари визначається в залежності від температури повітря за емпіричним рівнянням [20]

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

Результати розрахунку ентальпії повітря для заданих умов наведені в додатку Б4:

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

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

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

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

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

Для забезпечення такого повітрообміну доцільно використати осьові вентилятори серії CN (CN HP) (Gigola E Riccardi S.p.A., Italy) – осьові витяжні вентилятори із лопатями для створення високого тиску, розроблені для використання у системах вентиляції тунельного типу (рис. 2.2, додаток Б3). Технічні характеристики модельного ряду вентиляторів CN (CN HP) наведені в таблиці 2.1.

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

За умови, що осьові вентилятори даної моделі повинні здолати тиск 30Па (максимальна продуктивність), обираємо вентилятор **CN-150 55"** із продуктивністю 44037 м³/год.

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

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

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



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд вентилятора CN-150 55"

Таблиця 2.1.

Основні технічні характеристики вентиляторів серії CN (CN HP)

Модель	Виконання	Продуктивність, м ³ /год., при подоланні тиску				Потужність, кВт
		0 Па	10 Па	20 Па	30 Па	
CN-200 69"	2.5	81052	77726	76720	73591	1,83
	2	75887	72634	70129	65484	1,50
CN-150 55"	2	53689	52579	51460	48381	1,50
	1.5	49885	48147	47170	44037	1,10
CN-140 51"	1.5	43289	40419	39011	37251	1,10
	1	39787	37423	35624	33412	0,75

2.2. Розробка та дослідження математичної моделі температурного режиму у пташнику в літній період

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

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

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

Схема роботи системи охолодження повітря зображена на рис. 2.3.

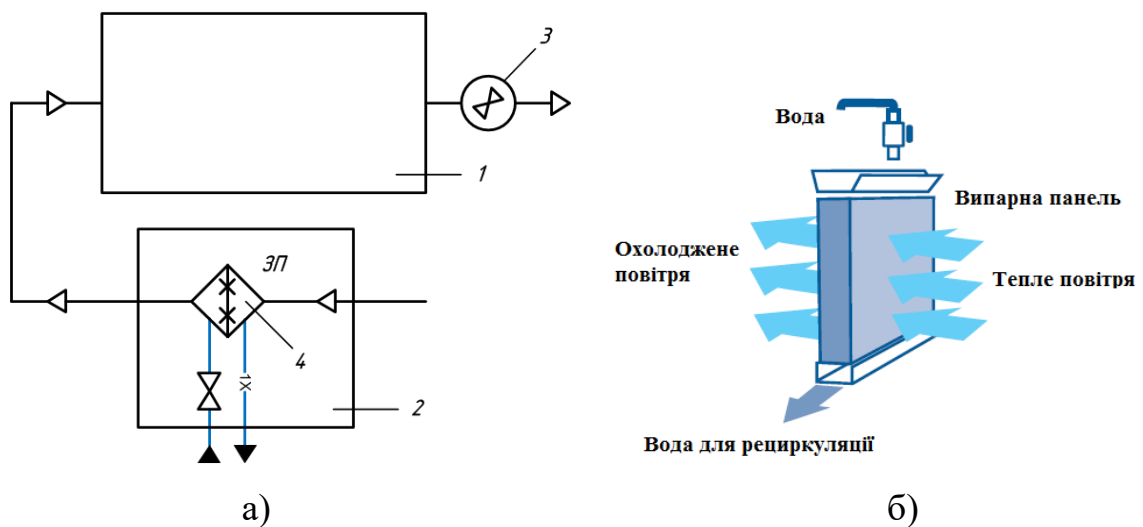


Рис. 2.3. Схема роботи системи охолодження повітря:

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

Таким чином, повітря в системі охолодження має такі характеристики:

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

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

$\varphi_1, \varphi_2, \%$

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

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

- середня питома теплоємність сухого повітря;

- $\rho_p = 1,234 \text{ кг} / \text{м}^3$ - густина повітря;
 $C_{pa} = 1,97 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$ - кількість теплоти, затраченої на випаровування
 вологи, приймається рівним значенню середньої
 питомої теплоємності водяної пари;
 $r_0 = 2493 \text{ кДж} / \text{кг}$ - питома теплота пароутворення;
 $V_p = 6912 \text{ м}^3$ - об'єм повітря у пташнику;
 $V_w, \text{ м}^3 / \text{с}$ - витрати вентиляційного повітря у системі вентиляції.

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

Складемо матеріальний тепловий баланс для системи охолодження повітря у виробничому приміщенні пташника в теплу пору року для вирощування курей-несучок (рис. 2.4).

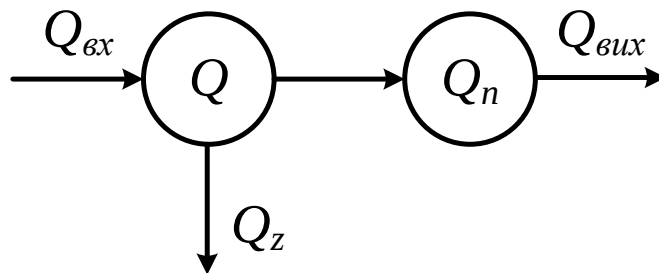


Рис. 2.4. Тепловий баланс при охолодженні повітря у виробничому приміщенні пташника в теплу пору року

В *статичному* режимі:

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

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

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

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

В динамічному режимі:

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

де Q_n - тепло, що знаходиться у приміщенні пташника.

Враховуючи, що:

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

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

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

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

де I_1, I_2 - відповідно ентальпія повітря на вході та виході із кондиціонера, Дж/кг сухого повітря.

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

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

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

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

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

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

а витрати вентиляційного повітря, м³/год. для видалення надлишку теплоти із пташника визначаємо з виразу

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

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

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

Лістинг математичної моделі охолодження повітря, що складена за допомогою пакету MathCAD, та результати розрахунків і досліджень наведені в додатку Б4.

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

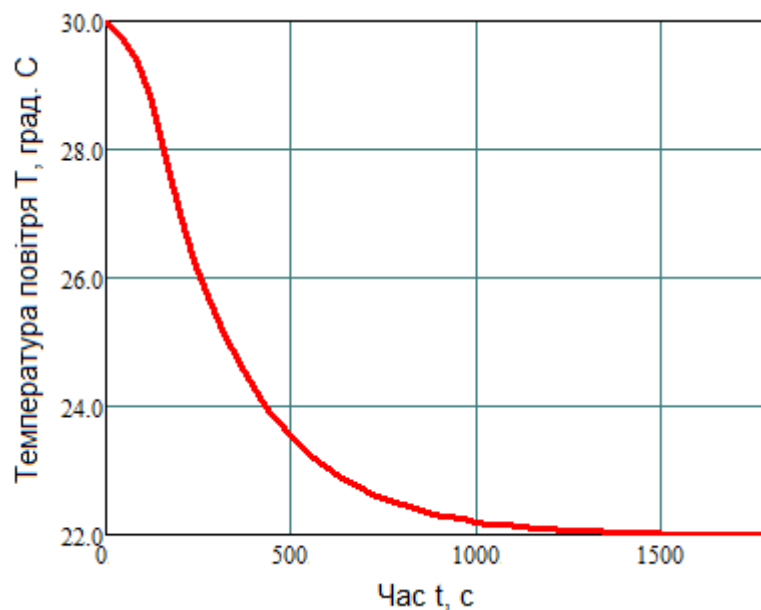


Рис. 2.5. Крива розгону пташника для каналу "температура повітря – продуктивність системи вентиляції"

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

Для визначення передатної функції пташника в літній період для каналу "продуктивність системи вентиляції $\rightarrow$ температура в пташнику" був використаний графічний метод [21]. Для цього розгінна характеристика (рис. 2.5), отримана за розробленою математичною моделлю охолодження повітря у пташнику, була пронормована за виразом

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

Результати розрахунку занесені в таблицю (додаток Б5), нормована розгінна характеристика пташника для каналу керування зображена на рис. 2.6.

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

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

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

Чисельне значення постійної часу T_{oy} та часу запізнення τ_{oy} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.6). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначаємо за формулою

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

де T_K та T_{II} - відповідно кінцева та початкова температура повітря у пташнику, °C;

L_K та L_{II} – відповідно кінцеве та початкове відносне значення продуктивності системи вентиляції у пташнику, %.

$$T_K = 22^{\circ}C, T_{II} = 30^{\circ}C; L_K = 70\%, L_{II} = 0\%.$$

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

Знак мінус характеризує спадаючий характер зміни температури.

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

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

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

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

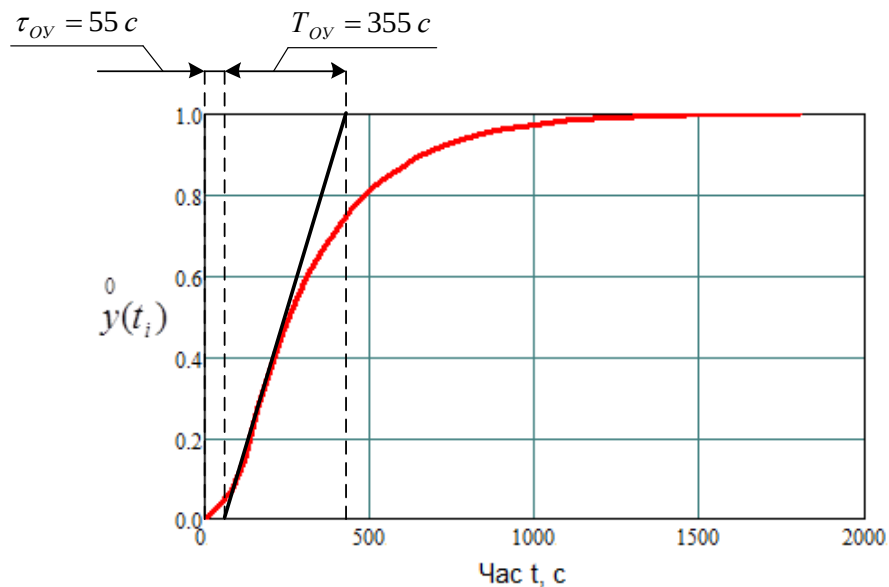


Рис. 2.6. Нормована розгінна характеристика пташника в літній період для каналу керування температурним режимом

2.4. Функціональна схема автоматизації системи керування вентиляційним комплексом у пташнику для утримання курей-несучок

Функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику в літній період зображена на аркуші №1 графічної частини бакалаврської кваліфікаційної роботи.

На ній зображені два контури керування технологічним обладнанням, робота яких буде тісно пов'язана – контур керування вентиляцією та системою напування птиці.

В залежності від температури повітря всередині пташника (вимірюється датчиком температури **TE (1-1)**) та зовнішньої температури (**TE (2-1)**) автоматичний керуючий пристрій – програмований логічний контролер ПЛК150 (**TIRC (3-1)**) формує сигнал керування перетворювачем частоти **SIC (4-1)**), який, в свою чергу, регулює швидкість обертання валу електродвигунів приводу витяжних вентиляторів, які працюють постійно.

Мінімальна частота обертання вентиляторів відповідає мінімальній кратності повітрообміну, яку необхідно забезпечити для нормальної життєдіяльності поголів'я птиці. При підвищенні температури повітря у виробничому приміщенні вище нормованих значень перетворювач частоти збільшує частоту обертання вихідного валу електродвигунів приводу вентиляторів, збільшуючи тим самим продуктивність системи вентиляції.

При пікових значеннях температури, які можуть виникнути у пташнику в спекотну погоду, програмований логічний контролер подає живлення за допомогою електромагнітного пускача **NS (5-1)** на регулювальний клапан подачі артезіанської води на касети системи охолодження повітря.

Відпрацьована вода, яка у касетах системи охолодження нагрілася теплим припливним повітрям, потрапляє у теплообмінник, де віддає тепло воді, яка подається у систему напування птиці. Температура води для поїння птиці повинна складати 12-14°C.

Для роботи системи напування птиці сигнали від датчиків тиску води у мережі ***PE (1-2)*** та температури води ***TE (2-2)*** надходять до керуючого пристрою системи напування ***UIRC (3-2)***, який формує сигнали керування регулювальним клапаном (подача води у систему напування) та водонагрівальним елементом (за необхідності у зимовий період). У літній період вода, призначена для напування, проходить через теплообмінник, де отримує певну кількість теплоти від води, яка проходить через панелі (касети) випарного охолодження повітря і забирає теплоту припливного повітря).

РОЗДІЛ 3

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

3.1. Вибір алгоритму керування

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта керування. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного алгоритму керування. Встановлено, що критерієм для правильного вибору алгоритму регулювання може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$ [21].

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

При виборі типу регулятора рекомендується орієнтуватися на величину відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$:

- якщо $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному) алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу керування;

- якщо $0,2 < \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або цифровому алгоритму (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування);

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

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

В нашому випадку передатна функція пташника для каналу "продуктивність вентиляції $\rightarrow$ температура повітря" $W_{ov}(s) = \frac{0,17}{355 \cdot s + 1} \cdot e^{-55 \cdot s}$, при цьому відношення $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{55}{355} = 0,16 \approx 0,2$, тому необхідно використати неперервний алгоритм керування.

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

Відомо [21], що перехідний процес в САК характеризується часом регулювання t_p , перерегулюванням σ , максимальним динамічним відхиленням y_1 та статичною похибкою. При використанні різноманітних алгоритмів керування для одного і того ж об'єкта не вдається добитися одночасної мінімізації відомих показників.

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

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

Для статичних об'єктів:

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

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

$y_{\text{МАКС}}$ – максимально допустиме збурення по навантаженню, в % ходу РО;

y_1 – максимальне динамічне відхилення.

Проведемо розрахунки за умов наступних значень показників якості:

- максимальне динамічне відхилення $y_1 = 1^\circ\text{C}$;
- статична похибка $\Delta y = 0,5^\circ\text{C}$;
- допустимий час регулювання $t_p = 700\text{с}$;
- перерегулювання за збуренням $\sigma = 0,2$;
- допустиме можливе значення збурення за навантаженням (у % переміщення регульовального органу) $y_{\text{МАКС}} = 30\%$.

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

За вихідними значеннями величина динамічного коефіцієнту

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

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

За графічними залежностями [21], визначаємо алгоритм керування – це ПД-алгоритм.

Перевіримо, чи забезпечуватиметься при цьому необхідний час регулювання за виразом

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

де ψ - відносний час регулювання, для статичного об'єкту $\psi = 7$ [21].

Тоді $t_{p.\text{ПД}} = \psi \cdot \tau = 7 \cdot 55 = 385$, видно, що $385 < 700$, тобто необхідний час регулювання забезпечується.

Перевіримо на виникнення при цьому статичної похибки.

За графічними залежностями [21], визначаємо

$$\frac{\Delta y}{k_{OY} \cdot y_{MAKC}} = 0,15, \Delta y = k_{OY} \cdot y_{MAKC} \cdot 0,15 = 0,17 \cdot 30 \cdot 0,15 = 0,9^{\circ} C.$$

Умова $0,9^{\circ}C < 1^{\circ}C$ виконується, тобто ПІД-алгоритм керування задовольняє технологічні вимоги.

3.2. Реалізація алгоритму керування

Автоматизована система контролю і управління мікрокліматом АСУ призначена для контролю і управління виконавчими механізмами, що забезпечують підтримку кліматичних параметрів повітряного середовища пташника в заданих межах в ручному, автоматичному і аварійному режимах, відповідно до технології утримання птиці у кліткових батареях. АСУ дозволяє накопичувати і організовувати бездротову (і дротову) передачу інформаційно-аналітичного матеріалу на диспетчерський комп'ютер для оцінки ефективності роботи обладнання та технологій.

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

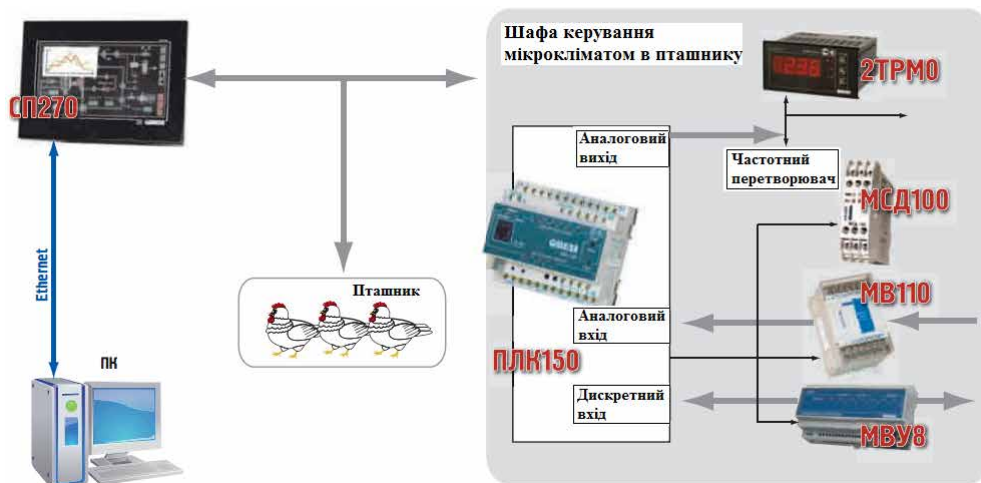


Рис. 3.1. Функціональна структурна схема автоматизованої системи керування параметрами мікроклімату в пташнику

АСУ забезпечує контроль:

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

Програмований логічний контролер AQteck ПЛК150 [23] складає основу автоматизованої системи керування (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Функціональна схема програмованого логічного контролера ПЛК150 компанії AQteck

Програмований логічний контролер AQteck ПЛК150 має:

- вхідні контакти:

- аналогові універсальні вимірювальні – входи **AI**;
- дискретні входи – входи **DI**;

- вихідні контакти:

- аналогові виходи **A0**;
- дискретні виходи **D0**.

До аналогових входів ПЛК150 як індикатор підключено 2TRM0 и частотний перетворювач для керування електродвигунами системи вентиляції.

3.2.1. Вибір частотного перетворювача для керування електродвигунами приводу вентиляторів

У САК температурним режимом у пташнику в літній період в якості пристрою для керування електродвигунами приводу витяжних вентиляторів передбачається використати частотний перетворювач серії ПЧВЗ фірми AQteck (рис. 3.3).

Ці перетворювачі оснащені вбудованим модулем реалізації ПІ- або ПІД-алгоритм керування.

Частотні перетворювачі (інвертори) служать для плавного, безступінчастого регулювання швидкості трифазних асинхронних електродвигунів. Регулювання відбувається за рахунок створення на виході трифазного струму змінної частоти. Перетворювач дозволяє відстежувати і відображати на цифровому табло основні параметри – задану швидкість, вихідну частоту, струм і напругу двигуна, вихідну потужність і момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача і т.д.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд частотного перетворювача ПЧВЗ AQteck

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

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

Можливості перетворювача серії ПЧВЗ:

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

- передбачено два способи зупинки двигуна: контрольованим гальмуванням або вільним вибігом;
- автоматичний перезапуск після провалу живлення із можливістю пуску на двигун, що обертається;
- вбудований електронний захист від перевантаження за струмом, захист від низької напруги;
- вбудований інтерфейс RS-485 зв'язку з ПК (швидкість обміну даними складає до 19500 бод).

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

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти
типу ПЧВ3 фірми AQteck (ступінь захисту IP54)

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

У попередніх розділах було визначено, що для забезпечення необхідного повітрообміну у пташнику необхідна кількість вентиляторів **CN-150 55"** (таблиця 2.1) із продуктивністю 44037 м³/год. становить 8 шт.

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

Основні технічні характеристики електродвигуна АИР80А4У2 ІМ1084

Характеристика електродвигуна	АИР80А4
Потужність, кВт	1,1
Частота обертання поля статора, об./хв.	1500
Частота обертання валу, об./хв.	1390
Тип	асинхронний
Напруга живлення, трифазна, В	220/380
Номінальний струм, А	2,85
ККД, %	76,2
Номінальний крутний момент, Н·м	7,398
Співвідношення моментів M_{Π}/M_H	2,3
Співвідношення моментів $M_{\text{макс}}/M_H$	2,3
Кратність пускового струму I_{Π}/I_H	6,0
Момент інерції, кг·м ²	0,0028
Діаметр валу, мм	22
Вага, кг	14
Рівень шуму, дБ	до 61
Режим роботи	Тривалий S1
Термічний клас ізоляції обмоток	F до 150°C

Отже, загальний струм споживання восьми зазначених електродвигунів складає $2,85 \cdot 8 = 22,8\text{А}$, а їх потужність складає 8,8 кВт, і за таблицею 3.1 необхідно використати частотний перетворювач ПЧВ3-11К-В-54.

3.2.2. Вибір первинного вимірювального перетворювача

До первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) висуваються наступні вимоги:

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

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

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають в два етапи:

- на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління та умовами його роботи визначається різновид перетворювача;
- на другому етапі, після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

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

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

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

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

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

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, а також особливості підключення датчиків температури до частотних перетворювачів типу ПЧВ3-11К-В-54, для вимірювання температури у пташнику обраний термоперетворювач опору загальнопромислового виконання ТСМУ-2212-50М, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Основні технічні характеристики термоперетворювача
опору ТСМУ-2212-50М

Діапазон вимірюваних температур, °С	-5...+70
Номінальна статична характеристика (НСХ)	50М
Клас допуску	В
Показник теплової інерції, с	8 (при Ø гільзи 6мм)
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
Матеріал захисної арматури	Ст. 12Х18Н10Т
Діапазон умовного тиску, мПа	0,4...4,0
Стійкість до вібрації	Група вик. N3
Кліматичне виконання	У3

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

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

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

Термоперетворювач ТСМУ-2212 відповідає вимогам ДСТУ 2858-94.

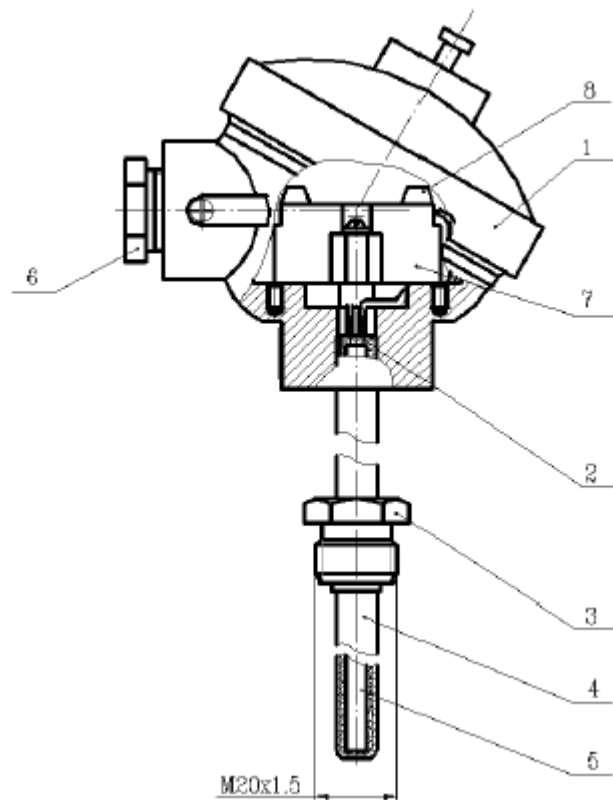


Рис. 3.4. Термоперетворювач опору з уніфікованим вихідним сигналом ТСМУ-2212-50М:

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

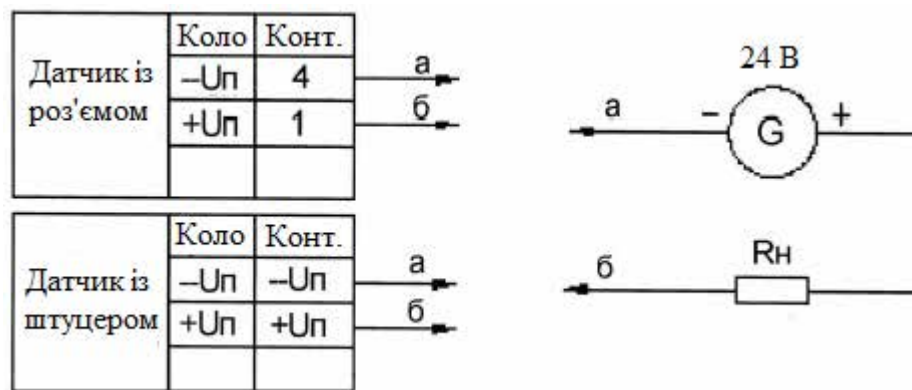


Рис. 3.5. Схема зовнішніх з'єднань датчиків типу ТСМУ із вихідним сигналом 4-20 мА

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

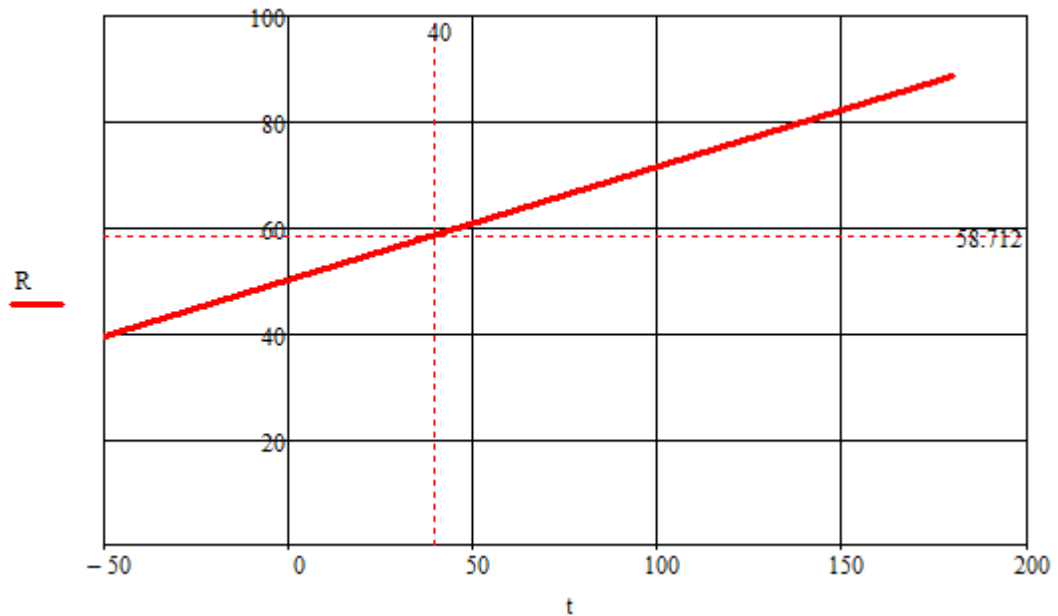


Рис. 3.6. Номінальна статична характеристика
термоперетворювача опору ТСМУ-2212-50М

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд $W_{\text{ПВП}}(s) = \frac{k_{\text{ПВП}}}{T_{\text{ПВП}} \cdot s + 1}$.

Коефіцієнт передачі $k_{\text{ПВП}}$ (чутливість), визначається за формулою

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

де ΔT – різниця значень вимірюваних датчиком температур, $^{\circ}\text{C}$ (таблиця 3.3);

ΔI – різниця струмів, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, мА.

Враховуючи, що показник теплової інерції сприймаючого елемента складає $T_{\text{ПВП}} = 8 \text{ с}$ (таблиця 3.3), передатна функція датчика ТСМУ-2212-50М

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

3.2.3. Визначення передатної функції виконавчого механізму

Виконавчим механізмом системи автоматичного керування температурним режимом у пташнику в літній період є електродвигун приводу вентилятора **CN-150 55"** AIP80A4Y2 IM1084.

Найбільш раціональним способом плавного регулювання швидкості обертання є частотний. Можливість зміни швидкості цим способом впливає із виразу для синхронної швидкості обертового магнітного поля статора

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

з якого видно, що швидкість ω_0 є прямо пропорційною частоті f напруги, що підводиться до обмоток статора.

Виведемо передатну функцію асинхронного електродвигуна при частотному керуванні. Позначимо через ω_{IV} швидкість обертання поля статора при частоті f_V . Тоді відносна швидкість поля

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

де швидкість ω_0 пов'язана з номінальною частотою мережі виразом (3.4).

Введемо поняття фіктивного ковзання

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

Дійсна швидкість обертання при частоті f_V

$$\omega = \omega_{IV} \cdot (1 - s). \quad (3.7)$$

Підставляючи у (3.7) значення ω_{IV} із (3.5) з урахуванням (3.6),

визначимо

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

Для малих значень ковзання обертаючий момент двигуна пропорційний ковзанню

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

Підставляючи (3.8) та (3.9) у вихідне рівняння

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

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

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

Цей вираз можна представити як

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

Якщо за вхідну величину прийняти відносну швидкість поля v , а за вихідну – відносне ковзання $\sigma = \frac{s_\phi}{s_H}$, то вираз (3.12) матиме вигляд

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

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

Тоді передатна функція асинхронного електродвигуна при частотному керуванні

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

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

Передатна функція асинхронного електродвигуна у цьому випадку

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

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

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

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

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

де M_{KP} - критичний момент електродвигуна; s_{KP} - критичне ковзання електродвигуна.

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

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

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

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

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

$$\mu_1 = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{ПУСК}} = \frac{2,31}{2,30} = 1,004. \quad (3.22)$$

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

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

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

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

Тоді

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

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

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

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

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

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

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

$$W_{нч}(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}. \quad (4.1)$$

Передатна функція цифрового ПД-регулятора має вигляд:

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

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

$$\begin{cases} \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -(z_1 + z_2) = d \\ \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = z_1 z_2 = c \end{cases} \quad (4.3)$$

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

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

Для астатичної системи добротність за швидкістю можна визначити як відношення швидкості зміни вхідного сигналу $\frac{dx_{ex}(t)}{dt} = \dot{x}_{ex}$ до усталеної похибки

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

при лінійній зміні вхідного сигналу $x_{ex}(t) = kt$. Тоді швидкість $\dot{x}_{ex} = const = k$, а Z-зображення вхідного сигналу $X_{ex}(z) = \frac{kTz}{(z-1)^2}$.

Зображення динамічної похибки матиме вигляд:

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

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

$$\begin{aligned} \Delta x_{уст} &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \Delta X(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{X_{ex}(z)}{1+W_{pec}(z)W_{нч}(z)} = \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{\frac{kTz}{(z-1)^2}}{1+W_{pec}(z)W_{нч}(z)} = \frac{kT}{\lim_{z \rightarrow 1} [(z-1)(1+W_{pec}(z)W_{нч}(z))]} = \\ &= \frac{kT}{\lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{pec}(z)W_{нч}(z)]}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

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

$$\Delta x_{ycm} = \frac{\dot{x}_{ex}}{\frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{pez}(z) W_{nc}(z)]}. \quad (4.8)$$

Тоді для систем з ПІД-регулятором:

$$\begin{aligned} K_V &= \frac{\dot{x}_{ex}}{\Delta x_{ycm}} = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{pez}(z) W_{nc}(z)] = \\ &= \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} \left[\left((z-1) K_p + (z-1) \frac{K_i T (z+1)}{2(z-1)} + (z-1) \frac{K_d (z-1)}{z} \right) W_{nc}(z) \right]. \end{aligned} \quad (4.9)$$

Остаточно, добротність за швидкістю для систем з ПІД-регулятором

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

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

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

Коефіцієнт інтегруючої складової регулятора тоді визначається:

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

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

Таблиця 4.1.

Залежність коефіцієнту добротності за швидкістю
від постійних часу об'єкта

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

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

Тоді неперервна частина системи керування має передатну функцію:

$$W(s) = \frac{0,17}{355 \cdot s + 1} \cdot \frac{0,217}{8 \cdot s + 1} \cdot 2,91 = \frac{0,107}{2840 \cdot s^2 + 363 \cdot s + 1}.$$

Визначаємо дискретну передатну функцію неперервної частини системи, до якої входить і фіксатор нульового порядку (за допомогою програми MATLAB):

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

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

`>> bode(w).`

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

Час квантування задаємо 30 сек. Оскільки максимальний час квантування $T_{\kappa, \max} = 30 \text{сек.}$

`>> wz=c2d(w,30)`

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

Sample time: 30 seconds

Discrete-time transfer function.

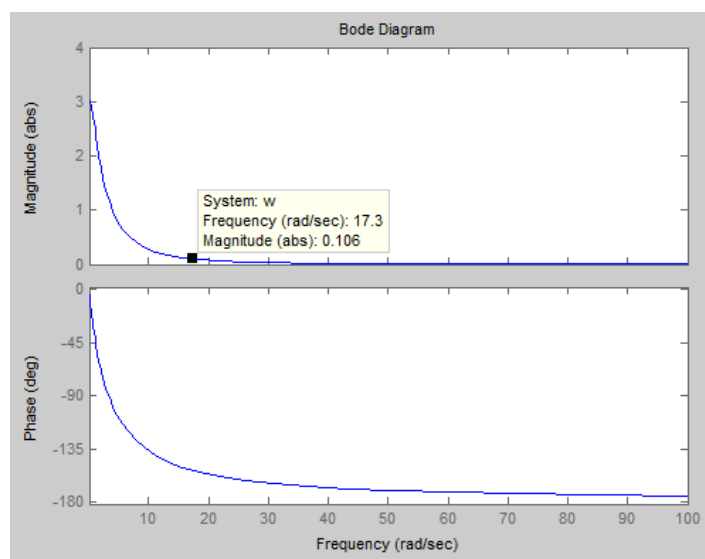


Рис. 4.1. АЧХ неперервної частини системи

Коефіцієнт K_i визначаємо, виходячи із заданої добротності за швидкістю:

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

$$K_i = 0.015.$$

$$\frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -0.9931;$$

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

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

Дискретна передатна функція цифрового ПД-регулятора

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

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

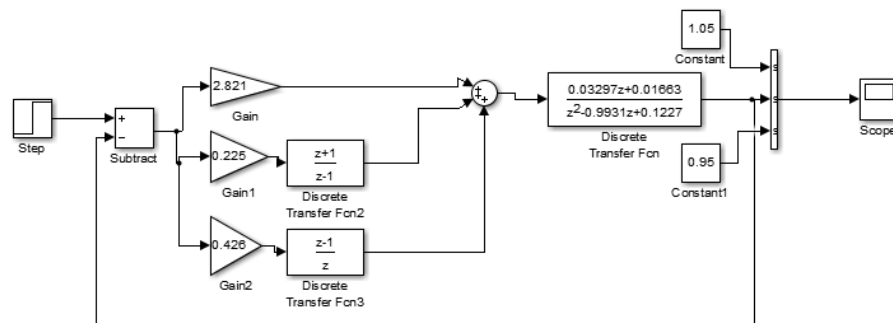


Рис. 4.2. Simulink-модель цифрової системи з ПД-регулятором

1) Статична похибка:

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

2) Час регулювання:

$$t_p = 225 \text{ с.}$$

3) Перерегулювання:

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

4) Коливальність: $n = 0$.



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

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

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

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

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

При заміні в станції керування вентиляційною установкою ТСУ-2-КЛУЗ "Климатика-1" у блоці регулятора тиристорного регулятора напруги на перетворювач частоти можливі два варіанти схемних рішень (додаток В1, В2).

За першим варіантом (додаток В1) блок перемикача залишається без змін. В блок регулятора замість блоку силових тиристорів і плат керування вмонтовується перетворювач частоти необхідної потужності.

На платі управління і сигналізації монтуються перемикачі режимів роботи SA1, датчики температури R2, R3 та частоти струму R1 та сигнальна арматура HL4. Робота перетворювача частоти передбачена в ручному і автоматичному режимі. Режим роботи задається перемикачем SA2. При роботі в ручному режимі сигнал керування на вхід перетворювача подається від датчика температури ВК, в коло якого вмикається джерело живлення AU1 напругою 24В.

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

За другим варіантом (додаток В2) у блоці перемикача замість перемикача SQ передбачена установка двох контакторів КМ1 і КМ2. Контактор КМ1 вмикає станцію на роботу в некерованому режимі, контактор КМ2 – в керованому. Як контактори можна використати реверсивний магнітний пускач відкритого виконання, номінальний струм якого дорівнює або дещо більший за номінальний струм перетворювача. Перемикання режимів здійснюється перемикачем SA1.

Застосування контакторів дає можливість автоматично переводити систему в некерований режим роботи при частоті струму, близькій до 50 Гц, наприклад, при 45 Гц. При цьому зменшується час роботи перетворювача частоти АФ під навантаженням, особливо в літній період, коли вентиляція тривало працює на повну потужність. Таким чином зменшуються втрати енергії в системі керування, подовжується строк роботи перетворювача і знижується ризик пошкодження ізоляції електродвигунів імпульсними перенапругами, які виникають на виході перетворювача частоти. Дослідження з перетворювачами частоти [24] показали, що при частоті 50 Гц напруга на виході перетворювача 380В, а при частоті 45 Гц – 320В, що в 1,2 рази менше, а значить, нижча амплітуда імпульсних перенапруг.

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

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

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

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

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

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

Сигнал від датчика температури RK1, який встановлений у виробничому приміщенні пташника, надходить до регулятора A1 (двопозиційний регулятор AQteck 2TPM1) (рис. 5.2). Якщо температура у пташнику перевищить значення 28°C, регулятор своїм замикаючим контактом подає напругу керування на котушку проміжного реле KV3, яке, в свою чергу, подає напругу живлення на електромагнітний клапан подачі води на охолоджуючі панелі.

Технічні характеристики регулятора AQteck 2TPM1 наведені в таблиці 5.1.

Регулятор AQteck 2TPM1-13P забезпечує:

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

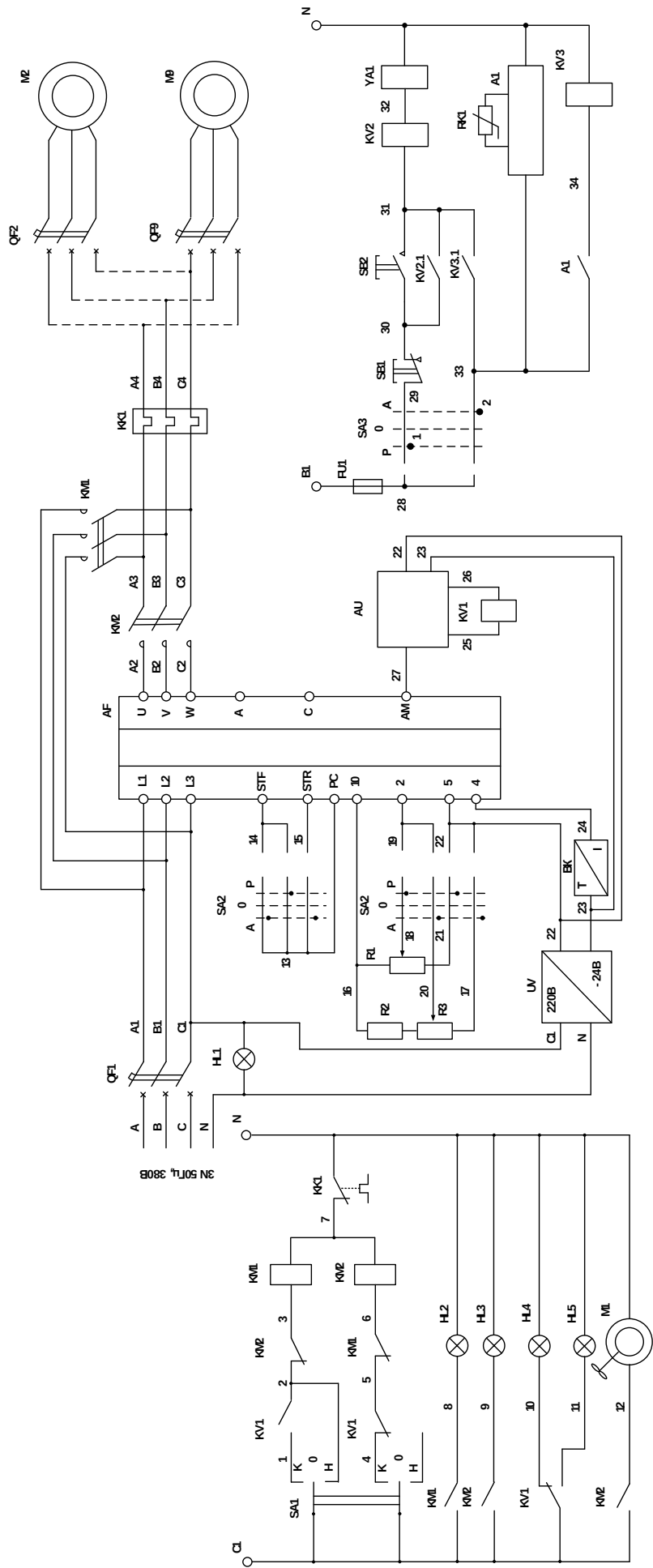


Рис. 5.1. Схема електрична принципова керування вентиляцією в промисловому пташнику

- розрахунок та індикація квадратного кореня з вимірюваної величини (наприклад, для регулювання миттєвої витрати);
- вимірювання різниці двох вимірюваних величин та її індикація (наприклад, для підтримання вологості психрометричним методом);
- універсальне джерело живлення. Дозволяє жити прилад як від джерела змінного струму напругою 90...245 В при 47...63Гц (номінал 220В), так і від джерела постійного струму напругою 20...375 В (номінал 24 В);
- вбудоване джерело живлення 24В для живлення активних датчиків, вихідних аналогових пристроїв (ЦАП) та ін.;
- програмування кнопками на лицевій панелі приладу;
- збереження налагоджувальних налаштувань при відключенні живлення;
- захист налаштувань від несанкціонованих змін.

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики AQtack 2TPM1

Споживана потужність	не більше 7ВА
Кількість універсальних входів	2
Час опитування входу: - для термоперетворювачів опору - для інших датчиків	не більше 0,8 с не більше 0,4 с
Границя основної приведенної похибки вимірювання: - для термоелектричних перетворювачів - для інших датчиків	$\pm 0,5\%$ $\pm 0,25\%$
Кількість вихідних пристроїв	2
Тип вихідних пристроїв (для модифікації Р)	електромагнітне реле
Макс. струм контактів електромагнітного реле при 220В 50Гц	8А
Габаритні розміри та ступінь захисту корпусу	Щ1 96x96x65, IP54
Діапазон вимірювань	0...100%
Вимірювальна здатність	0,1%
Температура навколишнього середовища	-20...+50°C
Відносна вологість повітря	30...80%



Рис. 5.2. Зовнішній вигляд двопозиційного регулятора AQtack 2TRM1

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

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

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

Схеми електричні з'єднань та підключень САК вентиляційним обладнанням у промисловому пташнику зображені на аркушах №3 та №4 графічної частини бакалаврської кваліфікаційної роботи відповідно.

5.3. Вибір апаратів захисту та керування

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

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

- для пуску, зупинки та захисту групи електродвигунів та перетворювача частоти від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач QF1;
- для захисту кожного окремого із 8 електродвигунів М2-М9 від струмів короткого замикання та перевантажень використовуються автоматичні вимикачі QF2-QF9, які встановлюються у місцях розташування електродвигунів для можливості технічного обслуговування окремого електродвигуна без вимикання усієї вентиляційної системи;
- для дистанційного керування електродвигунами М2-М9 використовуються електромагнітні пускачі КМ1 та КМ2;
- для захисту групи електродвигунів М2-М9 згідно з рекомендаціями по експлуатації частотного перетворювача ПЧВЗ-11к-В-54 AQteck від перевантажень використовується теплове реле КК1;
- в колі керування для перемикання режимів роботи використовуються пакетні перемикачі SA1, SA2; для комутації окремих ділянок кола управління використовується проміжне реле напруги KV1; для світлової сигналізації в колі управління використовуються сигнальні лампи HL1-HL5.

Для приводу кожного з вентиляторів **CN-150 55"** використовується електродвигун **АИР80А4У2 ІМ1084** (таблиця 3.1, розділ 2).

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

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

$$U_{H.AB} \geq U_{Ж} ; \quad (5.1)$$

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

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

де $I_{H.i}$ - номінальний струм і-го одночасно працюючого двигуна, А;

- номінальний струм електромагнітного (та теплового за наявності) розчіплювача має дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

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

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача в даному випадку

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

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

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

Вибір автоматичних вимикачів

Електродвигун	Автоматичний вимикач QF1 , виконання умов
Група двигунів АИР80А4У2 ІМ1084 (М2-М9) Потужність 1,1 кВт Струм $I_n = 2,85$ А Пусковий струм $I_{8шт} = 8 \cdot 2,85 = 22,8$ А $I_{пуск} = 6,0 \cdot 2,85 = 17,1$ А $I_{відс.розч.} = 1,8 \cdot (8 \cdot 2,85 + 17,1) =$ $= 71,82$ А	GV2ME36 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690В, U_{ав} \geq U_m; 690В > 380В$ $I_{ном.ав} = 36А; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}; 36А > 22,8А$ $I_{ном.розч} = 416А, I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв}; 416А > 71,82А$ (умова 5.4) Регулювання захисту теплових розчіплювачів 28...36А

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

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

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}; \quad (5.5)$$

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

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

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

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

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

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

Вибір автоматичних вимикачів

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

Вибір електромагнітних пускачів КМ1-КМ2. Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

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

$$U_{н.еп} \geq U_{ж}; \quad (5.9)$$

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

$$I_{н.еп} \geq I_n; \quad (5.10)$$

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

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

- за струмом теплового реле та за струмом неспрацювання теплового реле (при відповідній комплектації).

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

Враховуючи умови (5.9) – (5.11), для даної системи автоматичного керування вибираємо електромагнітні пускачі ПМЛ-2560ДМ (ДСТУ ІЕС 60947-4-1) – нереверсивний, без оболонки, без теплового реле, із ступенем

захисту IP20, із змінним струмом кола управління, з додатковими контактами кола управління, номінальним робочим струмом (категорія використання АС-3) при напрузі $U_{H.ЕП} = 380 \text{ В}$ силового кола $I_{H.ЕП} = 30 \text{ А}$, номінальною напругою втягуючої котушки $U_{H.КОТ} = 220 \text{ В}$ (50 Гц) .

Вибір теплового реле КК1. Теплові реле для захисту групи електродвигунів від перевантажень вибирають за наступними умовами:

- струм теплового реле повинен дорівнювати або бути більшим за номінальний струм групи електродвигунів:

$$I_{H.ТР} \geq I_H ; \quad (5.12)$$

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

$$I_{HECПP.ТР} \geq I_H . \quad (5.13)$$

Враховуючи умови (5.12) – (5.13) та значення номінальних струмів групи електродвигунів М2-М9, вибираємо теплове реле типу РТЛ2516 з наступними показниками (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4.

Технічні характеристики теплового реле КК1

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

Вибір пакетних перемикачів SA1, SA2.

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

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

ПМО – перемикач малогабаритний загальнопромисловий;

Ф – конструктивне виконання (Ф – з фіксацією);

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

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

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

Д46 – номер схеми за каталогом виробника;

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

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

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

Вибір проміжного реле KV1. Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола керування:

$$U_{Н.РЕЛЕ} \geq U_{К.УПР}; \quad (5.14)$$

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

$$I_{Н.РЕЛЕ} \geq I_{К.УПР}; \quad (5.15)$$

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

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

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

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

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

Таблиця 5.5.

Технічні характеристики реле РП-21-210 УХЛЗ

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

5.4. Вибір проводів та кабелів

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

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

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

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

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

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

$$I_{розр.дв} = \frac{10^3 P_{H.дв}}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H}. \quad (5.17)$$

Розрахунковий струм магістралі, від якої живиться декілька електродвигунів, визначається за виразом

$$I_{M.розр} = K_o \cdot \sum_{i=1}^m I_{розр.дв.i}, \quad (5.18)$$

де K_o - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів;

$\sum_{i=1}^m I_{розр.дв.i}$ - сума всіх розрахункових сил струму, А.

Вибір кабелю живлення кожного окремого електродвигуна М2-М9.

Визначимо тривало допустимі струми для електродвигунів за виразом (5.17).

Тривало допустимий струм кожного з електродвигунів М2-М9 приводу вентиляторів

$$I_{розр.дв} = \frac{10^3 \cdot 1,1}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,762 \cdot 0,78} = \frac{1100}{391,2} = 2,85 \text{ А.}$$

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

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

Враховуючи умову (5.16) та відповідне розраховане значення тривало допустимого струму окремого електродвигуна та групи електродвигунів, для підключення групи електродвигунів до шафи керування вибираємо кабель АПВ 3х2,5 (ГОСТ 16442-70) – провід з алюмінієвими жилами,

полівінілхлоридною ізоляцією, перерізом струмопровідних жил $2,5\text{мм}^2$, тривало допустимий струм якого дорівнює 27 А [26]. Кабель прокладається в трубі.

Вибір проводів живлення кола керування.

До складу кола керування входять:

- котушки електромагнітних пускачів КМ1 та КМ2 (споживана потужність кожної $68\pm 8\text{ ВА}$);
- котушка проміжного реле КВ1 (споживана потужність $3,5\text{ ВА}$);
- лампи світлової сигналізації НЛ2-НЛ5 (світлодіодні лампи);
- електродвигун М1 охолодження шафи керування (електродвигун двохфазний ТС7063.Н002 з напругою живлення 220В та споживаним струмом $0,055\text{А}$).

Оскільки вказане електрообладнання є малопотужним, можна вважати, що струм кола керування не перевищує 5А . Тому для живлення кола керування вибираємо провід ПВ1х0,5 (ГОСТ 6323-79) – провід з мідною жилою перерізом $0,5\text{ мм}^2$ в полівінілхлоридній оболонці, тривало допустимий струм якого дорівнює 11 А [26].

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

$$I_{M.ROZP} = I_{VPP} + K_o \cdot \sum_{i=1}^m I_{POZP.DB.i} . \quad (5.19)$$

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

Для живлення шафи керування вибираємо кабель АВВГ 4х4 (ГОСТ 16442-70) – кабель з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 4 мм^2 , тривало допустимий струм яких дорівнює 27 А [26]. Кабель прокладається в трубі.

5.5. Вибір щита керування

Щити і пульти – це пости керування, контролю, сигналізації електрифікованих і автоматизованих об'єктів. На них розміщують апаратуру керування, контрольно-вимірювальні прилади, засоби сигналізації та захисту. На фасадних сторонах щитів і пультів можуть бути нанесені мнемонічні схеми, накладні надписи (пояснюючі), освітлювальні пристрої тощо.

Щити і пульти на стадії проектування вибирають на підставі ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) "Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів. Загальні технічні умови "ОСТ 36.13-76". На додаток до ОСТ 36.13-76 розроблені інструкції РМ4-107-82.

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

Шафові щити використовують: 1) у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньо щитових проводів; 2) для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита; 3) для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри всіх пристроїв схеми керування вентиляційною установкою, а також наявність системи охолодження для перетворювача частоти ПЧВЗ-11к-В-54 AQtack, вибираємо щит шафований малогабаритний типу ЩШМ (600x400x350)V4IP30 (ОСТ 36.13-76) [25].

РОЗДІЛ 6

СТРУКТУРА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ СТРУКТУРНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ ПТАХОФАБРИКИ

На сучасних великих птахофабриках при проектуванні систем диспетчеризації намагаються реалізовувати комплексні рішення. Розглянемо типову систему диспетчеризації птахофабрики, що складається з таких складових частин: 1) автоматизація дезінфекційного бар'єру на в'їзді на територію майданчика із певною кількістю пташників; 2) диспетчерський контроль та керування параметрами мікроклімату пташників; 3) диспетчерський моніторинг комбікормового заводу, що обслуговує птахофабрику; 4) диспетчерський моніторинг системи водо-підготовки.

Розглянемо типове улаштування кожної з цих систем, приділивши основну увагу розробці SCADA-системі контролю та керування параметрами мікроклімату в пташниках птахофабрики.

6.1. Дезінфекційний бар'єр: автоматизація санітарного контролю на в'їзді

В минулому на посту охорони працював один оператор, задачею якого був пропуск автомобіля на територію та обробку коліс і кузова у дезінфікуючій рамці. Вмикання системи обприскування здійснювалося вручну. Людський фактор створював дві потенційні проблеми: по-перше, машину оператор міг пропустити без обробки; по-друге, обробку могли увімкнути "для вигляду" на декілька секунд замість повноцінного циклу. Тому для виключення людського фактору на сучасних птахофабриках функція оператора на посту охорони зводиться лише на контролі доступу до обладнання.

Одним із варіантів *архітектури вузла* диспетчерського контролю дезінфекційного бар'єру є:

- контролер Wiren Board 8 (рис. 6.1) – універсальний контролер для автоматизації із відкритим ПО на базі Linux. Призначений для промислової та домашньої автоматизації та моніторингу: опитування датчиків і лічильників, використання для різних систем керування, в системах АСКУЕ, а також у системах "розумний будинок" [27].



Рис. 6.1. Контролер Wiren Board 8

- три релейних модулі WB-MRPS6/S (рис. 6.2, а), які призначені для комутації навантаження загального призначення потужністю до 2 кВт [28].

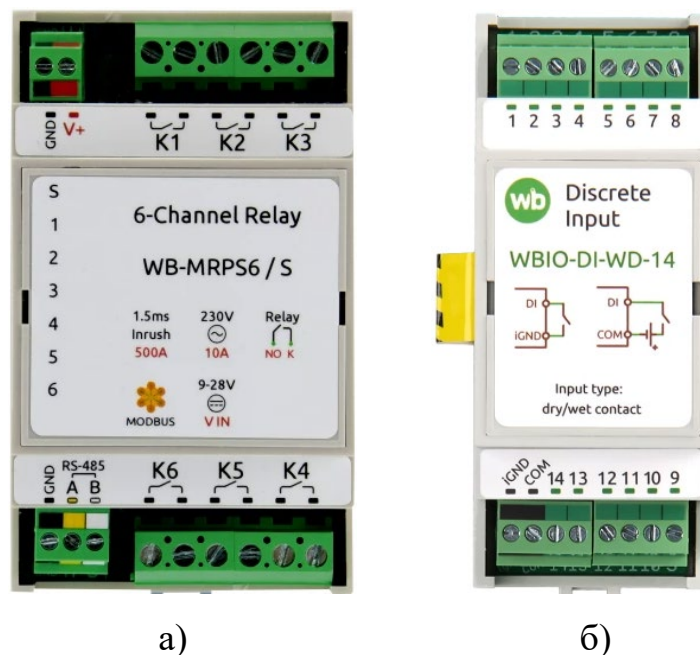


Рис. 6.2. Модулі WB-MRPS6/S (а) та WBIO-DI-WD-14 (б)

- модуль дискретних входів WBIO-DI-WD-14 (рис. 6.2, б), призначений для підключення імпульсних лічильників, кнопок, давачів із виходом "сухий контакт", вводу дискретних сигналів, контролю цілісності кола. Містить 14 універсальних входів типу "сухий контакт" і визначення наявності низької напруги з груповою гальванічною розв'язкою [29].

Перед в'їздом та виїздом встановлена автоматична брама. Якісна обробка транспорту можлива тільки в закритому приміщенні, де формується аерозольна хмара дезінфікуючого розчину (Додаток Г1). Тому під час обробітку брама повинна бути зачиненою.

Перед в'їзною брамою додатково встановлений шлагбаум, що виконує функцію безпеки – не дає водію заїхати в зону обробки передчасно. Шлагбаум відкривається тільки після повного відкриття брами. Також шлагбаум оснащений фотоелементами, які не дозволяють йому зачинятися за наявності перешкоди. Стан фотоелементів передається в систему через "сухий контакт".

Сценарій роботи системи контролю наступний. Охоронець-оператор перевіряє документи, вносить дані в журнал і прикладає власну картку доступу для зчитування. Після ідентифікації замикається сухий контакт, що дозволяє доступ. Після цього: 1) Контролер відкриває в'їзду браму. 2) Після повного відкриття брами відкривається шлагбаум. 3) У момент відкриття брами вмикається обприскування – система починає формувати аерозольну хмару. 4) Засвічується зелений сигнал першого світлофора, і автомобіль їде у зону обробітку. 5) В'їзна брама і шлагбаум зачиняються.

Після названих дій запускається цикл обробки: *обприскування 5 хвилин* із подальшою *витримкою* протягом 5 хвилин. Далі відчиняється виїзна брама і засвічується зелений сигнал другого світлофору.

Отже, контролер через релейні модулі керує шлагбаумом, двома брамами, двома світлофорами та насосною системою, яка має власний захист від холостого ходу.

6.2. Розробка системи диспетчерського контролю та керування параметрами мікроклімату пташників

Оскільки параметри мікроклімату прямо впливають на продуктивність птахофабрики, дуже важливо контролювати коректність роботи різних інженерних систем, які часто оснащені власними системами автоматичного керування.

Часто одна птахофабрика складається із багатьох віддалених територіальних відділень (майданчиків), на кожному з яких знаходиться певна кількість пташників. На одній птахофабриці нерідко можна знайти від трьох до семи різних систем мікроклімату, які побудовані на контролерах різних виробників – німецьких, голландських, ізраїльських та інших [30]. Наприклад, часто зустрічаються рішення від Big Dutchman (MC-135, Viper, Viper Pro, Viper Touch), Fancom (F38, F40), Stienen (PL-9200, PL-9400), Rotem / Plasson (AC-2000), Exafan (DNA, DNB, DNS), Hotraco (Orion-PP), а також системи AQteck, Siemens і Schneider Electric.

Ситуацію додатково ускладнюють вимоги біологічної безпеки. Батьківське стадо може знаходитись за багато кілометрів від майданчиків із бройлерами або курками-несучками, тому завданням SCADA-системи поєднати дані з усіх майданчиків у єдину систему диспетчеризації. Обмін даними між об'єктами здійснюється через захищені з'єднання.

Окрім мікроклімату, в ту ж систему RS View 32 надходять дані від інших систем птахівничого підприємства: вузлів водозабору, каналізаційно-насосних станцій, комбікормового заводу, де необхідно здійснювати моніторинг параметрів.

Така архітектура дозволяє одному зоотехніку контролювати мікроклімат одразу на декількох майданчиках або відділеннях і допомагає раціонально використовувати кваліфіковані кадри.

Система диспетчеризації параметрів мікроклімату в пташниках побудована на:

- контролері Wiren Board 8 (рис. 6.1);
- модулях для введення-виведення Wiren Board;
- перетворювачах RS-485 WB-MGE v.3 (рис. 6.3) – мульти-протокольних шлюзах, що призначені для віддаленого підключення пристроїв із інтерфейсом RS-485 та WBIO (модулі введення-виведення) через Ethernet та Wi-Fi. Цей шлюз має два незалежних канали RS-485 – TCP, кожен з яких може працювати в одному з режимів: 1) Modbus TCP – для роботи із RS-485 Modbus RTU пристроями; 2) Прозорий – для роботи із будь-якими протоколами послідовної шини RS-485: Modbus RTU, DOOYA, АККО та іншими [31].

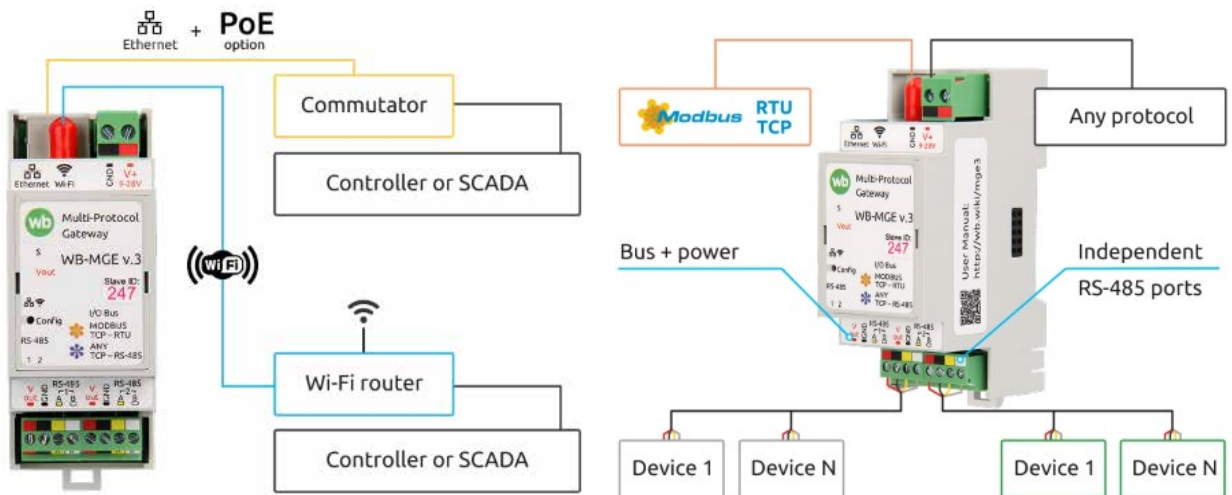


Рис. 6.3. Мульти-протокольний шлюз RS-485 WB-MGE v.3

У системі диспетчеризації передбачається виведення наступних основних параметрів:

- температура (внутрішня, зовнішнього середовища);
- тиск у пташнику;
- концентрація CO₂ у повітрі пташника;
- режими вентиляції;
- положення заслінок;
- стан вентиляторів системи вентиляції;
- подача води і корму;

- добове споживання води і кормів;
- кількість голів птиці у стаді та показники смертності;
- аварії та попередження;
- температура у шафах зберігання вакцин і в інкубаторах інкубаторію.

Інтерфейс побудований на ділянках із відділеннями, із виведенням графіків параметрів та журналом аварій.

Вказаний об'єм телеметрії є відносно невеликим, тому для зберігання даних на контролерах Wiren Board зазвичай вбудованої пам'яті достатньо. На контролерах дані буферізуються та зберігаються навіть при тимчасовій відсутності зв'язку.

Існуючі системи керування не завжди контролюють фактичний стан обладнання. Так, наприклад, система може "вважати", що вентилятор увімкнений, хоча у нього відмовив привідний електродвигун, і проблема стає помітною тільки тоді, коли температура у пташнику вже починає виходити за межі норми. Це призводить до запізнілої реакції на аварію.

Для вчасного виявлення такої ситуації необхідно забезпечити додатковий контроль параметрів роботи обладнання. Наприклад, від електродвигунів приводу вентиляторів отримуються такі електричні параметри, як напруга, струм і коефіцієнт потужності – для цього встановлюються модулі вимірювання енергетичних показників WB-MAP3E [32] або WB-MAP6S [33] (рис. 6.4).

SCADA-система порівнює отримані значення із номінальними характеристиками електродвигунів і формує аварійне сповіщення. Такий контроль дозволяє виявити проблему заздалегідь і запобігти виникненню аварійної ситуації.

Кожен пташник оснащується лічильником витрати води, а кормові бункери – давачами рівня корму, які приєднують до системи диспетчеризації через відповідні імпульсні входи.

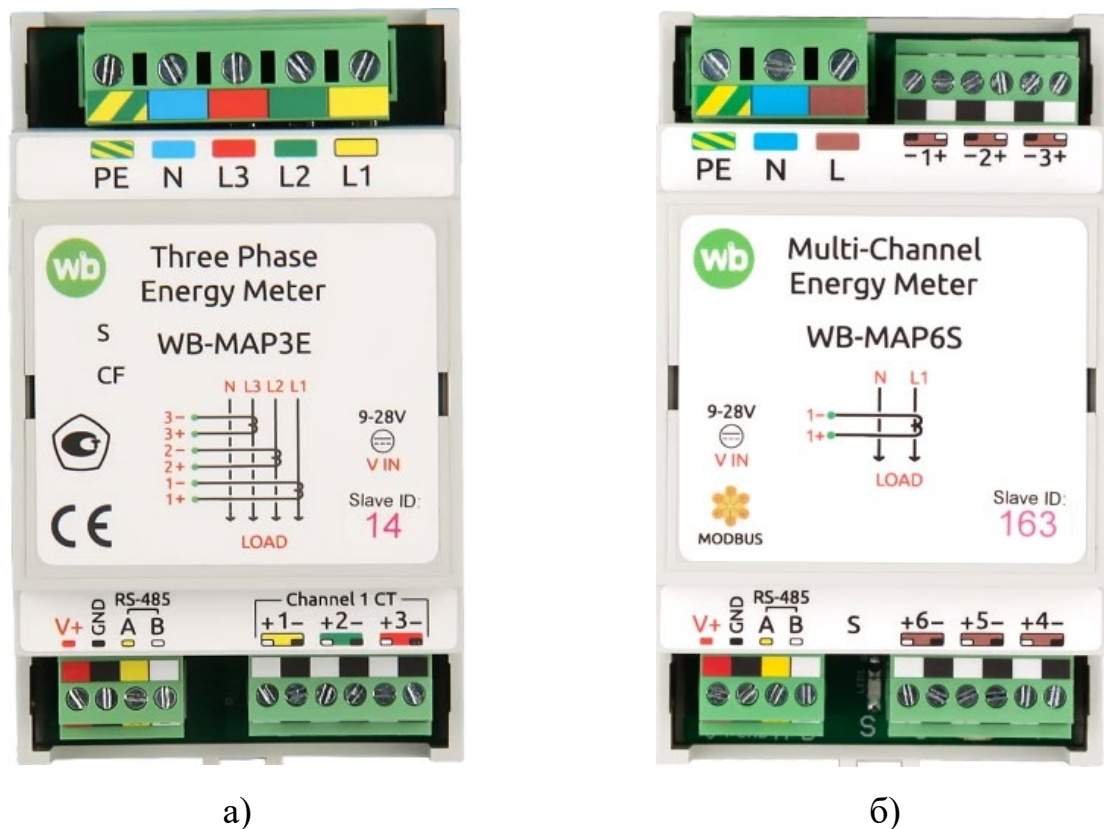


Рис. 6.4. Трифазний лічильник WB-MAP3E із Modbus для технічного обліку для одного трифазного навантаження (а); багатоканальний лічильник WB-MAP6S із RS-485, Modbus RTU для технічного обліку для шести однофазних навантажень (б)

Розглянемо графічне представлення деяких елементів процесу роботи диспетчерської системи контролю та керування параметрами мікроклімату в пташниках, виконане у пакеті RSVIEW32, що забезпечує збір даних, оперативний контроль та керування окремими пристроями і технологічним процесом в цілому.

На рис. 6.5 зображене головне вікно інтерфейсу SCADA-системи із розміщенням датчиків та виконавчих пристроїв. На рис. 6.6 – журнал подій розробленої системи диспетчеризації; на рис. 6.7 – екран із поточними технологічними показниками пташника; на рис. 6.8 – екран ключових показників пташника. На рис. 6.9 наведена мнемосхема пташника із відображенням показників (енергетичних та мікроклімату) у реальному часі.

6.3. Диспетчеризація комбікормового заводу та системи водопостачання

6.3.1. Диспетчеризація комбікормового заводу

Контролер Wiren Board збирає сигнали із давачів та обладнання. Безпосередньо на контролері працює SCADA-система, яка обробляє отримані дані, відображає параметри обладнання і формує події.

Частина вимірних даних після цього передається через вбудований 3G/4G у центральну SCADA підприємства.

6.3.2. Система підготовки води: керування насосами і частотними перетворювачами

Архітектура вузла контролю системи водопідготовки складається з:

- контролера Wiren Board 8 (рис. 6.1);
- модуля дискретного введення WBIO-DI-WD-14 (рис. 6.2, б);
- релейного модуля WB-MR6C v.2 (рис. 6.2, а);
- двох вимірювачів параметрів електроенергії WB-MAP3ET (рис. 6.4);
- двох апаратних ПІД-регуляторів AQtech TPM10 із Modbus RTU.

Свердловинний насос підключений через частотний перетворювач. Зв'язок із частотним перетворювачем здійснюється через Modbus RTU.

Два підвищувальних насоси працюють у каскадному режимі, підтримуючи стабільний тиск у водопроводі. За умови достатності роботи одного насосу, то працює один, а при збільшенні витрати підключається другий насос. Система також забезпечує рівномірний виробіток насосами мотогодин. У випадку відмови одного з них навантаження автоматично перекладається на справний насос.

ПІД-регулятори AQtech TPM10 формують уставку для частотних перетворювачів. До регуляторів підключені давачі тиску, а по Modbus зчитуються значення тиску та обчислена уставка регулятора. Стан насосів контролюється по електричним параметрам за допомогою WB-MAP3ET.

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

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

$$\Pi_i = C_i + E_n \cdot K_i; \quad (7.1)$$

де: Π_i - приведені витрати;

C_i - експлуатаційні витрати;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

K_i - розмір капіталовкладень при i -му варіанті.

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

$$K_n = \frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t}; \quad (7.2)$$

де: t - період приведення, років;

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

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

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

- неточність результатів;
- нединамічність розрахунків;
- використання "штучних" нормативів;
- визначення ефективності витрачання тільки власних коштів тощо.

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

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

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

$$NPV = \sum_{t=0}^{t_k} \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{\text{НП}})^t} - K; \quad (7.3)$$

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

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

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

Розраховують PI за формулою:

$$PI = \frac{1}{K} \sum_{t=t_0}^{t_k} \frac{R_t - Z_t}{(1 + E_{III})^t}; \quad (6.4)$$

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

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

- кількість пташників, що підлягають переобладнанню – 4;
- оборотність обладнання – 5 раз на рік;
- ціна 1 кВт·год. електроенергії для промисловості – 4,50 грн.

Основні показники для розрахунку економічної ефективності запровадження проекту наведено в таблиці 7.1.

При аналізі інвестиційного проекту розраховано наступні показники ефективності:

- термін окупності – розраховано за періодом відшкодування затрачених інвестицій;
- рівень беззбитковості проекту;
- запас міцності проекту;
- чутливість (ризик) проекту, ключовими факторами чого є: зменшення обсягу реалізації продукції; підвищення ціни реалізації продукції; збільшення змінних витрат.

Основні показники ефективності проекту наведені в таблиці 7.2.

Аналіз даних табл. 7.2 показує, що інвестиції, спрямовані на впровадження САК температурним режимом у пташнику, відшкодуються за один рік. Проект володіє достатнім запасом міцності (77,2%). З факторів, які впливають на чутливість (ризик) проекту, найбільш критичним є збільшення змінних витрат на виробництво продукції.

Таблиця 7.1.

Основні показники інвестиційного проекту

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

Таблиця 7.2.

Показники ефективності впровадження САК температурним режимом у пташнику

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

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасного стану автоматизації процесів створення мікроклімату у промисловому пташнику для утримання курей-несучок.

При виконанні роботи отримані наступні результати:

1. Підтримання санітарно-гігієнічних норм повітряного середовища у птахівничих приміщеннях неможливе без вентиляційно-опалювальної системи. Витрати вентиляційного повітря є визначальним чинником як для забезпечення необхідної кратності вентиляції, так і для створення температурного режиму.

2. Розрахунок необхідного повітрообміну у пташнику на 35000 курей-несучок показав, що для забезпечення обґрунтованої зоотехніками кратності вентиляції в літній період необхідно використати 8 вентиляторів марки CN-150-55" (потужність електродвигуна 1,1 кВт) із загальною продуктивністю 44037 м³/год.

3. Встановлено, що перспективним напрямком підвищення ефективності зниження температури системами вентиляції у промислових пташниках є керування вентиляторам за допомогою частотних перетворювачів (інверторів) у поєднанні із улаштуванням у пташниках додаткової системи охолодження повітря за допомогою випарних охолоджуючих панелей.

4. Розроблена функціональна схема автоматизації системи керування температурним режимом у пташнику в літній період.

5. На основі рівнянь теплового балансу за допомогою математичного пакету Mathcad розраховані чисельні значення математичної моделі температурного режиму у пташнику та отримана його передатна функція для каналу "продуктивність системи вентиляції → температура повітря" в літній період.

6. Обґрунтований вибір комплексу сучасних технічних засобів автоматизації фірми AQteck для реалізації САК температурним режимом з використанням датчика температури ТСМУ-2212 та перетворювача частоти ПЧВ3-5К5-В-54, що реалізує ПІД-алгоритм керування.

7. Цифрова САК температурним режимом забезпечує стійку роботу з наступними показниками якості: коливальність $n = 0$; статична похибка: $\delta = 0$ %; час регулювання $t_p = 225$ с; перерегулювання відсутнє.

8. Розроблені електричні схеми системи автоматичного керування вентиляційним комплексом у пташнику в літній період, обґрунтований вибір електротехнічного обладнання, проводів і кабелів.

9. Розроблений операторський інтерфейс SCADA-системи контролю та керування параметрами мікроклімату промислового пташника.

10. Економічними розрахунками обґрунтована доцільність прийнятих технічних рішень, строк окупності розробленої САК вентиляційним комплексом у пташнику в літній період складає близько 1 року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Dagher N. J. Poultry Production in Hot Climates. 2nd ed. Wallingford : CABI, 2008. 387 p.
2. Лук'янов В. Проблема мікроклімату у птахівництві / В. Лук'янов // Птахівництво. №3. 2005. С. 38-46.
3. Сурай П. Сучасні методи боротьби зі стресами у птахівництві: від анти-оксидантів до вітамінів / П. Сурай, В.І. Фісинін // Сільськогосподарська біологія. 2012. С. 3-13.
4. Гудима С. Параметри, що вирішують усе. Наше птахівництво. 2019. № 5. С. 22–25.
5. Agnieszka Ludwiczak, Patryk Sztandarski, Joanna Składanowska-Baryza, Karolina Szulc, Gabriela Cieleń, Aneta Jaszczyk, Magdalena Solka, Grzegorz Pogorzelski, Jarosław O. Horbańczuk, Joanna Marchewka, Ewa Sell-Kubiak (2025) "Role of extensification strategies in chicken meat quality", Poultry Science, Vol. 104, Iss. 11, 105717, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105717>.
6. Patra A.K. (Ed.). Advances in Poultry Nutrition Research. London: IntechOpen, 2021. 254 p. DOI: 10.5772/intechopen.91427.
7. Милостивий Р.В. Тепловий стрес у сільськогосподарської птиці: фізіологічні аспекти та методи корекції: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, 2024. – 45 с.
8. Тепловий стрес у птахівництві: Оптимальні умови для бройлерів – Повний посібник.
URL: <https://kormil.com.ua/teplovyy-stres-u-ptakhivnytstvi-optymalni-umovy-dlia-broyleriv-povnyy-posibnyk/> (дата звернення: 17.04.2026)
9. Kumar M., Ratwan P., Dahiya S. P., Nehra A. K. Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies. Journal of Thermal Biology. 2021. Vol. 102867. DOI: <https://doi.org>.
10. Горобець В.Г. Експериментальне дослідження охолодження припливного повітря у птахівничих приміщеннях / В.Г. Горобець, В.І. Троханяк, Ю.О. Богдан. // Науковий вісник НУБіП України "Техніка та енергетика АПК". – К.: ВЦ НУБіП України, – 2015.–№224. – С. 204–208.
11. Війнен П. Тепловий стрес у птиці: шляхи запобігання. Тваринництво сьогодні. 2020. № 7. С. 14–19.
12. Боротьба з тепловим стресом у птиці. URL: <https://www.trouwnutrition.ua/uk-ua/vydy-ta-sektory/kuri-nesuchki/heat-stress-poultry/> (дата звернення: 20.04.2026)
13. Характеристика поголів'я бройлерів кросу Кобб 500.
URL: <http://cobb.in.ua/brojleriy-kobb-500/> (дата звернення: 16.04.2026)
14. ТУ У 29.3-14311643-051:2007 Обладнання для утримання батьківського поголів'я курей несучок ОКБП-2, ОКБП-3.

15. Курсове і дипломне проектування. Монтаж, обслуговування та ремонт електротехнічних установок в АПК: навчальний посібник / [Кашенко П.С., Біленко О.І., Устименко О.А та ін.]. – Київ: Аграрна освіта, 2008. – 502 с.
16. Бесулін В.І. Птахівництво і технологія виробництва яєць та м'яса птиці: підруч. [для студ. зооінж. ф-тів вищ. аграр. закл. освіти III-IV рівнів акредитації] / [В.І. Бесулін, В.І. Гужва, С.М. Куцак та ін.]. – Біла Церква: Білоцерк. держ. аграр. ун-т, 2003. – 447 с.
17. Heat Stress Management in Poultry : Special Issue / ed. by G. P. Gupta. Basel: MDPI, 2024. 310 p.
18. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
19. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів / В. Лисенко, Є. Чернишенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Заєць, І. Цигульов – К.: АграрMediaГруп, 2016. – 476 с.
20. Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництв.– К.: Видавничий центр НУБіП України, 2008.– 362 с.
21. Основні методи і методики підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра / В.П. Лисенко, А.О. Дудник, В.О. Мірошник, А.А. Руденський, Н.А. Заєць. – Київ: "Компринт". 2023. – 303 с. для студентів зі спеціальності 151 – "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". Навчальний посібник.
22. Горобець В.Г., Троханяк В.І. Енергоефективна система підтримання мікроклімату у птахівничих приміщеннях: [Монографія]. – К.: «ЦП «Компринт», 2017. – 193 с.
23. ПЛК150. Програмований логічний контролер. URL: <https://aqteck.ua/ua/arhiv-produkciji/owen-plk150-programovanyi-logichniy-kontroler>
24. 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.
25. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, В.А. Наливайко, К.В. Наконечна, Т.І. Лендел, Д.Є. Жук. Проектування систем автоматизації для АПК: Підручник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022 – 626 с.
26. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
27. Wiren Board 7.4. URL: <https://wirenboard.com/en/product/wiren-board-7/>
28. RS-485, Modbus RTU Relay module WB-MRPS6/S. URL: <https://wirenboard.com/en/product/WB-MRPS6/>
29. Universal input-output extension module WBIO-DI-WD-14. URL: <https://wirenboard.com/en/product/WBIO-DI-WD-14/>

30. Наше Птахівництво, №5 2025 рік. URL:
https://agrotimes.ua/magazine_number/zhurnal-nashe-ptahivnyctvo-veresen-2025/
31. Multi-protocol gateway WB-MGE v.3 RS-485, Ethernet, Wi-Fi, WBIO interface converter. URL:
<https://wirenboard.com/en/contents/product/wb-mge-v3>
32. Three-phase meter with RS-485, Modbus RTU WB-MAP3E. URL:
<https://wirenboard.com/en/product/WB-MAP3E/>
33. RS-485, Modbus RTU Multi-channel meter WB-MAP6S. URL:
<https://wirenboard.com/en/product/WB-MAP6S/>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1

Методи профілактики теплового стресу у птахівництві

1. Організація клімат контролю у пташнику (розглядається у роботі).
2. Забезпечення водного балансу:
 - постійний доступ до холодної, чистої води;
 - у спекотний період – зниження температури води до 12–18°C (зокрема, нічне охолодження систем);
 - збільшення кількості поїлок на період спеки;
 - додавання у воду для напування збалансованої кількості *бікарбонатів, електролітів, вітаміну С та магнію*, що підтримає кислотно-лужний баланс, належну гідратацію, забезпечує зниження оксидативного стресу та регуляцію рівня кортизолу. Ефективність електролітів та мікроелементів залежить від одночасного контролю температурного навантаження.
3. Правильна організація годівлі:
 - зменшення енергетичної щільності корму у жаркий період;
 - контрольоване збагачення раціону вітамінами А, Е, С, антиоксидантами;
 - згодовування у прохолодний час доби (ранок, вечір);
 - уникання інтенсивного годування у полудень.
4. Біологічні заходи:
 - моніторинг стану птиці: дихання з відкритим дзьобом, розкидання крил, скупчення біля води – ознаки стресу;
 - підбір теплостійких кросів або порід (особливо в регіонах з жарким кліматом).
5. Додаткові заходи:
 - обмеження у спекотну погоду стресових маніпуляцій (пересадка, щеплення);
 - зменшення щільності посадки птиці влітку;
 - забезпечення додаткового нічного охолодження пташника.

ДОДАТОК А2

Порівняння різних систем охолодження повітря у пташниках

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

ДОДАТОК АЗ

Приклад розрахунку конструктивних параметрів випарної системи охолодження повітря

Часто зустрічається помилка – недостатня площа змонтованих гофро-касет, в результаті може знизитись робоча продуктивність вентиляторів і збільшиться швидкість проходження повітряного потоку. Це істотно знизить ефект охолодження, оскільки чим нижча швидкість повітря, тим якісніше його остигання. Важливо досягти бажаного ефекту при мінімальній площі випаровування та статистичному тиску не вище 25 Па.

Ось формула за якою можна розрахувати необхідну площу гофро-касет для установки:

$$\text{Площа випарення (м}^2\text{)} = \frac{\text{Продуктивність вентиляторів (м}^3\text{/год)}}{\text{Рекомендована швидкість повітря, що проходить через панелі (м/с)}}$$

1. Розраховується розмір приміщення, сюди входить: довжина 120 м, ширина 12 м, середня висота 4 м: результат – 5760 м³.
2. Далі вимірюється поперечний переріз приміщення: ширина 12 м, висота 4 м, воно становитиме 48 м².
3. Визначається показник загальної продуктивності вентилятора, для цього поперечний переріз множимо на швидкість повітря, необхідну для роботи панелей: 48 м² x 2,5 м/сек. і отримаємо результат – 120 м³.
4. Обчислюється необхідна площа панелей, згідно з формулою

$$120 \text{ м}^3 \div 2 \text{ м/сек.} = 60 \text{ м}^2.$$
5. Стандартна висота гофро-касети – 1,5 м, загальна площа ділиться на висоту: 60 м² ÷ 1,5 м, маємо 40 метрів – довжина панелей із висотою 1,5 метрів.

Охолодження випарного типу має функціонувати постійно та стабільно. Використання даного методу лише у разі розвитку теплового стресу неприпустимо. Різкі перепади температури призводять до негативного впливу на поголів'я птиці.

ДОДАТОК Б1

**Кількість теплоти, вуглекислоти та водяної пари, що виділяється птицею
(за НТП-СХ.4-69)**

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

Примітка.

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

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

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

ДОДАТОК Б2

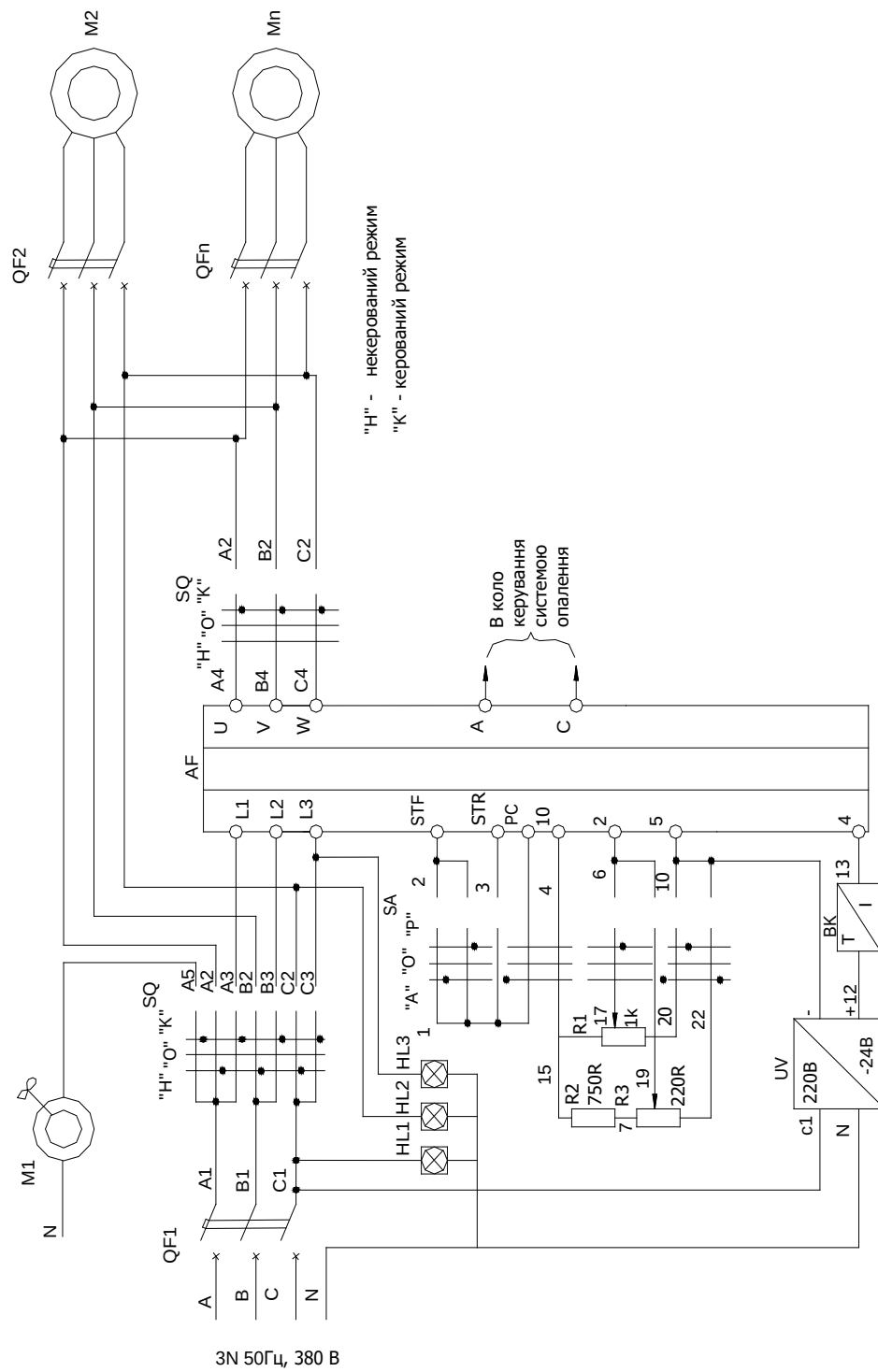
**Поправочні коефіцієнти для визначення виділень теплоти та вологи
птицею при різних температурах повітря у пташнику**

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

ДОДАТОК БЗ

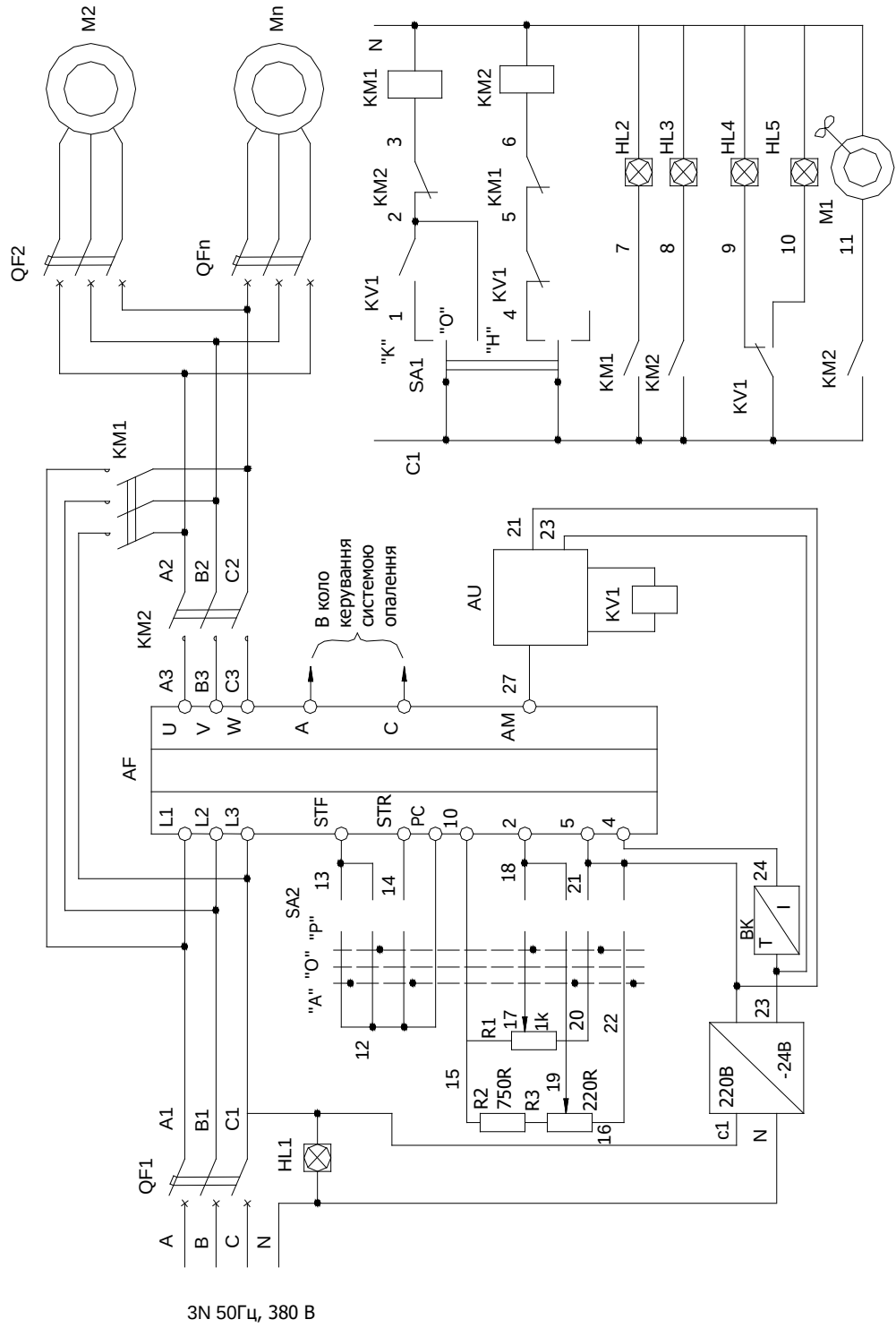
Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики
пташника для каналу керування

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



ДОДАТОК В1

Схема електрична принципу системи керування вентиляційною установкою з перемикачем в блоці перемикачів



ДОДАТОК В2
Схема електрична принципова системи керування вентиляційною установкою з контакторами в блоці перемикання

ДОДАТОК Г1

Дезінфекційний бар'єр майданчика із пташниками на птахофабриці із відкритою в'їзною та виїзною брамами

