

**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 РОЗПИЛЕННЯМ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ У
ПРОМИСЛОВОМУ ПТАШНИКУ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

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

(підпис)

Дудник А.О.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Коченков Є.Г.
(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)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Коченкову Євгенію Геннадійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **"Розроблення системи автоматичного керування розпиленням лікарських препаратів у промисловому пташнику"**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2515"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "01" червня 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. Технологія групового використання лікарських засобів у птахівництві.

4.2. Теоретичні дослідження процесу розпилювання лікарських препаратів у пташнику для вирощування бройлерів.

4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.

4.4. Визначення показників якості роботи САК.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування процесом розпилювання лікарських препаратів у промисловому пташнику.

5.2. Система автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику. Схема електрична принципова (частина 1).

5.3. Система автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику. Схема електрична принципова (частина 2).

5.4. Система автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику. Схема електрична з'єднань.

5.5. Система автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику. Схема електрична підключень.

5.6. Система автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику. Зовнішній вигляд щита керування

Дата видачі завдання "25" жовтня 2025 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Коченков Є.Г.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. Технологія групового використання лікарських засобів у птахівництві	7
1.1. Фактори розмноження мікроорганізмів у промислових пташниках	7
1.2. Антимікробні препарати та інгаляційні аерозолі	9
1.3. Поняття про аерозолі, методи та технологічне обладнання для їх отримання	13
1.3.1. Поняття про аерозолі	13
1.3.2. Основні способи отримання аерозолів	15
1.3.3. Технічні характеристики деяких аерозольних генераторів	19
1.4. Передумови створення системи керування процесом розпилювання електроаерозолі. Мета і задачі кваліфікаційної бакалаврської роботи	23
РОЗДІЛ 2. Теоретичні дослідження процесу розпилювання лікарських препаратів у пташнику для вирощування бройлерів	26
2.1. Визначення динаміки електроаерозольного розпилення лікарських препаратів	26
2.2. Дослідження пташника-бройлерника як об'єкта керування процесом розпилення лікарських препаратів у вигляді аерозолі	35
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	43
3.1. Вибір алгоритму керування	43
3.2. Функціональна схема автоматизації системи керування розпилюванням електроаерозолів лікарських засобів у промисловому пташнику	44
3.3. Технічна реалізація САК розпилюванням електроаерозолів лікарських засобів у промисловому пташнику	47
3.3.1. Датчик об'ємного заряду повітря як сприймаючий елемент САК	47
3.3.2. Електрозарядний розпилювач як виконавчий механізм САК	52
3.3.3. Вибір програмованого логічного контролера системи керування	55
3.3.4. Вибір частотного перетворювача	58
РОЗДІЛ 4. Визначення показників якості роботи САК	61
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	64
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику	64
5.2. Вибір апаратури захисту та керування	65
5.3. Вибір проводів та кабелів	69
5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування	70
5.5. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу	71
РОЗДІЛ 6. Техніко-економічне обґрунтування	74
Висновки	78
Література	80
Додатки	83

ВСТУП

Актуальність теми. У справі збереження та підвищення зростання продуктивності птахівництва і тваринництва великого значення набуває оснащення практикуючих ветеринарних працівників ефективними методами профілактики і боротьби з інфекційними захворюваннями тварин.

Сучасному птахівництву суттєву економічну шкоду наносять бактеріальні та вірусні інфекції (пуллороз-тиф, колібактеріоз, респіраторний мікоплазмоз, пастереліоз, інфекційний ларинготрахеїт та ін.), виникненню яких багато в чому сприяють підвищена концентрація птиці на обмеженій площі та порушення ветеринарно-зоогігієнічних правил годівлі та утримання.

У боротьбі з інфекційними хворобами птиці, окрім проведення загальних ветеринарно-санітарних заходів, важливу роль відіграє лікарняна терапія, у першу чергу використання різноманітних антимікробних засобів, які дозволяють знизити відхід птиці та підвищувати їх продуктивність.

В останні десятиліття для дезінфекції приміщень птахофабрик та групової лікувальної терапії широко використовуються аерозолі різноманітних медичних препаратів. Так, використання дезінфекційних аерозолів у порівнянні із способом вологої дезінфекції призводить до скорочення витрат однотипних засобів у 2-3 рази, підвищує продуктивність праці операторів-дезінфекторів, а саме головне, підвищує ефективність дезінфекційних обробок, оскільки аерозолі забезпечують знезараження самих важкодоступних місць в приміщенні [28].

Однією з дуже важливих особливостей інгаляційної хіміотерапії є те, що препарат, всмоктуючись протягом майже усього дихального тракту, потрапляє у мале коло кровообігу, оминаючи печінку. Бар'єрна функція печінки, як відомо, покликана нейтралізувати будь-яку сторонню речовину. Отже, препарат у більш високих концентраціях розноситься по усьому

організму, чим і забезпечується високий лікувальний ефект і знижується ризик або темпи зростання адаптації мікроорганізмів до хіміопрепарату.

Ще однією важливою особливістю застосування лікувальних аерозолів у птахівництві є можливість їх використання у вивідних інкубаторах. Справа у тому, що під час виведення курчат достатньо всього декілька заражених ембріонів, з яких під час виведення у повітря вивідної шафи викидається надвелика кількість збудників, які, швидко розмножуючись, у лічені години інфікують практично усіх здорових курчат. Призначення у цей час антисептиків або дезінфектантів є не ефективним і небезпечним внаслідок високої токсичності останніх, тобто лікувальні аерозолі є єдиним ефективним засобом збереження поголів'я курчат.

У зв'язку з названими обставинами сформувалися проблемні напрямки досліджень: дезінфекційні аерозолі, терапевтичні та вакцинні аерозолі, аерозолі для дезінсекції, дезакаризації, дератизації. Налагоджується виробництво хімічних препаратів у вигляді аерозольних упаковок (балонів). Створюються і успішно працюють наукові школи дослідників в області аерозолів, що використовуються у ветеринарії. Поряд із розробкою препаратів для використання у формі аерозолів проводиться розробка та випробування аерозольної апаратури.

Враховуючи, що концепція сучасних промислових пташників передбачає мінімізацію ручної праці і присутності операторів у виробничому приміщенні, виникає необхідність створення ефективних систем автоматичного керування стаціонарною аерозольною апаратурою у складі загальної системи керування технологічними процесами у пташнику, що є можливим при використанні комп'ютерно-інтегрованих технологій.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЯ ГРУПОВОГО ВИКОРИСТАННЯ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ У ПТАХІВНИЦТВІ

1.1. Фактори розмноження мікроорганізмів у промислових пташниках

Сучасні технології тваринництва, зокрема птахівництва, стикаються із практично геометричним зростанням чисельності мікроорганізмів протягом виробничого циклу. Постійний, неконтрольований вплив мікробно-вірусно-грибкових мікроорганізмів призводить до перевантаження неспецифічних і специфічних факторів захисту імунної системи, підвищенню патогенності мікрофлори, і в кінцевому результаті до невиробничих втрат і зниження продуктивності.

Положення ускладнюється при проникненні у стадо збудників інфекційних хвороб. При цьому поголів'я може бути інфікованим у лічені години, як повітряно-крапельним, так і через інфіковані поверхні, напувалки, комбікорм. Тому в умовах постійної інтенсифікації отримання продукції птахівництва важко переоцінити значення дезінфекції.

Для санітарного забезпечення у промисловому птахівництві принципу "пусто-зайнято" при завершенні циклу виконують:

- повне механічне очищення поверхонь від посліду;
- миття приміщень, обладнання, напувалок, годівниць кислотними або лужними пінними миючими засобами для видалення плівок білку, жиру, мінеральних речовин;
- дезінфекцію відмитих поверхонь.

Практика контролю якості дезінфекції птахівничих приміщень показує, що достатньо часто вона буває незадовільною. Але навіть при задовільній якості певна кількість бактерій, вірусів, грибків будуть присутніми на

поверхнях, особливо у важко доступних місцях. Крім того, дія розчинів дезінфектантів триває лише 24...26 годин. Це означає, що вони ніяк не вплинуть на мікрофлору, яка приноситься при завантаженні приміщень добовими курчатами або ремонтним молодняком. Тільки 1 грам пуху може містити до 190000 спор збудника аспіргельозу, який може викликати загибель до 30% курчат [28]. Бетонна підлога пташників помилково вважається щільною субстанцією. Поперекові зрізи бетону показують, що він є пористим із щілинами та тріщинами інколи до 30 см. Дослідження [5] показали, що у бетоні пташників, які тривало експлуатуються, були знайдені патогенні культури *Past. multocida*, *Pr. mirabilis*, *Pr. vulgaris*, *Staph. aureus*, *E. coli*, *Salm. cholera suis*, *Ps. aeruginosae* на глибині до 20 см.

Навіть постійна обробка бетону вогнем для винищення еймерій (кокцидій) не приносить бажаного результату внаслідок появи нових тріщин, де утворюються резервуари не тільки еймерій, але і вірусів, бактерій, грибків, які поступово повертаються у підстилку, а потім і у повітряний простір.

При експлуатації птахівничих приміщень з'являються три найважливіших фактори для розмноження мікроорганізмів: *вологість*, *аміак* і *температура*. Вологість постійно збільшується: якщо при посадці курчат вона, зазвичай, не перевищує 65%, то внаслідок виділення вологи при диханні птиці (10% обмінної енергії виділяється через дихальну систему птиці), протікання води з напувалок, 70...75% вологи, що виділяється послідом, вона досягає граничних значень. Уже на сьому добу вологість часто досягає 80%, при чому навіть нормально працююча вентиляція не завжди знижує її до оптимального рівня.

Другим фактором розмноження мікроорганізмів є наявність пташиного посліду. Він містить 0,8...1,2% азоту, 34,5...48,3% сухих речовин, 14...40% золи (у т.ч. кальцію до 8,5%, фосфору – 2...3%), 2,9...4,5% сирого жиру, 14,3% сирої клітковини, 46...48% екстрактивних речовин без вмісту азоту, тобто усіх необхідних поживних речовин для росту мікроорганізмів [19]. Аеробна ферментація посліду протікає у присутності розчиненого кисню.

Окислення органічних речовин посліду – первинна реакція утворення корисної хімічної енергії для аеробних мікроорганізмів. В аеробній ферментації посліду приймає участь цілий комплекс мікроорганізмів. Вуглець є джерелом енергії, азот – матеріалом для побудови клітин.

Третім фактором розмноження мікроорганізмів є температура. Її ріст у пташниках пов'язаний із мікробіологічними процесами розкладання посліду. Цьому сприяє той факт, що пташиний послід містить набагато більше аміаку, ніж гній інших видів тварин, і його значна кількість (за цикл вирощування 1000 бройлерів утворюється 5 тон посліду з підстилкою).

1.2. Антимікробні препарати та інгаляційні аерозолі

Антимікробні препарати, до складу яких належать антибіотики, сульфаніламід, нітрофуран та їх різноманітні поєднання, найбільш широко використовують у птахівництві при багатьох бактеріальних, вірусних, грибкових і паразитарних захворюваннях птиці. Використання антимікробних засобів для терапії та профілактики перерахованих інфекцій і інвазій є оправданим, оскільки при цьому знижується відхід птиці і значно підвищується продуктивність у порівнянні з птицею, яка не лікувалася. В той же час, ефективність хіміопрепаратів залежить від багатьох факторів: вибору препарату, правильного дозування, способу, часу і кратності використання, взаємодії між собою та іншими лікарняними засобами, виду і віку птиці, їх фізіологічного і патологічного стану та ін.

При лікуванні хворої птиці слід приймати до уваги фізіологічні особливості організму, оскільки вони відрізняються більш високою інтенсивністю росту і розвитку у порівнянні з тваринами інших видів. Так, маса тіла протягом перших двох місяців життя збільшується в середньому у качок в 42 рази, у гусей – в 27,7, у курей – в 20,8, у свиней – в 10,8, а у

молодняку ВРХ – лише в 1,8 рази [12]. Від інтенсивності росту і розвитку залежать всмоктування, розподіл і виведення лікарських препаратів із організму. Зрозуміло, що ці процеси у птиці протікають значно швидше. З одного боку це позитивний фактор, оскільки препарат швидше починає проявляти свою антимікробну дію, а з іншої – негативний: препарат діє короткочасно внаслідок швидкого виведення з організму.

Загальновідома більш висока стійкість птиці до дії нервово-м'язових та інших отрут, що пояснюється детоксикаційними процесами, що протікають у печінці, маса якої у птиці по відношенню до маси тіла значно більша, ніж у інших тварин. А це може знижувати антимікробний ефект препаратів.

У птахівництві використовують *оральний* (видавання препаратів із кормом і водою) та *інгаляційний* методи введення препаратів [5]. Внутрішньом'язові та підшкірні ін'єкції лікарських засобів багатотисячному поголів'ю здійснити практично неможливо; вони виконуються в рідких випадках у племінних птахівничих господарствах при лікуванні цінної племінної птиці.

Пероральний (оральний) спосіб використання лікарських засобів є найбільш давнім, але не втратив своєї актуальності до сьогодні. Введення лікарських засобів через шлунково-кишковий тракт використовується при більшості інфекційних хвороб птиці і особливо бактеріальної етіології. У ветеринарній практиці майже кожний антимікробний препарат, за виключенням небагатьох, може бути використаний перорально, і багато з цих засобів використовується для лікування і профілактики хвороб птиці саме цим способом. Тому пероральний спосіб введення антимікробних препаратів у птахівництві є основним і найбільш простим. Препарати змішують із кормом або водою і дають птиці, при чому перевагу способу подачі надають за таким принципом: препарати, які добре розчиняються у воді, додають у воду системи напування, погано розчинні препарати змішують із кормом.

Дозування препаратів при пероральному способі залежить від віку птиці, і, відповідно, від добових норм споживання кормів і води.

Основним і значущим недоліком даного способу вважається те, що хвора птиця часто погано споживає корми та неохоче п'є воду, куди додані лікарські препарати. З цією обставиною пов'язана складність дозування, оскільки не зрозуміло, скільки корму і води буде споживати птиця, і, відповідно, яка кількість препарату потрапить в організм.

Використання антимікробних, антивірусних, протигрибкових препаратів і речовин, що підвищують їх активність, у формі аерозолів (інгаляційний метод введення препаратів) при респіраторних захворюваннях птиці є значно ефективнішим за інші методи [1].

Звичайні методи введення лікарських засобів (ентеральний і парентеральний) не завжди спричиняють достатньо ефективний вплив при ураженні дихальних шляхів, оскільки препарати "доходять" до слизової оболонки дихальних шляхів і ділянок ураження у недостатній кількості. Перевага же аерозолів полягає у швидкому проникненні і накопиченні препаратів у терапевтичних концентраціях в організмі і, що особливо важливо, у місцях первинної локалізації збудників. При інгаляційному введенні лікарських засобів на поверхні слизової оболонки утворюються високі концентрації цих препаратів, достатні для ліквідації інфекційного процесу.

Крім того, кращий терапевтичний ефект від використання аерозолів антибіологічних засобів, ніж при інших методах введення, досягається завдяки тому, що хімічна активність диспергированої речовини підвищується за рахунок структури дисперсної системи, яка обумовлює щільну взаємодію двох різних фаз протягом надвеликої поверхні, яка утворюється за рахунок броуновського руху частинок аерозолу розміром до 2 мкм і суми поверхонь аерозольних частинок.

Речовини, введені у легені та верхні дихальні шляхи, впливають не тільки місцево, але й на весь організм, оскільки всмоктувальна здатність легенів дуже велика. Лікарські препарати всмоктуються майже миттєво у кров і розносяться по всьому організму. Швидкість резорбції інгальованих речовин з легенів обумовлюються тим, що альвеолярна тканина має надвелику

поверхню і є легко проникною, особливо для речовин, які знаходяться у високодисперсному, газоподібному та пароподібному станах. Сприяє всмоктуванню ліків у альвеолах і мала швидкість руху повітря по ним. Розчинність багатьох лікарських речовин в альвеолах підвищується за рахунок кислотності повітря в них, у якому висока концентрація CO_2 , вологості (яка доходить до насичення) і високої температури відносно навколишнього середовища.

Особливо ефективним є використання лікарських інгаляцій під час виведення молодняку птиці у вивідних інкубаторах, коли інші методи введення препаратів є неприйнятними. На відміну від інших способів введення лікарських препаратів аерозольний метод забезпечує масовість та одномоментність обробок і значно підвищує продуктивність праці ветеринарних спеціалістів. У таблиці 1.1 наведені дані досліджень ефективності використання аерозольного і перорального використання лікарських препаратів для обробки курчат після виведення та у цехах вирощування починаючи з 6-ти денного віку один раз на 7-10 діб [19]. Ці дані наочно демонструють перевагу інгаляційного способу використання антимікробних препаратів при респіраторних захворюваннях птиці у порівнянні з пероральним (дача із кормом). У першому випадку різко зменшився загальний відхід птиці і особливо від колібактеріозу та респіраторного мікоплазмозу.

Таблиця 1.1.

Порівняльна ефективність аерозольного і перорального способів використання антимікробних засобів при респіраторних захворюваннях птиці

Препарати	Загальна кількість курчат	Загинуло курчат				
		всього	від колісептицемії		від респіраторного мікроплазмозу	
			число	%	число	%
Аерозольне використання						
Окситетра- циклін	47560	2806	25	0,9	20	0,7
Фуразолідон	41840	2552	28	1,1	18	0,7
Левоміцетин	50350	2920	38	1,3	26	0,9
Стрептоміцин	34710	2152	39	1,8	49	2,3
Тилозин	40860	2163	16	0,7	5	0,2
Фармазин	47610	2375	19	0,8	7	0,3
Пероральне використання						
Окситетра- циклін	42100	4741	383	8,0	426	9,2
Фуразолідон	49900	4205	311	7,4	354	8,4
Левоміцетин	47560	4370	388	7,8	282	6,4
Стрептоміцин	56800	5623	596	10,6	702	12,5
Контроль	51400	6305	1146	18,2	987	15,6

1.3. Поняття про аерозолі, методи та технологічне обладнання для їх отримання

1.3.1. Поняття про аерозолі

Аерозолями називають аеродисперсні системи, в яких крапельки рідини або тверді частинки є зваженими у газоподібному середовищі. Аерозолі, які отримані шляхом подрібнення твердих або рідких тіл із наступним переведенням частинок повітряним потоком у зважений стан, називають *дисперсійними*, а отримані при з'єднанні окремих молекул в результаті хімічних реакцій і об'ємної конденсації перенасиченої пари, що знаходиться у повітрі – *конденсаційними*.

Класифікувати аеродисперсні системи дещо важко внаслідок наявності великої кількості показників, але для усіх аерозолів, які використовуються у сільськогосподарському виробництві характерні два показники: *природа зважених частинок* (спосіб отримання) та їх розмір (*дисперсність*).

У 1865 р. дослідник А. Гіршгорн прийшов до висновку, що глибина проходження інгальованих речовин у дихальні шляхи залежить від розміру частинок, і у подальшому цей висновок був підтверджений експериментально. Встановлено, що глибина проникнення аерозолів у легені збільшується із зменшенням розміру частинок, однак відсоток затримки речовин у легенях зростає пропорційно розміру частинок. Так, затримка аерозолів у дихальному тракті складає: для частинок діаметром 5 мкм – 96%, для частинок 0,5 мкм – 42% і для частинок 0,2 мкм – 21% [19].

Теоретичними та експериментальними дослідженнями показано, що при використанні аерозолів із діаметром частинок від 1 до 10 мкм останні осаджуються на поверхні усього дихального тракту. В тому випадку, коли аерозоль складається з більш крупних частинок, переважна більшість препарату затримується у верхніх дихальних шляхах. Такі аерозолі є відносно стійкими і у зовнішньому середовищі, оскільки вони повільно осідають (частинка величиною 1 мкм за 1с проходить по вертикалі 0,0035 см, розміром 10 мкм – 3 см, а частинка розміром 100 мкм – 30 см), що важливо при встановленні експозиції перебування птиці у аерозольній хмарі.

Отже, величина частинок аерозолі є одним із факторів, який визначає потрапляння препарату в органи дихання. Крім того, кількість речовини, що осаджена в органах дихання і всмокталася у кров, залежить від тривалості знаходження тварини в аерозольній хмарі (експозиція) та від вмісту лікарського препарату в 1 л аерозолі (щільність аерозолі), який, в свою чергу, залежить від вихідної концентрації речовини, взятої для розпилювання.

Дослідження ряду авторів показують, що організм тварин є чутливим до такого показника, як знак *заряду* частинок аеродисперсних систем. Так, автори [12] численними експериментами показали, що від'ємні уніполярні

аеродисперсні системи активізують зростання і розвиток тварин, стимулюють газообмін та окислювальні процеси в організмі; електроаерозолі із додатнім зарядом спричиняють протилежну дію.

Використання електроаерозолів допускається у тих випадках, коли електричний заряд аерозолу, а також сам процес електризації не впливає на терапевтичну активність лікарняного засобу. Так, автор [13] досліджував використання електроаерозолів для інгаляцій антибіотиків у пташниках для вирощування бройлерів і прийшов до висновку, що для лікування і профілактики бройлерів від захворювань необхідно рекомендувати від'ємні уніполярні електроаерозолі лікарських препаратів, оскільки це сприяє:

- вирівнюванню концентрації лікарських засобів у приміщенні;
- економії лікарських препаратів, підвищенню збереженості поголів'я і приросту ваги птиці;
- покращенню якості інгаляцій.

1.3.2. Основні способи отримання аерозолів

Класифікація обладнання для отримання аерозолів за способом розпилювання рідини наведена в [19]. У відповідність з цією класифікацією коротко розглянемо основні способи.

Ротаційний (відцентровий) спосіб розпилювання. При ротаційному способі розпилювання рідина з дозуючого пристрою неперервним струменем подається в центр диску, що обертається з високою швидкістю (рис. 1.1). Під дією відцентрових сил вона розтікається по поверхні, що обертається, у вигляді тонкої плівки, відривається від неї, розпадаючись при цьому на дрібні краплинки приблизно однакового розміру. Для монодисперсного розпилення повинні виконуватись наступні умови: рідина повинна змочувати поверхню, що обертається, подаватися на її центр неперервним струменем; об'ємна витрата рідини не повинна перевищувати 10^{-6} м³/с, інакше утвориться

полідисперсний аерозоль. При ротаційному розпиленні дисперсність значною мірою залежить від швидкості обертання диску, і менше залежить від об'ємної витрати препарату та його фізичних властивостей.



Рис. 1.1. Ротаційний (відцентровий дисковий) генератор аерозолію

Перевагами ротаційного способу розпилення розчину є: можливість отримання монодисперсних аерозолів будь-яких, навіть дуже в'язких рідин; дисперсність аерозолів регулюється легко і плавно; енерговитрати на розпилення є незначними, що допускає використання приводу малої потужності; значні параметри факелу розпилювання з відносно рівномірним розподілом по перерізу, що сприяє утворенню однорідної концентрації аерозолів у приміщенні. До недоліків цього способу слід віднести порівняно низьку продуктивність у монодисперсному режимі розпилення.

Пневматичний спосіб розпилення. При пневматичному розпиленні (рис. 1.2, а) рідина, витікаючи з форсунок, подрібнюється струменем стисненого повітря. В залежності від витрати і тиску, що створюється повітрям, розрізняють пневматичні розпилювачі високого і низького тиску. Таке розпилення утворює полідисперсний аерозоль із розміром частинок від одиниць до сотень мікрон. Крім того, енерговитрати на отримання аерозолів таким способом є вищими за попередній спосіб (50...60 Вт на 1 кг розчину) [22]. Розпил по перерізу факелу є неоднорідним, що пояснюється

нерівномірним розподілом енергії стисненого повітря по перерізу струменя рідини.

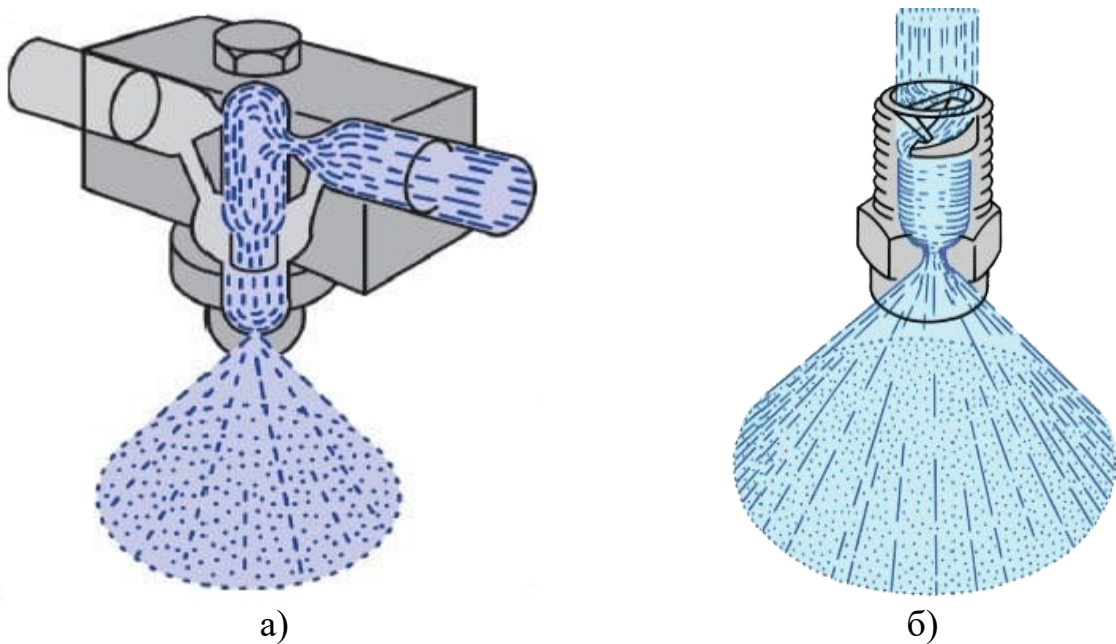


Рис. 1.2. Форсунки пневматичного (а) та гідравлічного (б) генераторів аерозолю

До переваг цього способу слід віднести його надійність, а також можливість розпилення розчинів практично будь-якої в'язкості при великих об'ємних витратах.

Гідравлічний спосіб розпилення. Гідравлічне розпилення (рис. 1.2, б) ще називають розпиленням під тиском. Витікаючи з сопла форсунки під великим тиском, рідина розпадається на мілкі краплинки. Дисперсний склад розпилу буде значною мірою залежати від конструкції форсунки, швидкості протікання розчину, фізичних властивостей рідини та середовища [22].

До переваг гідравлічного способу розпилення слід віднести його простоту, безшумність роботи, а також порівняно невеликі витрати енергії на подрібнення. До недоліків – полідисперсність аерозолю, неможливість регулювання продуктивності у процесі роботи, малий розмір вихідного сопла, що часто призводить до його засмічування.

Акустичний (ультразвуковий) спосіб розпилення. При такому способі подрібнення розчини перетворюються в аеродисперсний стан за рахунок сфокусованих звукових коливань [24]. Розміри частинок аерозолю, які

отримуються при цьому, можуть складати 1...6 мкм при дуже високій їх щільності та однорідності за розмірами. Дисперсність генерованих у такий спосіб аерозолів регулюється частотою коливань.

Однак цей спосіб має суттєві обмеження у використанні для розпилення ветеринарних препаратів. Інтенсивність коливань ультразвуку (звуковий тиск досягає 10...400 атм) [24] може призвести до розпаду лікарського препарату або викликати в ньому хімічні перетворення. Розпилення розчинів відбувається тільки при утворенні кавітації, що може викликати подрібнення еритроцитів у крові. При акустичному способі подрібнення температура суттєво впливає на якість розпилювання та на протікання хімічної реакції в рідині. Тобто, використовувати цей спосіб можна тільки після ґрунтовних медичних і хімічних досліджень для кожного конкретного препарату. Крім вказаних недоліків, при невеликій продуктивності вартість таких установок залишається високою.

Термомеханічний спосіб, коли аеродисперсні системи отримують шляхом випаровування рідин під дією високих температур, також має обмеження, обумовлені стійкістю та збереженню лікувальних властивостей медичних препаратів під впливом підвищених температур.

Електростатичний спосіб подрібнення. Сутність способу полягає у тому, що тонкий струмінь, який витікає з електропровідного капіляру, розміщують у сильне постійне електричне поле (досягається за рахунок подачі на капіляр потенціалу в 50...150 кВ). Якщо при цьому сили електростатичного поля, що намагаються розтягнути струмінь, переважають сили поверхневого натягіння, відбувається високодисперсне розпилення.

До переваг електростатичного розпилення відносять високу дисперсність отриманого аерозолію та однорідність генерованих частинок. До недоліків – дуже малу продуктивність, а також необхідність використання високих напруг.

1.3.3. Технічні характеристики деяких аерозольних генераторів

Для групової лікувальної терапії та дезінфекції у птахівництві використовуються різноманітні пересувні та стаціонарні генератори аерозолів.

У країнах, що входили до складу СНГ, зокрема і в Україні, широкого поширення знайшов комплекс різних типів високопродуктивних генераторів аерозолів, які відрізняються універсальністю, що дозволяє створювати одним і тим самим пристроєм тонкодисперсні об'ємні та крупнодисперсні направлені аерозолі, а також можливістю регулювання дисперсності і спрямованості факелу аерозолі, порівняно високою продуктивністю по препаратам, що розпилюються [2]. Комплекс включає такий комплекс апаратури: стаціонарні (САГ-1, САГ-1М, САГ-2М, САГ-3М, САГ-6У), пересувні (САГ-4М, САГ-10М) малогабаритні ручні переносні із направленим факелом аерозолі (САГ-РН, САГ-5), при створенні яких використані сучасні технології із використанням стійких до корозії матеріалів (поліетилен, капрон, поліпропілен, фторопласт-Ф-4) [30].

Основні характеристики зазначених генераторів аерозолів наведені у таблиці 1.2, а їх загальний вигляд зображений на рис. 1.3.

Як видно з таблиці 1.2, генератори розрізняються за дисперсним складом аерозолів, які вони виробляють, і спрямованістю факелу аерозолі. Так, в аерозолі, що генерується генератором САГ-5, кількість частинок розміром від 1 до 5 мкм складає 80%, розміром від 6 до 10 мкм – 20% [3].



САГ-1М



САГ-2М



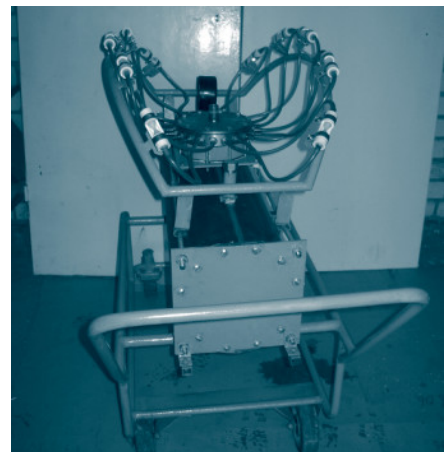
САГ-3М



САГ-4М



САГ-5



САГ-10МА

Рис. 1.3. Аерозольні генератори серії САГ різних модифікацій

Робочий тиск повітря, що подається, складає $3...4 \text{ кг/см}^2$, а продуктивність по розпилюваній рідині складає $60 \text{ см}^3/\text{хв}$. Пересувна аерозольна установка (струменевий аерозольний генератор) САГ-10М призначений для утворення аерозолів вакцинних та дезінфікуючих препаратів при профілактиці та ліквідації небезпечних інфекційних захворювань птиці та інших тварин, які утримуються у приміщеннях об'ємом від 3000 м^3 і більше.

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики генераторів аерозолів

Найменування параметра	Модифікація генератора аерозолі								
	САГ-1	САГ-10	САГ-1М	САГ-2М	САГ-3М	САГ-4М	САГ-5	САГ-10МА	САГ-6У
Продуктивність, л/хв. г/хв.	0,06	0,06	0,08 400	0,15-0,3	0,24	0,15-0,3	0,25	3,00	0,7 3,5
Регулювання продуктивності, л/хв.	-	-	-	0,02 0,30	0,02 0,30	0,02 0,30	-	0,02 0,30	0,7 3,5
Розмір частинок аерозолі, мкм	1-20	1-20	1-20	1-20	1-20	1-20	1-15	1-30	1-50
Масовий медіанний розмір частинок, мкм	5	5	6	5	5	5	5	8	5-50
Ємність резервуару, л	1,10	30	1,10	1,25	1,25	1,25	0,20	32	1-10
Витрата повітря на 1 л розпилюваної рідини, м³	2,0	2,0 3,0	2,0	1,50	1,50	1,50	1,30	2,0-3,0	2,0
Технологічна продуктивність, м³/год.	360	3600	360	1440	1440	1440	800	18000	
Тиск стиснутого повітря, кг/см²	3-4	3,5-4,0	3-4	2,50 4,00	2,50 4,00	2,50 4,00	1,50 4,00	3,5-4,0	2,5-6,0
Можливість гідравлічного розпилення	-	-	-	+	-	+	-	-	-
Довжина факелу, м	1,00 1,50	2,10	1,0	1,25 2,50	1,50 2,50	1,50 2,50	0,15	1,50-2,50	до 4,0
Матеріал для виготовлення	дюраль	дюраль, нерж. сталь	дюраль	поліпропілен	поліпропілен	поліпропілен	нерж. сталь	поліпропілен, капролон	вініпласт
Корозійна стійкість	не ст.	не ст.	не ст.	ст.	ст.	ст.	ст.	ст.	ст.
Маса, кг	3,5	35,0	3,0	1,05	1,10	1,05	1,00	30,00	10,0

Аерозольний генератор САГ-3М призначений для створення аерозолів дезінфікуючих та лікарських препаратів в інкубаційних та вивідних шафах та інкубаторіях птахофабрик [29]. Дистанційно віддалений диспергуючий вузол дозволяє проводити регулювання факелу аерозолі, продуктивності та дисперсності аерозолі назовні об'єкта, що обробляється. Аерозольний генератор САГ-4М призначений для створення аерозолів вакцин і дезінфікуючих препаратів у виробничих приміщеннях птахофабрик та інших тваринницьких підприємств в умовах відсутності стаціонарної або переносної мережі системи стиснутого повітря і компресорних установок.

На рис. 1.4 зображений пересувний аерозольний генератор Pulmic (Італія) [32] із об'ємом баку 50 літрів, призначений для розпилення лікарських та дезінфекційних препаратів у птахівничих приміщеннях із клітковими батареями та у свинарниках. Він оснащений електричним насосом з напругою живлення від акумуляторної батареї 12В, продуктивністю 5,7 л/хв., створюваним тиском 9 атм.



Рис. 1.4. Пересувний аерозольний генератор Pulmic для пташників із клітковими батареями

1.4. Передумови створення системи керування процесом розпилювання електроаерозолі. Мета і задачі кваліфікаційної бакалаврської роботи

Основними положеннями для подальшої роботи над розробкою САК розпилюванням лікарських препаратів у пташнику є матеріали [13], отримані автором при дослідженні використання електроаерозолів лікарських препаратів (антибіотиків) у промислових птахівничих приміщеннях для вирощування бройлерів.

Разом із автором вказаних досліджень нами були сформовані такі вихідні умови для подальшого проектування.

1. Спосіб отримання електроаерозолів умовно можна розділити на два етапи: диспергування рідини до стану аерозолі із подальшим зарядженням аеродисперсної системи.

2. На основі аналізу способів диспергування рідин був обраний оптимальний з точки зору зручності використання та можливості отримання від'ємного заряду аерозолі лікарського препарату – ротаційно-дисковий спосіб. Він не потребує потужного електроприводу, характеризується простотою реалізації, забезпечує широкий факел розпилювання, і що найголовніше, дає монодисперсний розпил із легко та плавно регульованою дисперсністю.

3. За рахунок уніполярного зарядження (від'ємної полярності) можна, по-перше, посилити терапевтичний ефект самих лікарських препаратів, і, по-друге, вирівняти концентрацію ліків по простору пташника, що дозволяє запобігти становленню додаткових циркуляційних вентиляторів.

4. Розчини антибіотиків характеризуються високою питомою об'ємною електропровідністю. Це дозволяє вибрати індукційний спосіб електризації їх аеродисперсних систем, оцінити його ефективність, а також дослідити режими розпилення ліків та вибрати оптимальні з них. Ця обставина, відповідно,

дозволяє обрати необхідний *виконавчий механізм* (ВМ) системи керування розпиленням лікарських засобів у промисловому пташнику.

5. Ефективність і рівень електризації аеродисперсних систем можна оцінити по величині об'ємного заряду зважених у повітрі частинок, що дозволяє обрати необхідний *сприймаючий елемент*, і, відповідно, реалізувати зворотній зв'язок у системі автоматичного керування.

6. Отримані графічні і математичні залежності (додаток Б1) дисперсності аерозолію від об'ємної витрати лікарського препарату, кругової лінійної швидкості обертання диску генератора аерозолію, напруженості електричного поля дозволяють визначити ефективні режими роботи технологічного обладнання системи розпилювання медичних препаратів.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є створення комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичного керування розпилюванням профілактичних препаратів у промисловому пташнику на основі використання монодисперсних електроаерозолів лікарських засобів.

Для досягненні цієї мети у дипломному проєкті було поставлено такі задачі:

1. Розробити функціональну схему автоматизації системи керування розпилення електроаерозолію лікарських препаратів у птахівничому приміщенні для вирощування бройлерів.

2. Дослідити динаміку процесу розпилювання для обґрунтування системи керування цим процесом, а саме:

2.1. Визначення алгоритму керування процесом розпилювання.

2.2. Обґрунтування вибору промислових технічних засобів автоматизації для реалізації алгоритму керування, зокрема програмованого логічного контролера Schneider Electric.

2.3. Визначення показників якості регулювання.

3. Розробити електричні схеми системи автоматизації: принципову, з'єднань, підключень.

4. Оцінити економічну ефективність впровадження розробленої САК процесом розпилювання профілактичних препаратів.

Об'єктом дослідження є процес групової лікувальної терапії у промислових пташниках на основі розпилювання аерозолів розчинів медичних препаратів.

Предметом дослідження є взаємозв'язки і закономірності режимів функціонування генераторів електроаерозолів медичних препаратів у промислових пташниках для вирощування бройлерів та їх вплив на збереження поголів'я птиці.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЮВАННЯ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ У ПТАШНИКУ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ БРОЙЛЕРІВ

2.1. Визначення динаміки електроаерозольного розпилення лікарських препаратів

Визначення оптимальних режимів розпилювання розчинів лікарських засобів дає необхідні вихідні дані (щільність та динамічна в'язкість розпилюваного матеріалу, радіус і заряд частинок, продуктивність генератора аерозолі і т.п.) для проведення теоретичних досліджень процесу розпилювання лікарських препаратів у пташнику-бройлернику, які дозволять у кінцевому підсумку розрахувати без експериментів із великими затратами праці ефективні умови ефективної ветеринарної обробки поголів'я птиці.

Складемо рівняння динаміки електроаерозольного розпилення медикаментів.

При розпилюванні лікарських препаратів із одночасною електризацією їх аеродисперсних систем слід враховувати такі явища, як електростатичне розсіювання частинок, коагуляцію, гравітаційне осаджування та вдихання частинок птицею. Ці фактори і визначають стійкість аерозольної хмари.

При розгляді питань стійкості електроаерозолів зробимо наступні припущення:

- 1) частинки препаратів заряджені уніполярно і коефіцієнт уніполярності є сталим за часом;
- 2) аерозолі є монодисперсними, мають однаковий заряд; радіус частинок і величина їх заряду не змінюються у часі;
- 3) силами дзеркального відображення нехтуємо;

4) припускаємо, що приміщення, в якому здійснюється розпилювання (пташник), є герметичним, і лікарські препарати за його межі не виносяться.

Такі припущення є досить прийнятними для інженерних розрахунків.

Як було показано у [23], явище електростатичного розсіювання сильно впливає на стійкість аерозолів, знижує їх концентрацію. За рахунок цього явища заряджені частинки рівномірно розподіляються по всьому приміщенні:

$$\operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon_0} = \frac{q \cdot n}{\varepsilon_0}, \quad (2.1)$$

де E – вектор напруженості електричного поля;

n – концентрація частинок;

q – заряд частинок;

ρ – об'ємний заряд аерозолів (щільність заряду);

ε_0 – електрична стала.

Оскільки

$$V = E \cdot B \cdot q, \quad (2.2)$$

де V – вектор швидкості частинок;

B – механічна рухомість частинок,

то

$$\operatorname{div} E = \frac{q^2 \cdot n}{\varepsilon_0} \cdot B. \quad (2.3)$$

За властивістю дивергенції швидкості

$$\operatorname{div} V = -\frac{1}{n} \frac{dn}{dt}. \quad (2.4)$$

Звідси

$$\frac{1}{n} \frac{dn}{dt} = -\frac{q^2 \cdot n}{\varepsilon_0} \cdot B \quad \text{або} \quad \frac{dn}{dt} = -\frac{q^2 \cdot n^2}{\varepsilon_0} \cdot B. \quad (2.5)$$

Як видно з виразу (2.5), швидкість розсіювання зарядженого аерозолу не залежить ані від форми, ані від розміру приміщення, в якому відбувається розпилювання ліків, і є внутрішньою властивістю аерозолу.

Скориставшись теорією коагуляції В. Смолуховського [13], був отриманий вираз, який пов'язує стійкість зарядженого аерозолі і коагуляції частинок:

$$-\frac{dn}{dt} = K \cdot [(n_+^2 + n_-^2) \cdot \chi_1 + 2 \cdot n_+ \cdot n_- \cdot \chi_2], \quad (2.6)$$

де K – константа коагуляції незарядженого аерозолі;

n_+ - концентрація частинок із додатнім зарядом;

n_- - концентрація частинок із від'ємним зарядом;

χ_1, χ_2 – ймовірність зіткнення однозаряджених та різнозаряджених частинок.

Оскільки в нашому випадку зарядження частинок є уніполярним, то

$$-\frac{dn}{dt} = K \cdot n^2 \cdot \chi, \quad (2.7)$$

де χ – ймовірність зіткнення уніполярних частинок:

$$\chi = \frac{\lambda}{e^{\lambda-1}}, \quad (2.8)$$

λ , в свою чергу, записується як:

$$\lambda = \frac{q^2}{2 \cdot r \cdot k \cdot T}, \quad (2.9)$$

де r – радіус частинки;

k – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура.

Розглянемо, як розсіювання і коагуляція разом впливають на стійкість аерозолі:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{ел.с.р.}} = -\frac{q^2 \cdot n^2 B}{\varepsilon_0} = -\frac{q^2 \cdot n^2 D}{\varepsilon_0 \cdot k \cdot T} = -\frac{q^2 \cdot n^2 \cdot D \cdot 2 \cdot r}{\varepsilon_0 \cdot 2 \cdot r \cdot k \cdot T} = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0} \cdot n^2, \quad (2.10)$$

де D – коефіцієнт дифузії частинок.

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{коаг.}} = -K \cdot n^2 \cdot \frac{\lambda}{e^{\lambda-1}} = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0 \cdot e^{\lambda-1}} \cdot n^2, \quad (2.11)$$

де постійна коагуляції дорівнює

$$K = \frac{2 \cdot r \cdot D}{\varepsilon_0}.$$

У сукупності ці фактори будуть ці фактори будуть спричиняти наступний вплив на стійкість аерозолів:

$$\frac{dn}{dt} = \left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{ел.с.р.}} + \left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{коаг.}} = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0} \cdot n^2 - \frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0 \cdot e^{\lambda-1}} \cdot n^2,$$

$$\frac{dn}{dt} = \left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{ел.с.р.}} + \left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{коаг.}} = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\lambda-1}}\right) \cdot n^2. \quad (2.12)$$

Гравітаційне осадження частинок також впливає на концентрацію частинок, що розпилюються. Швидкість зменшення концентрації аерозолі у закритому приміщенні за рахунок гравітаційного осадження описується рівнянням [7]:

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{n \cdot v}{h}, \quad (2.13)$$

де n – концентрація частинок;

v – швидкість осадження частинок;

t – час;

h – висота приміщення.

Якщо виразити $h = V / S$ (V – об'єм приміщення, S – його площа), то

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{S \cdot v}{V} \cdot n. \quad (2.14)$$

Тобто зміни концентрації за рахунок гравітаційного осадження частинок значною мірою залежить від розмірів приміщення.

Якщо у приміщенні, де відбувається розпилення лікарських препаратів, знаходиться N тварин (у нашому випадку бройлерів), то зміна концентрації частинок за рахунок їх вдихання і осадження у дихальних шляхах буде:

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{N \cdot m \cdot \rho_0}{V} \cdot n, \quad (2.15)$$

де m – об'єм аерозолі, що вдихає N тварин за одиницю часу;

ρ_0 – доля частинок, які затримуються в організмі.

Якщо в приміщення весь час вноситься певна кількість аерозолів, то визначити його можна наступним чином:

$$a = \frac{3 \cdot Q'}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V}, \quad (2.16)$$

де Q – об'ємна витрата препарату;

r – радіус частинок.

В загальному вигляді із урахуванням перерахованих факторів рівняння зміни концентрації частинок уніполярно зарядженого аерозолію буде мати наступний вигляд:

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\lambda-1}}\right) \cdot n^2 - \frac{S \cdot v + N \cdot m \cdot \rho_0}{V} + \frac{3 \cdot Q'}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V}. \quad (2.17)$$

Позначимо

$$c = -\frac{2 \cdot r \cdot \lambda \cdot D}{\varepsilon_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\lambda-1}}\right),$$

$$b = -\frac{S \cdot v + N \cdot m \cdot \rho_0}{V},$$

$$a = \frac{3 \cdot Q'}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V}.$$

Тоді рівняння (2.17) виглядатиме як

$$\frac{dn}{dt} = c \cdot n^2 + b \cdot n + a. \quad (2.18)$$

Вирішимо рівняння (2.18) відносно n .

Після інтегрування отримаємо:

$$t = -\frac{2}{\sqrt{\Delta}} \cdot \operatorname{arcth} \frac{b+2 \cdot c \cdot n}{\sqrt{\Delta}} + K, \quad (2.19)$$

де $\Delta = b^2 - 4 \cdot a \cdot c$;

K – постійна інтегрування.

Постійну інтегрування з виразу (2.19) знаходимо при наступних початкових умовах: $n = 0$ при $t = 0$ та

$$K = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \cdot \operatorname{arcth} \frac{b}{\sqrt{\Delta}}. \quad (2.20)$$

З виразу (2.19) можна отримати рівняння для визначення концентрації частинок:

$$n = \frac{\sqrt{\Delta}}{2 \cdot c} \operatorname{th} \left[-\frac{(t-K) \cdot \sqrt{\Delta}}{2} \right] - \frac{b}{2 \cdot c}.$$

або

$$n = \frac{\sqrt{\Delta}}{2 \cdot c} \operatorname{th} \left[-\frac{\left(t - \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{\Delta}} \right)}{2} \right] - \frac{b}{2 \cdot c}. \quad (2.21)$$

У стаціонарному режимі, тобто при $\frac{dn}{dt} = 0$ рівняння (2.18) прийме наступний вигляд:

$$c \cdot n^2 + b \cdot n + a = 0. \quad (2.22)$$

З цього виразу не важко визначити концентрацію частинок аерозолі в усталеному режимі:

$$n_{\text{уст.}} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot c}. \quad (2.23)$$

Якщо врахувати, що $\rho = q \cdot n$, то справедливість виразу (2.21) можна перевірити дослідним шляхом. Для цього необхідно побудувати теоретичну залежність концентрації частинок від часу (за виразом (2.21)) і порівняти її з розгінною кривою об'єкта, що була отримана експериментальним шляхом [13]. Тому вирішимо рівняння (2.18) для нашого конкретного випадку.

Вихідні дані для розрахунку:

радіус частинок: $r = 4 \cdot 10^{-6}$ м;

заряд частинок: $q = 452 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

розпилюваний препарат: стрептоміцин.

$$1. \lambda = \frac{q^2}{2 \cdot r \cdot K \cdot T} = \frac{(452 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^2}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 0,42 \cdot 10^{-5}.$$

$$D = \frac{R \cdot T}{\varepsilon \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot N},$$

де: R – газова постійна;

N – число Авогадро;

η – в'язкість повітря.

$$D = \frac{8316,96 \cdot 300}{6,18 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{26}} = 3 \cdot 10^{-12}.$$

$$C = \frac{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,42 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-12}}{8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(1 + \frac{1}{\exp(0,42 \cdot 10^{-5} - 1)}\right) = -75,4 \cdot 10^{-12}.$$

2. У вираз для визначення коефіцієнта b входить гравітаційна швидкість осадження частинок v . Для знаходження її необхідно визначити число Рейнольдса для того, щоб знати, за якою формулою можна вести розрахунок. Число Рейнольдса визначається як

$$Re = C_D \cdot \frac{R\epsilon^2}{24}, \quad (2.24)$$

де C_D – добовий коефіцієнт, що дорівнює

$$C_D = \frac{\frac{\pi}{6} \cdot d^3 \cdot \rho \cdot g}{\frac{1}{2} \rho' \cdot v^2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}, \quad (2.25)$$

де d – діаметр частинки;

ρ – щільність частинки;

ρ' – щільність повітря;

v – стокова швидкість.

Крім того, Re можна записати:

$$R\epsilon = \frac{d \cdot v \cdot \rho'}{\eta}. \quad (2.26)$$

Підставляючи вирази (2.26) та (2.25) у (2.24), отримаємо залежність, зручну для визначення числа Рейнольдса. Зручна вона тим, що не містить швидкості v :

$$Re = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho \cdot \rho'}{18 \cdot \eta^2} = \frac{980 \cdot (8 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 1,043 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3}}{18 \cdot (18,3 \cdot 10^{-5})^2} = 13,99 \cdot 10^{-5}. \quad (2.27)$$

Оскільки отримане нами число Рейнольдса менше 0,05, то для визначення гравітаційної швидкості осадження частинок скористаємося формулою Стокса без поправки Кенінгема:

$$Re = \frac{g \cdot d^2 \cdot \rho}{18 \cdot \eta} = \frac{1,043 \cdot 980 \cdot (8 \cdot 10^{-4})^2}{18 \cdot 18,3 \cdot 10^{-5}} = 0,192 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}. \quad (2.28)$$

Прийmemo, що при вдиханні усі частинки затримуються у дихальних шляхах птиці (тобто $\rho_0 = 1$). Тоді

$$b = -\left(\frac{v}{h} + \frac{N \cdot m \cdot \rho_0}{V}\right) = -\left(\frac{0,192 \cdot 10^{-2}}{2,5} + \frac{6,5 \cdot 10^3 \cdot 0,45 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{1080}\right) = -0,795 \cdot 10^{-3}. \quad (2.29)$$

3. Кількість частинок, що вносяться в одиницю об'єму приміщення за 1 секунду дорівнює:

$$a = \frac{3 \cdot Q'}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V} = \frac{3 \cdot Q \cdot l}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V}, \quad (2.30)$$

де Q – об'ємна витрата одного генератора;

l – кількість генераторів електроаерозолі.

$$a = \frac{3 \cdot Q'}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V} = \frac{3 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \frac{3600}{2} \cdot (4 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1080} = 19,2 \cdot 10^6 \text{ 1/м}^3.$$

Із урахуванням значень для коефіцієнтів a , b , c рівняння (2.18) матиме наступний вигляд:

$$\frac{dn}{dt} = -75,4 \cdot 10^{-12} \cdot n^2 - 0,795 \cdot 10^{-3} \cdot n + 19,2 \cdot 10^6. \quad (2.31)$$

Після підстановки відповідних значень

$$\Delta = 76,1 \cdot 10^{-3}.$$

$$K = -0,273.$$

Враховуючи значення Δ і K , вираз (2.21) можна записати:

$$n = \frac{\sqrt{76,1 \cdot 10^{-3}}}{2 \cdot (-75,4 \cdot 10^{-12})} \cdot \operatorname{th} \left[-\frac{(t+0,273) \cdot 0,286}{2} \right] - 5,28 \cdot 10^6. \quad (2.32)$$

Вирішимо рівняння (2.32) відносно t . Результати розрахунків наведені у таблиці 2.1.

В усталеному режимі концентрація частинок електроаерозолів складатиме:

$$n_{\text{уст.}} = \frac{-(-0,795 \cdot 10^{-3}) - \sqrt{(-0,795 \cdot 10^{-3})^2 - 4 \cdot 19,2 \cdot 10^6 \cdot (-75,4 \cdot 10^{-12})}}{2 \cdot (-75,4 \cdot 10^{-12})} = 500 \cdot 10^6 \text{ 1/м}^3.$$

Результати розрахунків за виразом (2.32) наведені на рис. 2.1.

Таблиця 2.1.

Динаміка зміни концентрації частинок електроаерозолів,
розрахована за виразом (2.32)

$t, \text{с}$	10	20	30	40	50
$n, 1/\text{см}^3$	185	321	403	454	478

60	70	80	90	100	110
483	494	497	498	499	500

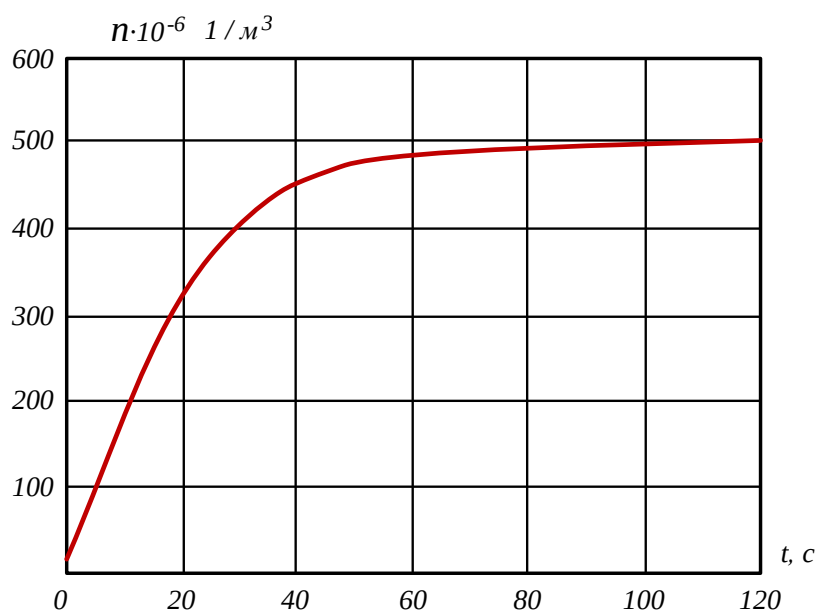


Рис. 2.1. Перехідна характеристика пташника-бройлера, отримана в результаті теоретичних досліджень

Аналіз графічної залежності, представленої на рис. 2.1, дозволяє зробити висновок про те, що перехідний режим процесу розпилення лікарських препаратів у вигляді електроаерозолів є швидкоплинним (тривалість перехідного процесу складає близько 100 с).

2.2. Дослідження пташника-бройлерника як об'єкта керування процесом розпилення лікарських препаратів у вигляді аерозолію

Автоматичне розпилення розчинів лікарських препаратів у вигляді електроаерозолів у пташнику дозволить покращити якість ветеринарної обробки птиці за рахунок підтримання оптимальних режимів розпилення, зниження втрат коштовних медпрепаратів, значного полегшення роботи обслуговуючого персоналу. Але обґрунтувати раціональну систему автоматичного керування таким процесом і алгоритм її функціонування є можливим тоді, коли будуть враховані основні властивості пташника-бройлерника як об'єкта керування.

Властивості пташника як об'єкта керування складаються зі статичних та динамічних характеристик по каналу «зміна величини об'ємного заряду повітря пташника шляхом внесення певної кількості заряджених від'ємним зарядом аеродисперсних систем лікарських препаратів». Статичні характеристики пташника дозволяють в подальшому розрахувати необхідний режим розпилення, а динамічні – обрати алгоритм керування. Крім того, динамічні характеристики $\rho = f(t)$ або, що аналогічно, $n = f(t)$, дозволяють перевірити правильність теоретичних розрахунків (п. 2.1).

В роботі [13] отримані наступні статичні характеристики пташника-бройлерника:

1) залежність між об'ємною витратою розпилюваного препарату і об'ємним зарядом повітря у пташнику $\rho = f(Q)$ в усталеному режимі (рис. 2.2, додаток В1);

2) залежність між об'ємним зарядом у факелі розпилю і об'ємним зарядом повітря у пташнику $\rho = f(\rho_{\text{ф}})$ в усталеному режимі (рис. 2.3, додаток В2).

Як видно з першої статичної характеристики (рис. 2.2), при $Q > 4,2 \cdot 10^{-7}$ м³/с лінійна залежність між Q та ρ порушується. Пояснити це явище можна зменшенням питомого заряду частинок із збільшенням об'ємної витрати

препарату. Аналіз рис. 2.2 показує, що розпилювати лікарські препарати у пташниках з об'ємними витратами більше $(4,2 \dots 5,6) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ недоречно.

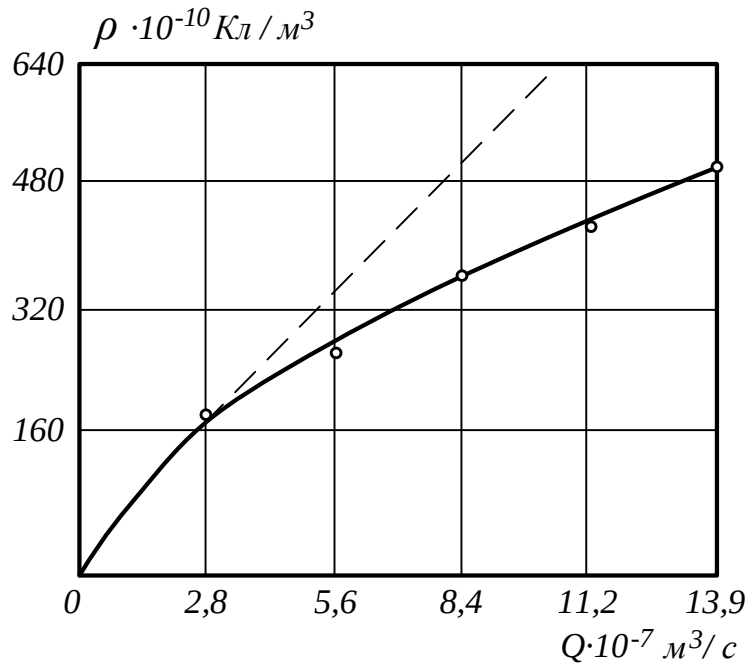


Рис. 2.2. Залежність величини об'ємного заряду повітря у пташнику від об'ємної витрати лікарських препаратів

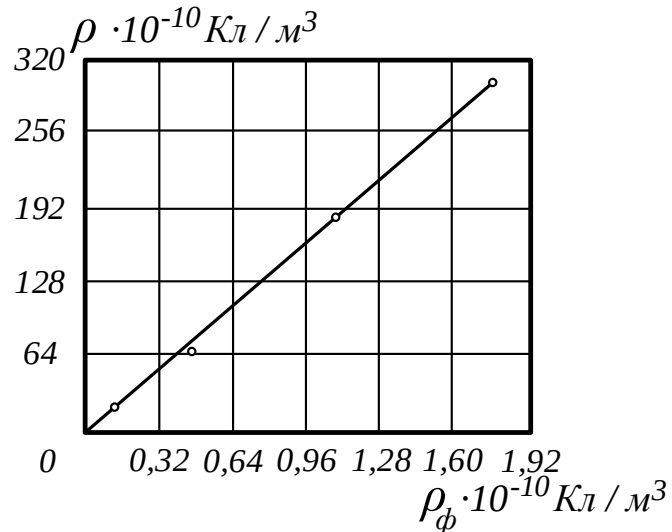


Рис. 2.3. Статична характеристика пташника – залежність об'ємного заряду повітря пташника від об'ємного заряду електроаерозолі лікарських препаратів у факелі розпилу

При оптимальній витраті препарату $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ об'ємний заряд електроаерозолі складає $274,9 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}/\text{м}^3$.

Залежність $\rho = f(\rho_{\phi})$ в усталеному режимі зображена на рис. 2.3. Як бачимо, наведена залежність є лінійною. У подальшому вона буде необхідна для налагодження обладнання на необхідний режим роботи.

Динамічні властивості об'єкта можуть бути відображені у його математичних моделях, які будуються аналітичним або експериментальним шляхом [16].

Автор [13], прийнявши припущення, що:

- об'єкт дослідження є приміщенням із зосередженими параметрами;
- динамічні властивості об'єкта є постійними у часі;
- виконується принцип суперпозиції при незначних відхиленнях керуючої і вхідної дії від їх рівноважних значень;

отримав експериментальну розгінну характеристику (рис. 2.4).

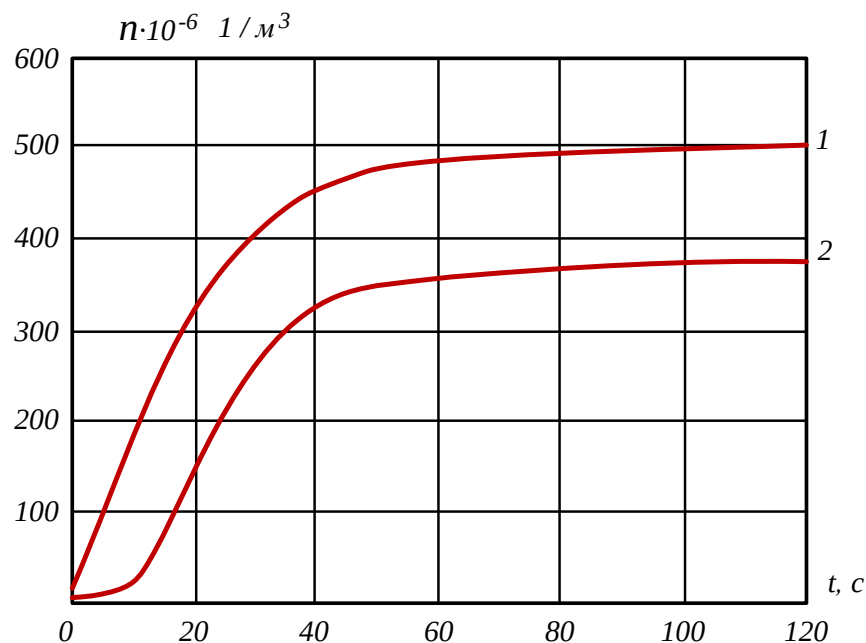


Рис. 2.4. Перехідні характеристики пташника-бройлерника, отримані в результаті теоретичних (1) та експериментальних (2) досліджень

Отримана розгінна крива дозволяє співставити результати теоретичних та експериментальних досліджень. Для цього представимо результати у вигляді графічних залежностей на одному графіку (рис. 2.4, 1, 2). Як видно, в

усталеному режимі відмінність складає 27-28%. Пояснити цю похибку можна наступним чином: частина лікарських препаратів під дією сил електричного поля повертаються на індукуючий електрод; неможливо повністю врахувати поверхню, на яку осаджуються частинки (виробниче приміщення заповнене технологічним обладнанням, яке значно збільшує внутрішню поверхню осадження); залу пташника неможливо повністю ізолювати від проникнення повітря з навколишнього середовища, внаслідок чого виникають конвекційні потоки повітря, які призводять перерозподіл концентрації частинок.

Знайдемо тепер передатну функцію пташника як об'єкта керування. Це дозволить за співвідношенням параметрів перехідного режиму обґрунтувати оптимальний алгоритм керування процесом розпилення ліків.

За рис. 2.5. виділяємо час чистого запізнення об'єкта. Як видно, воно дорівнює 4 с (із введенням часу чистого запізнення, ми можемо розглядати пташник як об'єкт із зосередженими параметрами).

Перехідна функція пташника-бройлерника по каналу «зміна об'ємного заряду повітря шляхом внесення певної кількості електроаерозолі ліків» є гладкою і неколивальною. Тому її можна апроксимувати вирішенням диференційного рівняння із простими речовими коренями.

Перехідну функцію можна представити як:

$$\rho(t) = C_0 - \sum_{i=1}^n C_i \cdot e^{-\alpha_i t}, \quad (2.33)$$

де $C_0 = \rho_\infty \approx \rho(t_{\text{уст}})$ – величина об'ємного заряду в стаціонарному (усталеному) режимі;

C_i, α_i – речові числа;

α_i – корені характеристичного рівняння, які задовольняють наступній емпіричній нерівності

$$(\alpha_i / \alpha_{i+1}) \leq 0,5 \dots 0,7; \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.34)$$

Ці умови означають, що апроксимуюча передатна функція $W(s)$ має тільки речові прості полюси, розташовані на достатньо великій відстані один від одного.

Вираз (2.33) є вирішенням лінійного диференційного рівняння n -го порядку із збурюючим впливом типу ступінчастої функції (права частина). Необхідно за графічно заданою перехідною функцією пташника визначити величини коефіцієнтів C_i ($i = 1, 2, \dots, n$); корені характеристичного рівняння α_i ($i = 1, 2, \dots, n$); порядок рівняння n . Для виконання вказаного скористаємося методом послідовного логарифмування.

Сутність метода послідовного логарифмування полягає у поступовому наближенні $\rho(t)$ спочатку розв'язком рівняння першого порядку ($C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t}$), і якщо ця апроксимація є незадовільною на будь-якому відрізку часу $(0, t_{\text{уст}})$, то вводиться у розгляд друга складова $C_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$, і відповідно порядок диференційного рівняння приймається таким, що дорівнює 2, і т.д.

Усі корені характеристичного рівняння за умовою (2.34) є різними, тому швидкість спадання функції $C_i \cdot e^{-\alpha_i \cdot t}$ також буде різною при збільшенні аргументу – часу t ; швидкість спадання визначається величиною α_i , і оскільки α_1 є найменшим із коренів, то $C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t}$ зменшується повільніше решти складників. Тому спочатку припустимо, що у $\rho(t)$ є розв'язок лінійного диференційного рівняння першого порядку. На основі цього можна записати:

$$\rho(t) = C_0 - C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t}, \quad (2.35)$$

або

$$C_0 - \rho(t) = \rho_1(t) = C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t}. \quad (2.36)$$

Вираз (2.36) є справедливим при $t \rightarrow \infty$. В цьому випадку впливом інших складових можна знехтувати. Функцію $\rho_1(t) = C_1 - \rho(t)$ розраховуємо за числовими значеннями перехідної функції. Прологарифмуємо вираз (2.36):

$$\ln|\rho_1(t)| \approx \ln C_1 - \alpha_1 t. \quad (2.37)$$

З виразу (2.37) можна легко визначити α_1 та C . Для цього будується функція $\ln|\rho_1(t)|$ в залежності від часу (рис. 2.5, в, крива 1). До неї при $t \rightarrow \infty$ будується асимптота, яка відсікає від вісі ординат певний відрізок, що дорівнює $\lg C_1$, а по вісі абсцис – t_1 . Величина кореня α_1 дорівнює тангенсу кута нахилу асимптоти до вісі абсцис:

$$\alpha_1 = -\frac{\ln C_1}{t_1} = -\frac{2,765}{0,434 \cdot 89} = -0,0716. \quad (2.38)$$

В результаті, якщо $\rho(t)$ дійсно є розв'язком диференційного рівняння першого порядку, то функція

$$\begin{aligned} \rho_2(t) &= \rho_1(t) - C_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} = \rho(t) - 583,3 \cdot e^{-0,0716 \cdot t} = \\ &= C_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}. \end{aligned} \quad (2.40)$$

при усіх, а не тільки великих значеннях часу ($t \rightarrow t_{ycm}$). Але, як видно з [13], ця рівність при $t = 0 \dots 30$ с не виконується. І, як бачимо (рис. 2.5, в, крива 1), асимптота на цій ділянці не співпадає зі своєю функцією $\ln|\rho_1(t)|$. Тому необхідно ввести другу складову $C_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t}$. Постійні C_2 і α_2 визначаються аналогічним чином: будується залежність

$$\ln|\rho_2(t)| \approx \ln C_2 - \alpha_2 t,$$

та до неї проводиться асимптота, і

$$\alpha_2 = -\frac{\ln C_2}{t_2} = -\frac{2,489}{0,434 \cdot 35} = -0,164. \quad (2.41)$$

Як видно з рис. 2.5, в, крива 2, асимптота та її функція $\ln|\rho_2(t)|$ гарно співпадають на всьому проміжку часу. Це означає, що порядок апроксимуючого диференційного рівняння можна прийняти другим і його розв'язок буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \rho(t) &= (274,9 - 583,3 \cdot e^{-0,0716 \cdot t} + 308,4 \cdot e^{-0,164 \cdot t}) \cdot \\ &\cdot 10^{-10} \text{Кл/м}^3. \end{aligned} \quad (2.42)$$

При правильному розрахунку C_i і α_i повинні виконуватись наступні початкові умови

$$\rho(0) = C(0) - \sum_{i=1}^n C_i = 0. \quad (2.43)$$

В нашому випадку

$$\rho(0) = C_0 - C_1 - C_2 = (274,9 - 583,3 + 308,4) \cdot 10^{-10} \approx 0.$$

$$\rho(0) = ((-0,0716) \cdot (-583,3) + (-0,164) \cdot 308,4) \cdot 10^{-10} < 2\%.$$

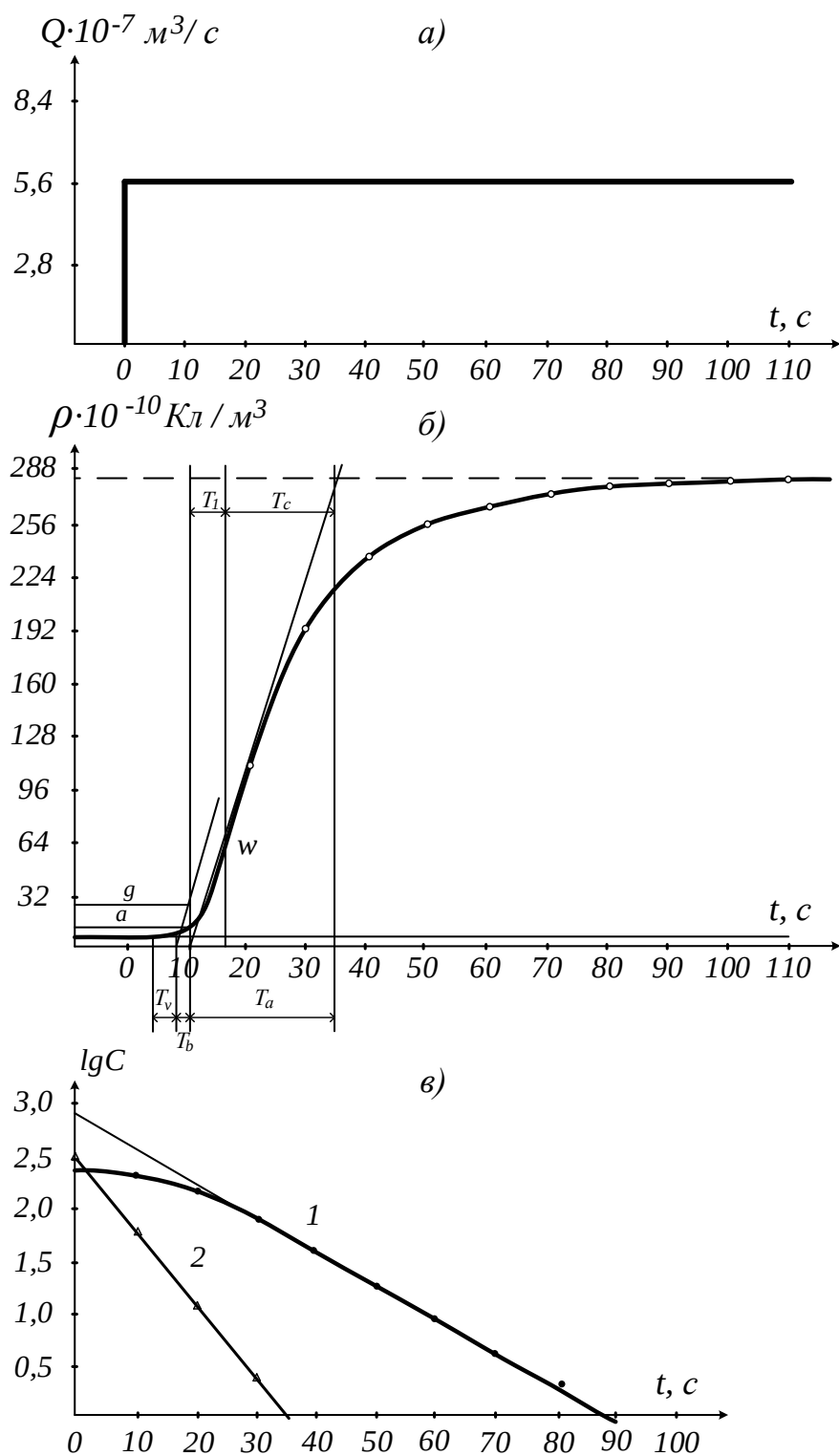


Рис. 2.5. Дослідження пташника-бройлера як об'єкта автоматичного керування розпиленням лікарських препаратів:

- а) збурюючий вплив типу ступінчастої функції; б) перехідна функція пташника; в) визначення коефіцієнтів апроксимуючого рівняння методом послідовного логарифмування

Відносна похибка, яка була допущена при графічній побудові, є невеликою. Тому подальше уточнення C_i і α_i не виконується.

Передатна функція об'єкта визначається як:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (2.44)$$

де $Y(p)$ – зображення вихідної величини; $X(p)$ – зображення вхідної величини.

Для вихідної величини, яку можна визначити по (2.33), використавши перетворення Лапласа, отримаємо її зображення:

$$Y(p) = \frac{C_0}{P} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{P + \alpha_i} = \frac{C_0 \cdot \prod_{i=1}^n (P + \alpha_i) - \sum_{g=1}^n (P + \alpha_i)}{\prod_{i=1}^n (P + \alpha_i)} = \frac{C_0 \cdot \prod_{i=1}^n \alpha_i}{\prod_{i=1}^n (P + \alpha_i)}. \quad (2.45)$$

де n – позначає добуток усіх співмножників $(P + \alpha_i)$;

$g = 1, 2, \dots, n - 1$; $i = 1, \dots, n$, окрім $P + \alpha_i$.

Прийнявши $X(p) = Q$, отримаємо передатну функцію об'єкта

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{C_0 \cdot \prod_{i=1}^n \alpha_i}{Q \cdot \prod_{i=1}^n (P + \alpha_i)} = \frac{k}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot p + 1)}. \quad (2.46)$$

де k – коефіцієнт підсилення об'єкта, який в нашому випадку дорівнює

$$k = \frac{C_0}{Q} = \frac{274,9 \cdot 10^{-10}}{5,6 \cdot 10^{-7}} = 49,1 \cdot 10^{-3} \frac{\frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{м}^3}{\text{с}}}.$$

T – постійна величина перехідного процесу.

Отже, передатна функція із урахуванням зазначеного, матиме такий вигляд:

$$W_{\text{oy}}(p) = \frac{k \cdot e^{-p \cdot \tau}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}. \quad (2.47)$$

Після підстановки чисельних значень коефіцієнтів та часу чистого запізнення, отримаємо

$$W_{\text{oy}}(p) = \frac{49,1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-4p}}{(13,97 \cdot p + 1) \cdot (6,1 \cdot p + 1)}. \quad (2.48)$$

Аналізуючи вираз (2.48) можна сказати, що пташник для вирощування бройлерів по каналу «зміна об'ємного заряду повітря в пташнику шляхом внесення визначеної кількості електроаерозолі лікарського препарату» є аперіодичною ланкою другого порядку з наявністю чистого запізнення.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Вибір алгоритму керування

У результаті досліджень динаміки процесу розпилення лікарських препаратів у пташнику для вирощування бройлерів (п. 2.2) було встановлено, що пташник для вирощування бройлерів як об'єкт керування процесом розпилювання лікарських препаратів є аперіодичною ланкою другого порядку; постійні часу перехідного процесу T_1 і T_2 дорівнюють відповідно 13,97 с та 6,1 с, а час чистого запізнення об'єкта – 4 с. Співвідношення між цими параметрами дозволяє вибрати прийнятний для даного об'єкта і процесу алгоритм керування. Для аперіодичної ланки другого порядку із запізненням у [10] наведені наступні співвідношення (T_1/τ) для деяких алгоритмів керування:

< 2 – неперервне керування;

> 2 – позиційне керування.

Для пташника для вирощування бройлерів в нашому випадку

$$\frac{T_1}{\tau} = \frac{13,97}{4} = 3,5 > 2,$$

тому для даного об'єкта і процесу прийнятним є позиційний алгоритм керування.

3.2. Функціональна схема автоматизації системи керування розпилюванням електроаерозолів лікарських засобів у промисловому пташнику

Необхідність розробки системи автоматичного керування об'ємним зарядом повітря у пташнику викликана тим, що:

1) це значно підвищує продуктивність праці при інгаляційному введенні медичних препаратів в організм птиці та покращує якість цього процесу;

2) за зооветеринарним вимогам при різних захворюваннях птиці необхідно у повітрі пташника підтримувати різну концентрацію препарату, відповідно, величина об'ємного заряду електроаерозолів лікарських препаратів буде також змінюватись; крім того, відхилення концентрації від заданої норми не повинно перевищувати $\pm 20\%$; при роботі обладнання в ручному режимі ці вимоги не виконуються, внаслідок чого концентрація препарату у повітрі майже завжди буде перевищувати норму, що призведе до перевитрати коштовних медикаментів.

Робота обладнання по розпилюванню розчинів ліків із використанням електростатичного поля в ручному і програмованому режимах дозволила отримати усі необхідні дані [13] для обґрунтування системи автоматичного підтримання визначеної величини об'ємного заряду, і, відповідно, і концентрації частинок.

Функціональна структурна схема САК величиною об'ємного заряду повітря пташника зображена на рис. 3.1 і складається із: задавача, керуючого пристрою, виконавчого механізму, об'єкта управління та сприймаючого елементу. Відхилення величини об'ємного заряду від заданого рівня показує сприймаючий елемент – датчик об'ємного заряду. В залежності від величини цього відхилення керуючий пристрій формує сигнал керування виконавчим механізмом (дисковим розпилювачем медичних препаратів):

- 1) напругу живлення електродвигуна, що обертає диск розпилювача;
- 2) частоту обертання валу електродвигуна (за допомогою частотного перетворювача).

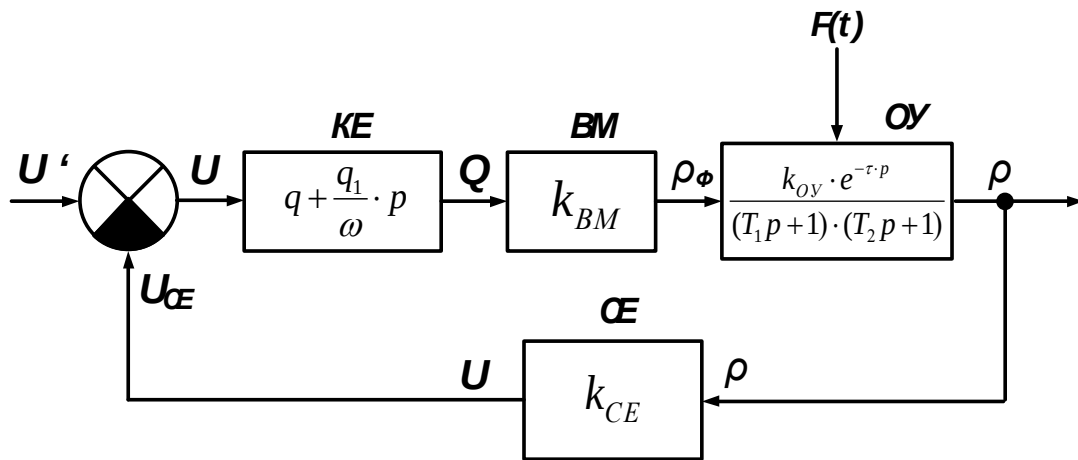


Рис. 3.1. Функціональна структурна схема САК розпилюванням медичних препаратів у промисловому пташнику

Технологічне обладнання системи керування розпилюванням медичних препаратів, яке працює за вказаним алгоритмом, відбиває функціональна схема автоматизації системи керування, зображена на листі 1 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

На схемі зображені датчики температури (ТЕ 1-1) та вологості (МЕ 2-1) всередині пташника, температури (ТЕ 3-1) та вологості (МЕ 4-1) зовнішнього повітря; датчики об'ємного заряду повітря у виробничому приміщенні пташника (ЕЕ 1-2 та ЕЕ 2-2). Перший контур системи призначений для керування вентиляційним обладнанням пташника. Другий контур призначений для керування розпилюванням лікарських препаратів. Частотні перетворювачі (SIC 6-2 та SIC 7-2) задають необхідну частоту обертання валу електродвигунів приводу ротаційних дискових аерозольних генераторів, що визначає дисперсність аерозолі. Напругу на пластини, що утворюють електричний заряд і завдяки чому утворюється електроаерозоль, подається через електромагнітні пускачі (NS 8-2 та NS 9-2).

3.3. Технічна реалізація САК розпилюванням електроаерозолів лікарських засобів у промисловому пташнику

3.3.1. Датчик об'ємного заряду повітря як сприймаючий елемент САК

Для вимірювання об'ємного заряду повітря вибраний прилад **WALCOM FDD-AD** (рис. 3.3) – стаціонарний промисловий прилад, який поєднує функції вимірювання об'ємного заряду повітря та вимірювання запилення повітря (концентрації пилу) і оснащений двома сенсорами – емнісним і оптичним.

Прилад має ергономічний дизайн та міцний вибухозахищений і антикорозійний корпус для роботи у промислових умовах. Кожух приладу виготовлений з литого алюмінію. Прилад оснащений звуковою та візуальною сигналізацією.



Рис. 3.3. Промисловий прилад WALCOM FDD-AD вимірювання об'ємного заряду та запиленості повітря

WALCOM FDD-AD відрізняється стабільністю сигналу, високою точністю показів, швидкою реакцією, тривалим строком експлуатації,

незначним часом поляризації. Прилад опціонально має два канали із уніфікованим аналоговим вихідним сигналом 0-20 В або 4-20 мА.

Прилад WALCOM FDD-AD широко використовується для моніторингу стану повітряного середовища в металургії, нафтовій і хімічній промисловості, вугільній і гірничій промисловості, і т.д.

Технічні характеристики приладу WALCOM FDD-AD наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики приладу промислового
стаціонарного WALCOM FDD-AD

Показник	Значення показника
Ємнісний сенсор	
Тип сенсора	Ємнісний
Діапазон вимірювань, Кл/м ³	0-1000·10 ⁻¹⁰
Похибка вимірювання, %	±3
Час відклику, с	2
Оптичний сенсор	
Канал (розміри вимірюваних частинок)	Опціонально 2,5 або 10 мкм
Діапазон вимірювань	0...6000 мкг/м ³
Тип датчика	Інфрачервоний
Похибка вимірювання, %	±3
Час відклику, с	30
Характеристики приладу	
Клас захисту	IP65
Метод відбирання проб	Природня дифузія
Робоча напруга	DC 24±3,6 В, 1,6 Вт
Вихідний сигнал (опціонально)	DC 0-20 В, 4-20 мА
Вибухозахист	Ex d II T6 GB
Температура навколишнього середовища	-10...+50°C
Вологість навколишнього середовища	до 95%, без конденсації
Робочий тиск	86-106 кПа

Як було зазначено, прилад оснащений двома сенсорами – ємнісним (для вимірювання об'ємного заряду повітря) та оптичним (для вимірювання запиленості).

Розглянемо роботу ємнісного каналу. Заряджені частинки медичних препаратів, що розпилюються, всмоктуються аспіраційною частиною цього

приладу на вимірювальному конденсаторі, на електроди якого подається стабілізована напруга живлення. Осаджуючись на внутрішньому електроді, електроаерозолі утворюють струм, вимірювання якого здійснюється за методом падіння напруги на відомому опорі:

$$I = \frac{U_g}{R^*}. \quad (3.1)$$

де I – струм, що утворюється зарядженими частинками;

R^* - відомий опір;

U – напруга на відомому опорі R^* .

Якщо напруга на вимірювальному конденсаторі та витрата повітря аспіраційної частини приладу є незмінними, то

$$I = \rho \cdot \Phi, \quad (3.2)$$

де ρ – об'ємний заряд;

Φ – витрата повітря.

Співставивши вирази (3.1) та (3.2), отримаємо

$$\rho = \frac{U_g}{R^* \cdot \Phi} = k_k \cdot U_g, \quad (3.3)$$

де k_k – коефіцієнт передачі для вимірювального конденсатора, (Кл/м³)/В.

У відносних одиницях рівняння (3.3) можна записати як

$$\Delta \rho = K_g \cdot \Delta U_g, \quad (3.4)$$

де $\Delta \rho = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$ – відхилення регульованої величини у відносних одиницях;

$\Delta U_g = \frac{U_g - U_{g0}}{U_{g0}}$ – відношення вимірюваної напруги на виході конденсатора у відносних одиницях;

$K_g = \frac{k_k \cdot U_{g0}}{\rho_0}$ – відносний коефіцієнт передачі вимірювального конденсатора у відносних одиницях.

Аналізуючи вираз (3.4) можна сказати, що вимірювальний конденсатор сприймаючого елементу являє собою підсилювальну ланку, передатна функція якого дорівнює

$$W_g(p) = k_g. \quad (3.5)$$

Сигнал з опору R^* подається на електрометричний пристрій, який підсилює його до певної величини (в залежності від вхідного сигналу і режиму підсилення від 0 до 15 В. Для електрометричного пристрою можна записати

$$U = k_{yc} \cdot U_g. \quad (3.6)$$

де U_g – напруга, що подається з вимірювального конденсатора на електрометр;

U – напруга на виході електрометра.

Вираз (3.6) напишемо у відносних одиницях:

$$\Delta U = k_{10} \cdot \Delta U_g, \quad (3.7)$$

де ΔU – зміна сигналу на виході електрометра у відносних одиницях;

ΔU_g – зміна сигналу на вході електрометра у відносних одиницях;

k_{10} - коефіцієнт передачі для електрометричного пристрою, що дорівнює $k_{10} = k_{yc}$.

Таким чином, якщо знехтувати часом заспокоювання приладу (від увійшов до часу чистого запізнення об'єкта), то передатну функцію спектрометра іонів можна представити як

$$W_{ce}(p) = \frac{\Delta U}{\Delta \rho} = k_{ce}. \quad (3.8)$$

Статична характеристика спектрометра іонів та електроаерозолів зображена на рис. 3.4.

Якщо сумістити статичну характеристику сприймаючого елемента $U_g = f(\rho_\phi)$ (рис. 3.4) і статичну характеристику пташника $\rho = f(\rho_\phi)$ (рис. 2.3, розділ 2), то в результаті отримаємо графічну залежність (рис. 3.5), за допомогою якої налагоджується система автоматичного керування на підтримання певної величини об'ємного заряду повітря у пташнику.

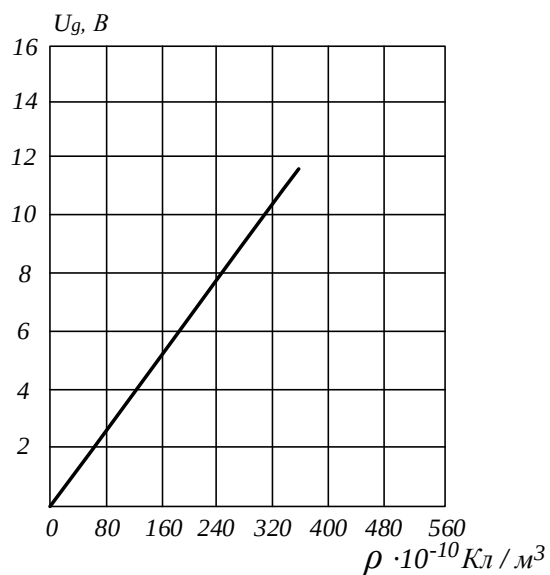


Рис. 3.4. Статична характеристика сприймаючого елементу

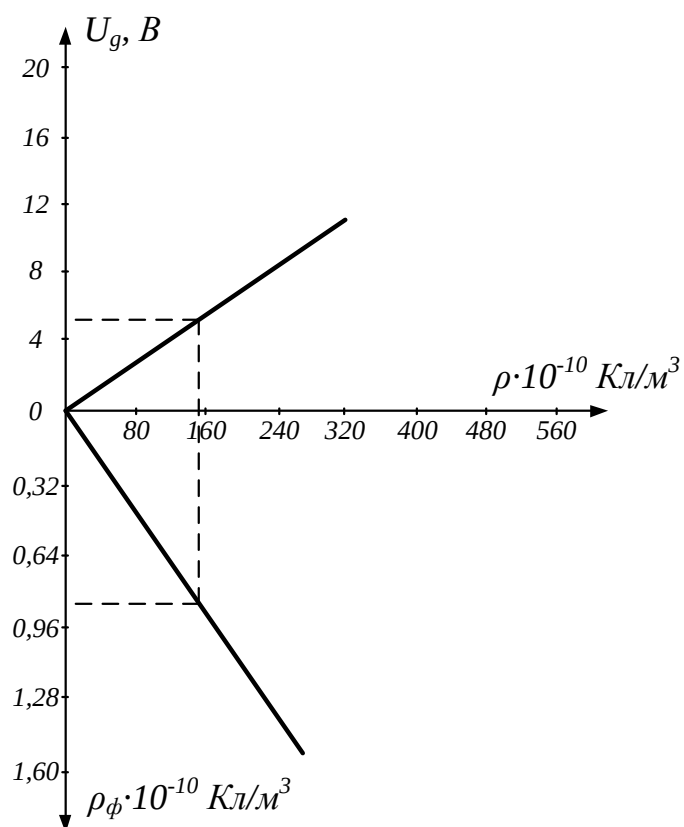


Рис. 3.5. Графічна залежність для налагодження САК на підтримання певної величини об'ємного заряду повітря у пташнику

3.3.2. Електрозарядний розпилювач як виконавчий механізм САК

У роботі [13] детально описано конструктивні особливості і роботу електрозарядного розпилювача; показано, що він складається з дискового ротаційного аерозольного генератора (рис. 3.6), дозуючого пристрою та джерела високої напруги.

Аерозольні ротаційні генератори АГ-1 призначені для зволоження і охолодження повітря у найрізноманітніших сферах людської діяльності, зокрема і у птахівництві.



а)



б)

Рис. 3.6. Зовнішній вигляд (а) та приклад встановлення (б) аерозольного ротаційного генератора АГ-1

Аерозольні генератори АГ-1 призначені для адіабатичного зволоження і охолодження повітря, розпилювання різноманітних технологічних розчинів у сільськогосподарських приміщеннях, поліграфічної та деревообробної проми-

словості, овочесховищах, фармакології медицині, на тютюнових, текстильних та інших виробництвах.

Аерозольні генератори АГ-1 дозволяють розпилювати рідини до стану аерозолі (туману) із дисперсністю не більше 30 мкм та забезпечити нормативне підтримання вологості у діапазоні 20...90% в автоматичному режимі. У спекотну пору року вони здатні знизити температуру в приміщенні на 4...6°C, зменшуючи запиленість і бактеріальне обсіменіння повітря більш ніж у 2 рази.

Технічні характеристики аерозольного генератора наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики дискового ротаційного
аерозольного генератора АГ-1

Показник	Значення показника
Регулювання вологості повітря, %	20-90
Продуктивність при подачі аерозолі, не менше, м ³ /год.	700
Витрата рідини, л/год.	5-12
Дисперсність аерозолі, не більше, мкм	30
Ступінь захисту	IP54
Потужність (кВт) та напруга живлення (В) привідного електродвигуна	0,18 / 380
Рівень шуму, дБ	70
Габаритні розміри (діаметр*висота), мм	640*335
Маса, кг	14

Електрозарядний розпилювач забезпечує внесення заряджених частинок у приміщення пташника. Рівняння матеріального балансу для нього має наступний вигляд:

$$\rho_{\phi.o.} + \frac{Q \cdot q \cdot t}{V_{\phi} \cdot V_{\phi}} = \rho_{\phi}, \quad (3.9)$$

де $\rho_{\phi.o.}$ – об'ємний заряд повітря у факелі розпилю до внесення в нього електрично заряджених частинок, Кл/м³;

Q – об'ємна витрата препарату, що розпилюється, м³/с;

q – заряд частинки, Кл;

$V_{\text{ч}}$ – об'єм однієї частинки, м³;

$V_{\text{ф}}$ – об'єм факелу розпилу, м³;

$\rho_{\text{ф}}$ – об'ємний заряд повітря у факелі розпилу під час розпилювання, Кл/м³.

Якщо врахувати, що ступінчаста зміна об'ємної витрати розпилюваного препарату викликає миттєву зміну об'ємного заряду у факелі, то на основі цього можна записати

$$\rho_{\text{ф.о.}} + \frac{(Q+\Delta Q) \cdot q \cdot t}{V_{\text{ч}} \cdot V_{\text{ф}}} = \rho_{\text{ф}} + \Delta \rho_{\text{ф}}, \quad (3.10)$$

З виразу (3.10) віднімемо вираз (3.9) і в результаті отримаємо

$$\frac{\Delta Q \cdot q \cdot t}{V_{\text{ч}} \cdot V_{\text{ф}}} = \Delta \rho_{\text{ф}}, \quad \Delta \rho_{\text{ф}} = k_p \cdot \Delta Q, \quad (3.11)$$

де ΔQ – зміна об'ємної витрати препарату, м³/с;

$\Delta \rho_{\text{ф}}$ – зміна величини об'ємного заряду у факелі розпилу, Кл/м³;

k_p – коефіцієнт передачі електрзарядного розпилювача, $\frac{\text{Кл}}{\text{м}^3} / \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$.

В умовних одиницях вираз (3.11) запишеться як

$$\Delta \overline{\rho_{\text{ф}}} = k_{\text{БМ}} \cdot \Delta \overline{Q}, \quad (3.12)$$

де $\Delta \overline{\rho_{\text{ф}}} = \frac{\Delta \rho_{\text{ф}}}{\rho_{\text{ф.о.}}}$;

$\Delta \overline{Q} = \frac{\Delta Q}{Q_0}$;

$k_{\text{БМ}} = k_p \cdot \frac{Q_0}{\rho_{\text{ф.о.}}}$.

Звідки передатна функція виконавчого механізму

$$W_{\text{БМ}}(p) = k_{\text{БМ}}. \quad (3.13)$$

У вирази (3.11) та (3.13) входить величина об'єму факела розпилювання, визначити яку можна, розрахувавши інтеграл по об'єму

$$V_{\phi} = \iiint_V dV = 2 \int_0^{\pi} d\varphi \int_{\frac{\pi-\varphi}{2}}^{\frac{\pi+\varphi}{2}} d\theta \int_R^{R+H} r^2 \sin \theta dr. \quad (3.14)$$

де φ – кут факелу розпилу, рад.;

R – радіус диска розпилювача, см.;

H – радіус факела розпилу, см.

3.3.3. Вибір програмованого логічного контролера системи керування

Для керування перетворювачами частоти та іншим технологічним обладнанням згідно із завданням на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи обраний програмований логічний контролер MODICON TM238LFDC24DT Schneider Electric (рис. 3.7).

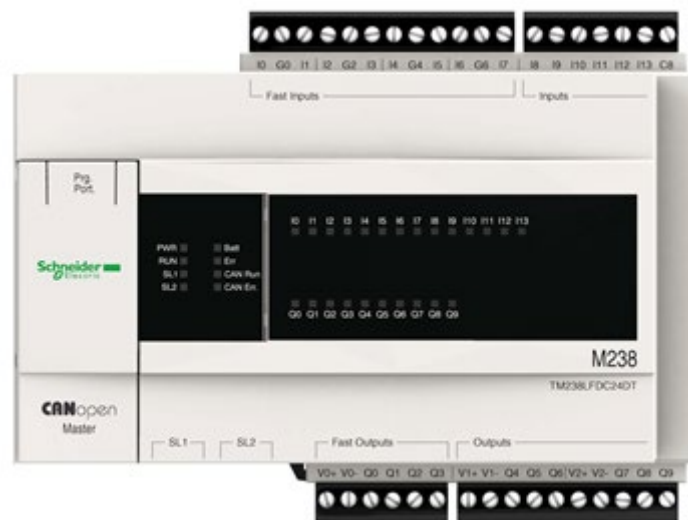


Рис. 3.7. Програмований логічний контролер
MODICON TM238LFDC24DT Schneider Electric

Контролер MODICON TM238 – це універсальний модульний програмований контролер для вирішення задач автоматичного керування низького та середнього ступеня складності. Ефективному використанню контролерів сприяє наявність широкої гами центральних процесорів, модулів

вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних і комутаційних модулів, модулів блоків живлення та інтерфейсних модулів.

Основні технічні характеристики ПЛК MODICON TM238 наведені в таблиці 3.3.

Для підключення датчиків об'ємного заряду повітря із уніфікованим вихідним сигналом 0-20 В використовується модуль розширення аналогових входів TM2AMM6HT Schneider Electric (рис. 3.8), розроблений для збільшення технічних можливостей ПЛК різних типів компанії Schneider Electric, зокрема MODICON TM238.



Рис. 3.8. Модуль розширення аналогових входів TM2AMM6HT

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики ПЛК MODICON TM238LFDC24DT

Напруга живлення	24 В постійного струму
Допустимі межі напруги живлення	19,2...28,8 В
Споживана потужність	17,2 Вт
Кількість дискретних входів/виходів	24
Кількість дискретних входів	8 швидкодіючих входів за EN/МЭК 61131-2 (тип 1) 6 входів за EN/МЭК 61131-2 (тип 2)
Напруга дискретних входів	24 В постійного струму
Кількість дискретних виходів	4 швидкодіючих виходів за EN/МЭК 61131-2 (тип 1) 6 виходів за EN/МЭК 61131-2 (тип 2)
Напруга дискретних виходів	24 В постійного струму
Пам'ять	Вбудована 1000 кБ
Напруга живлення датчиків	19,2...30,0 В
Струм дискретного входу	8 мА – швидкодіючий вхід 10,4 мА звичайний вхід
Струм дискретних виходів	500 мА швидкодіючий вихід (нормальний режим) 100 мА швидкодіючий вихід (режим ШІМ, режим РТО)
Час відклику	300 нс швидкодіючий вхід 3 мс звичайний вхід 0,25 мс швидкодіючий вихід < 1 мс звичайний вихід
Швидкість передачі даних CANopen	50 Кбіт/с (1000 м) 125 Кбіт/с (500 м) 250 Кбіт/с (250 м) 425 Кбіт/с (125 м) 800 Кбіт/с (50 м) 1000 Кбіт/с (20 м)
Робоча температура навк. середовища	-10...+55°C
Відносна вологість	95% без утворення конденсату
Ступінь захисту	IP20

3.3.4. Вибір частотного перетворювача

У САК розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику в якості пристрою для керування електродвигунами приводу ротаційних дискових аерозольних генераторів АГ-1 вибраний частотний перетворювач серії **Altivar ATV312** фірми **Schneider Electric** (рис. 3.9).

Промисловий перетворювач частоти Altivar ATV312 відноситься до серії продуктів Altivar Process ATV300 компанії Schneider Electric і розроблений для керування моментом обертання, плавного пуску та зупинки синхронних та асинхронних трифазних електродвигунів. Перетворювач частоти Altivar ATV312 використовується у різних галузях промисловості та сільського господарства: у нафтогазовій, металургії, харчовій, у системах водопостачання та водовідведення, у вентиляційних системах.

Ці перетворювачі оснащені вбудованим модулем реалізації ПІД-алгоритму керування.

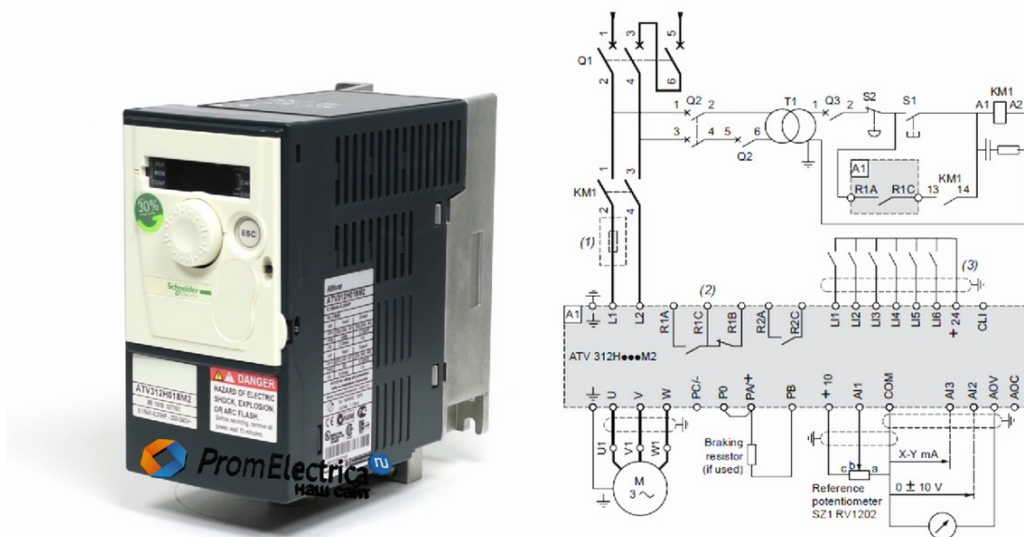


Рис. 3.9. Зовнішній вигляд перетворювача частоти
Altivar ATV312 фірми Schneider Electric

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.

Технології, реалізовані у частотних перетворювачах типу Altivar ATV312, роблять дану серію однією з самих досконалих розробок в даному класі. Серія ATV312 охоплює діапазон потужності від 0,18 до 75 кВт.

Можливості перетворювача Altivar ATV312:

- 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 ПД-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 інтерфейс RS-485 зв'язку з ПК (швидкість обміну даними складає до 19500 бод).
- види захисту електродвигуна або групи двигунів:
- вимикання при перевищенні крутного моменту;
- захист від перевантаження, обриву/перекосу фаз;
- захист від перегріву;
- захист від коротких замикань.

У перетворювач частоти вбудована функція "Stop&Go", яка зменшує споживання електроенергії у режимі очікування до 60%.

Altivar ATV312 дозволяє не тільки вимірювати кількість спожитої електроенергії із похибкою менше 5%, але і проконтролювати відхилення енергоспоживання системи від номінальних значень. Причому розрахунок витрати спожитої енергії перетворювач частоти ATV312 виконує без додаткового датчика і у тих одиницях вимірювання, що вибрані користувачем.

Наявність вбудованого порту Ethernet дозволяє швидко отримати доступ до параметрів налаштування і конфігурації ATV312.

Потужність перетворювача частоти, або необхідна їх кількість для живлення усіх електродвигунів приводу, визначається за таблицею 3.4.

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики моделей перетворювачів частоти
типу Altivar ATV312 фірми Schneider Electric

Номер за каталогом	Потужність, кВт	Струм в усталеному режимі, А	Перевантаження за струмом, 60 сек., А	Габарити, ВхШхГ	Маса, кг
ATV312H018N3	0,18	0,5	0,7	143x107x150	2
ATV312U15N4	1,50	3,7	4	143x107x150	2
ATV312U22N4	2,20	5,1	5,6	143x107x150	2
ATV312U30N4	3	7,2	7,9	184x142x150	3,350
ATV312U40N4	4	9,1	10	184x142x150	3,350
ATV312U55N4	5,5	12	13,2	184x142x150	3,350
ATV312U75N4	7,5	16	17,6	232x180x170	6,450
ATV312HD11N4	11	22,5	24,8	232x180x170	6,450
ATV312HD15N4	15	30,5	33,6	232x180x170	11,650
ATV312HD18N4	18,5	37	40,7	330x245x190	11,650
ATV312HD22N4	22	43,5	47,9	330x245x190	26,400

Оскільки для електродвигуна приводу аерозольного генератора використовується асинхронний трифазний електродвигун 6IK180W-S3-A1(A2)-М потужністю 0,18кВт, згідно з табл. 3.4 необхідно використати перетворювач Altivar ATV312H018N3.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РОБОТИ САК

Як було зазначено у попередньому розділі, для керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику необхідно використати алгоритм керування позиційної дії.

На рис. 4.1. зображена статична характеристика загальної нелінійної ланки системи керування розпилюванням лікарських препаратів у пташнику.

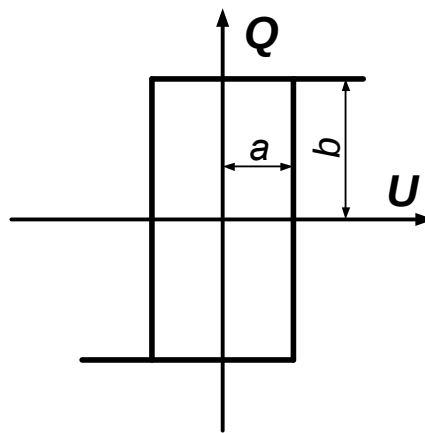


Рис. 4.1. Статична характеристика двопозиційного регулятора системи керування розпилюванням лікарських препаратів у пташнику

Побудуємо амплітудно-частотну характеристику (рис. 4.2) пташника-бройлерника, скориставшись для цього виразом

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(T_1^2 \cdot \omega^2 + 1) \cdot (T_2^2 \cdot \omega^2 + 1)}}. \quad (4.1)$$

Якщо припустити, що лінійна частина системи не пропускає вищих гармонік автоколивань і є фільтром низьких частот, то у відповідність із загальною статичною характеристикою нелінійної ланки (рис. 4.1) її передатна функція матиме наступний вигляд (метод гармонічної лінеаризації)

$$W_{\text{НЧ}}(p) = \frac{4 \cdot b}{\pi \cdot A^2} \cdot (\sqrt{A^2 - a^2} - \frac{a}{\omega} p), \text{ при } A \geq a \quad (4.2)$$

де A і ω – амплітуда і частота автоколивань відповідно.

Значення A і ω знаходяться за наступних умов:

- рівень регульованої величини $\rho = 160 \cdot 10^{-10}$ Кл/м³;
- зона неоднозначності $2a = 1$ В (керуючий пристрій налагоджується за рис. 3.4 та 3.5.

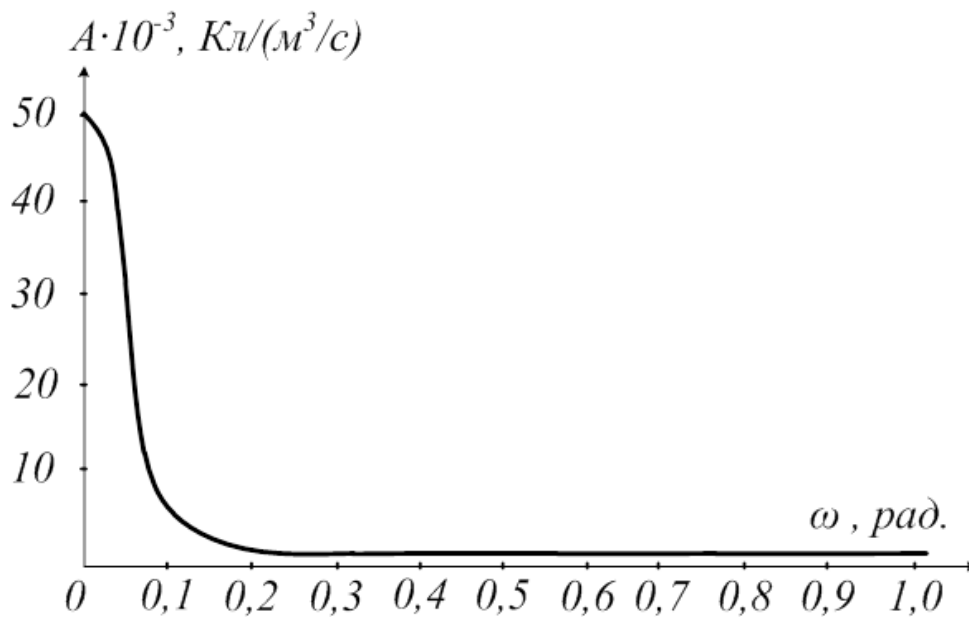


Рис. 4.2. Амплітудно-частотна характеристика пташника-бройлерника

Використавши графо-аналітичний метод, можна визначити амплітуду і частоту автоколивань, які після відповідних розрахунків дорівнюватимуть для нашого випадку

$$\omega = 0,035 \text{ рад/с}, \quad A = 24,16 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^3.$$

Як бачимо, відхилення регульованої величини від заданого рівня ($\rho = 160 \cdot 10^{-10}$ Кл/м³, що відповідає приблизно концентрації препарату у повітрі 2-3 мг/м³) складає $\pm 15,1\%$, тобто менше $\pm 20\%$ за зооветеринарним вимогам. Таким чином, автоматична система забезпечує необхідну точність регулювання. Графік автоколивань зображений на рис. 4.3.

Знаючи частоту періодичного рішення ω , визначимо можливість використання методу гармонічної лінеаризації для нашого випадку (рис. 4.2). Як бачимо, при частоті автоколивань, що дорівнює 3ω (по амплітудно-частотній характеристиці для об'єкта керування), амплітуда коливань близька до 0. Тобто, інерційний елемент (виробниче приміщення пташника) вищих гармонік не пропускає. Відповідно, на вході нелінійної ланки коливання будуть близькими до синусоїдальних і дослідження можна проводити із використанням методу гармонічної лінеаризації.

Перевірка системи автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику на стійкість проводилася за аналітичним критерієм [13]. Розрахунки показали, що для знайдених параметрів аналітичного рішення (автоколивань) система є стійкою.

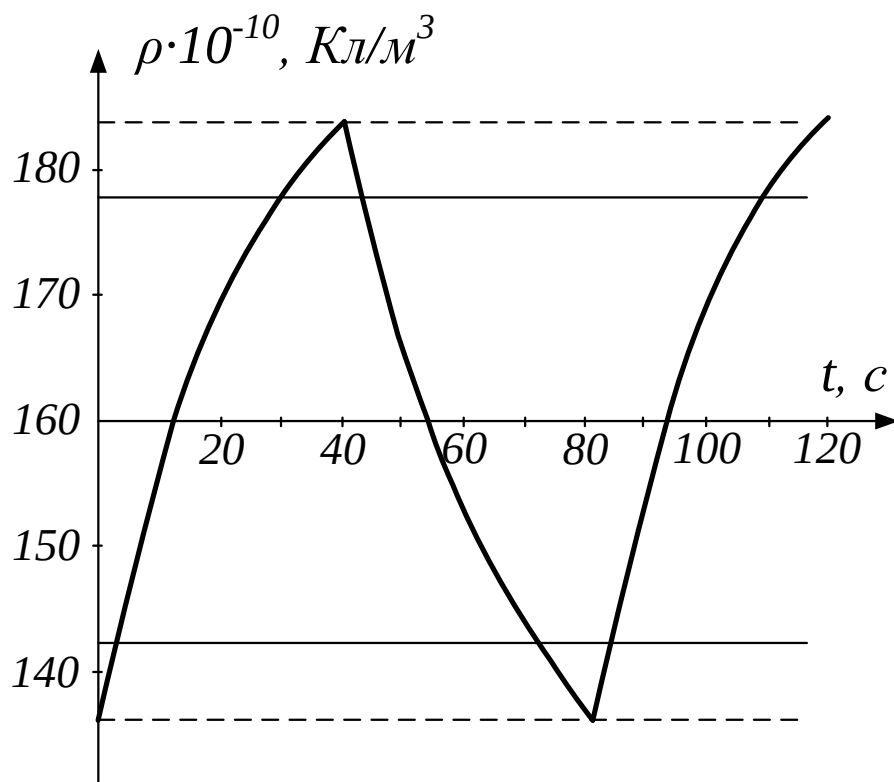


Рис. 4.3. Автоколивання системи автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику

Схема електрична принципова системи керування розпилювання лікарськими препаратами зображена на листі 2 та 3 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

На листі 2 зображене приєднання електродвигунів **M1** та **M2** приводу ротаційних дискових аерозольних генераторів АГ-1 до частотних перетворювачів **U1** та **U2**.

На листі 3 зображене підключення датчиків об'ємного заряду повітря **D1.3** та **D1.4** через модуль розширення аналогових входів **D1.2** до програмованого логічного контролера **D1.1**, а також живлення пристроїв електризації аерозолі **U3** та **U4**.

5.2. Вибір апаратури захисту та керування

За електричною принциповою схемою САК розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику, для керування та захисту використовується наступне обладнання:

- для пуску, зупинки та захисту перетворювачів частоти **U1** та **U2**, і, відповідно, електродвигунів **M1** та **M2** від струмів короткого замикання використовується автоматичні вимикачі **QF1**, **QF2** та електромагнітні пускачі **KM1** та **KM2**;

- для подачі живлення і захисту від струмів короткого замикання пристроїв електризації аерозолію **U3** та **U4** використовуються автоматичні вимикачі **QF3** та **QF4**;
- для захисту кола керування, зокрема, програмованого логічного контролера, від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач **QF5**;
- у колі керування встановлені кнопкові пости керування, проміжні реле, лампи світлової сигналізації.

Вибір автоматичних вимикачів. Вибираючи автоматичний вимикач для захисту електродвигуна, слід дотримуватися таких умов:

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

$$U_{ав} \geq U_{м}; \quad (5.1)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його:

$$I_{ном.ав.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.2)$$

- номінальний струм теплового й електромагнітного розчіплювачів має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його з подальшим регулюванням струму неспрацювання теплового розчіплювача на номінальний струм електродвигуна:

$$I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.3)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менш як 1,5...1,6 від пускового струму електродвигуна:

$$I_{від.розч.} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}; \quad (5.4)$$

При виборі автоматичного вимикача для захисту ПЛК та кола керування, 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 робочий струм ПЛК та кола керування

$$I_{H.AB} > I_{K.KEP}, \quad (5.6)$$

- номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм ПЛК та кола керування

$$I_{H.ROZCH} > I_{K.KEP}; \quad (5.7)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менше 1,5...1,6 робочого струму ПЛК та кола керування

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5...1,6) \cdot I_{K.KEP}. \quad (5.8)$$

Вибір електромагнітних пускачів. Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

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

$$U_{H.EП} \geq U_{Ж}; \quad (5.9)$$

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

$$I_{H.EП} \geq I_H; \quad (5.10)$$

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

$$U_{H.KOT} \geq U_{KEP}. \quad (5.11)$$

- 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.

Вибір проміжних реле. Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола керування:

$$U_{H.РЕЛЕ} \geq U_{K.УПР}; \quad (5.12)$$

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

$$I_{H.РЕЛЕ} \geq I_{K.УПР} ; \quad (5.13)$$

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

За вказаними умовами та згідно з технічними характеристиками обладнання системи автоматичного керування вибране наступне обладнання (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1.

Відомість електротехнічного обладнання

Поз. позначен ня	Назва	Кіль- кість	Примітки
QF1-2	Вимикач автоматичний GV2ME05	2	3п
QF3-5	Вимикач автоматичний iK60N	3	2п
M1-2	Електродвигун розприскувача ліків	2	0,18 кВт
U1-2	Частотний перетворювач ATV312H018MB	2	0,18 кВт
U3-4	Іонізатор системи розпилення ліків	2	
KM1-4	Пускач електромагнітний LC1D65AM7	4	
D11	Модульний ПЛК Mobicon M238 TM238LFDC24DT	1	
D12	Модуль розширення TM2AMM6HT	1	
D13-4	Датчик електричного поля	2	
KL1-5	Проміжне реле MY4-NS 24V DC	5	
G	Блок живлення 220 VAC / 24 VDC	1	
YA1	Клапан електромагнітний прямої дії	1	
SB1-2	Кнопка "Старт-Стоп" ZB5 AV833743	2	NQ, NC
SB3-6	Кнопка без фіксації "Старт" зелена ZB5 AA33	4	NO
SA1	Перемикач з нульовим положенням XB5AD33	1	
HL1-5	Лампа сигнальна червона A22-RLF-RT 220 В	5	
HL6-9	Лампа сигнальна зелена AD22-22DS 24 В	4	
R1-3	Резистор 2 кОм	3	
R4	Резистор змінний 2 кОм	1	

5.3. 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

$$I_{тр.доп} \geq I_{розр}, \quad (5.14)$$

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

$$I_{розр.дв} = \frac{10^3 P_{н.дв}}{\sqrt{3} U_n \eta_n \cos \varphi_n}. \quad (5.15)$$

Тривало допустимий струм електродвигуна приводу дискового ротаційного аерозольного генератора потужністю 0,18 кВт

$$I_{розр.дв} = \frac{1000 \cdot 0,18}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,85} = 0,37 \text{ А.}$$

Враховуючи умову (5.15) та відповідні розраховані значення тривало допустимих струмів, для підключення частотного перетворювача із електродвигуном приводу аерозольного генератора вибираємо кабель КВВГ 4х1,5 (ГОСТ 16442-70) – провід з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, перерізом струмопровідних жил 1,5 мм², тривало допустимий струм якого дорівнює 27 А. Кабель прокладається в трубі.

Марки інших проводів. Вибраних за наведеними умовами, зазначені на електричній схемі підключень, наведеній на листі 5 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування

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.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і табличний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

- щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації;
- прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені рискою навпіл; цифри над рискою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються по-панельно зліва направо і зверху вниз), а під

рискою – позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів.

- для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама.

- вивідні затискачі зображують колами, у середині яких показують їхнє заводське маркування; якщо у вивідних апаратів заводського маркування немає, то їх маркують умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними.

- платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (проставляється в колі над рисою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті або на пульті, не показують, а замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі проставляють цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично має бути зв'язаний (позиційне позначення згідно з принциповою схемою) або порядковий номер елемента. Це не загромождає схему лініями зв'язку, що дає змогу її легко читати.

Схема електрична з'єднань САК розпилюванням лікарських препаратів у промисловому пташнику зображена на листі 4, схема електрична підключень та зовнішній вигляд щита керування – на листі 5 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

5.5. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу

Візуалізація - метод подання інформації у вигляді оптичного зображення (наприклад, у вигляді малюнків і фотографій, графіків, діаграм, структурних схем, таблиць, карт і т. д.).

При візуалізації керування використовують такі підходи:

- SCADA SYSTEM (TRACE MODE, Genesis);
- контролер з панеллю оператора;
- контролер з дисплеєм.

Вибір технічних засобів для забезпечення візуалізації залежить від кількості інформації та величини ОК. У разі масштабних об'єктів використовують SCADA-системи.

SCADA - програмний комплекс для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів. SCADA-система дає наочне уявлення процесу і надає, як правило, графічний інтерфейс оператору для контролю і керування.

Враховуючи об'єм технічних засобів, було виконано візуалізацію інтерфейсу оператора за допомогою SCADA TRACE MODE (AdAstrA), яка є одним з рішень автоматизації технологічних процесів (АСУТП), і розроблено автоматизовану систему контролю та керування параметрами розпилювання лікарських препаратів у промисловому пташнику.

Розроблена SCADA-система дозволяє виконувати головні задачі технологічного процесу керування параметрами мікроклімату в пташнику: ефективно керувати та контролювати технологічним процесом; забезпечити високий рівень надійності та безпеки; оптимізувати витрати енергоресурсів; отримувати дані в режимі реального часу; мати доступ до проєкту з будь-якого місця; реалізувати підсистему підтримки прийняття рішень.

Нижче представлено результат роботи.

На головному екрані SCADA-системи (рис. 5.3) відображається весь технологічний процес зі зазначеними показами датчиків (у відповідних одиницях), значення керуючої дії (у відсотках) та статус електродвигунів (ввімкнене / вимкнене). Додатковими кнопками керування можна задавати режим роботи (ручний/автоматичний), задавати налаштування ПІ-регулятора, відображати вікно з графіками температури, відображати вікно аварійних станів, та споживання електричної енергії системою керування.

РОЗДІЛ 6

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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

Розраховують PI за формулою:

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

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 розпилюванням лікарських препаратів у пташнику є:

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

Основні показники для розрахунку економічної ефективності запровадження проекту наведено в таблиці 6.1. При аналізі інвестиційного проекту розраховано наступні показники ефективності:

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

Основні показники ефективності проекту наведені в таблиці 6.2.

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

Таблиця 6.1.

Основні показники інвестиційного проекту

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

Таблиця 6.2.

Показники ефективності впровадження САК розпилюванням лікарських препаратів у промисловому 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

В ході виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи отримані наступні результати:

1. Для отримання уніполярних від'ємно заряджених аерозолів лікарських препаратів доцільно використовувати індукційний спосіб електризації розчинів із використанням відцентрових ротаційних дискових розпилювачів.

2. На дисперсність розпилюваних розчинів медикаментів на їх об'ємний заряд значною мірою впливають такі фактори, як лінійна швидкість обертання диску розпилювача, об'ємна витрата препарату і напруженість прикладеного електричного поля. Для отримання частинок діаметром менше 20 мкм лінійна швидкість обертання розпилювача повинна бути не менше 31 м/с при об'ємній витраті препарату $(2,8 \dots 13,9) \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$. Оптимальна напруженість прикладеного електричного поля вважається 10^3 кВ/м , що забезпечить об'ємний заряд частинок $(1,12 \dots 9,12) \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^3$.

3. У результаті теоретичних досліджень було встановлено, що пташник для вирощування бройлерів із підлоговим утриманням птиці по каналу "зміна об'ємного заряду повітря пташника шляхом внесення певної кількості аерозолію ліків" є аперіодичною ланкою другого порядку із запізненням.

4. Встановлено, що для керування розпилюванням медпрепаратів у пташнику необхідно використати алгоритм керування позиційної дії. Дослідження показників якості регулювання показали, що в системі існують стійкі автоколивання із частотою $\omega = 0,035 \text{ рад/с}$ і амплітудою $A = 24,16 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^3$, що відповідає зооветеринарним вимогам.

5. Для технічної реалізації системи керування згідно із завданням на кваліфікаційну бакалаврську роботу вибраний комплекс технічних засобів компанії Schneider Electric: програмований логічний контролер MODICON

TM238, частотний перетворювач Altivar ATV312. Для вимірювання об'ємного заряду повітря використаний датчик WALCOM FDD-AD.

6. Економічними розрахунками обґрунтована доцільність прийнятих технічних рішень, строк окупності розробленої САК складає 1 рік.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аерозолі у профілактиці інфекційних захворювань сільськогосподарських тварин: мет. рек. / МАП України. – К.:Украгротех, 2002. – 47 с.
2. Бурєєв І.А. Нові універсальні аерозольні генератори САГ-2М і установки для масової імунізації та дезінфекції приміщень і об'єктів ветнагляду // Ветеринарія. – 2008.-№10.-С. 45-46.
3. Бурєєв І.А., Кушнір А.Т., Сливко І.А. Новий генератор аерозолів для дезифекції інкубаторіїв // Птахівництво. – 2011.-№2. – С.66-67.
4. Бурєєв І.А., Бакутов А.В., Кушнір А.Т. Механізація управління аерозольними процесами у ветеринарії // Птахівництво. – 2014.-№2.- С.39-42.
5. Воробйов А.А., Лебединський В.А. Масові способи імунізації. К.: Медицина, 1977. – 255 с.
6. Газотермічне напилення: навч. посібник / під заг. ред. Л.Х. Балдаєва. – 2-е видання. – К.: Урожай, 2013. – 480 с.
7. Грін Х., Лейн В. Аерозолі – пил, дим, туман. К.: «Хімія». 1999. – С. 427.
8. 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.
9. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл. ISBN 966-95995-2-0.
10. Кампе-Немм А.А. Автоматичне двохпозиційне регулювання. К.: Наука, 1997. – С.160.
11. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. / М.О. Корчемний М.О. В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
12. Лебединський В.А. Інгаляційний (аерогенний) метод вакцинації. – К.: Медицина, 2001. – 168 с.
13. Лисенко В.П. Розробка і дослідження схем і технічних засобів для електричного заряджання і розпилювання аерозолів лікарських препаратів у птахівничих приміщеннях: дис. канд. техн. наук: 05.20.02. / Лисенко Віталій Пилипович – Київ: 1978. – 200 с.

14. 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.
15. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: підручник. – К.: "Інтас", 2008. – 330 с.
16. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
17. Нуралієв Е.П., Кошич И.И., Кисельов А.Л. Ефективна дезінфекція повітря і обладнання пташників у присутності птиці // Птиця і продукція птахівництва. – 2013.-№4.-С.54-56.
18. Соколов В.Д., Андреева Н.Л., Соколов А.В., Войтенко В.Д. Рекомендації по раціональному використанню лікарських засобів у птахівництві: методичні вказівки / Київ. – 1996. – 30 с.
19. Соколов В.Д. Антимікробні засоби у птахівництві. – К.: Урожай, 1994. – 174 с.
20. Соколов В.Д. Теорія і практика групового використання лікарських засобів у птахівництві // VETPHARMA / FARM ANIMALS №1, січень 2013. – С.84-86.
21. Довідник електрика / Кісарімов Р. А., - К.: В-во РадіоСофт, 2003. – 320 с.
22. Технічні засоби створення аерозолів дезінфектантів і оцінка їх ефективності / Бурєєв І.А., Кушнір А.Т., Балишев В.М. та ін. // Актуальні проблеми гуманітарних і природничих наук. – 2014.-№9.-С.361-366.
23. Фукс Н.А. Механіка аерозолів. Вісник АН України. К.: 1995. С.352.
24. Эйдельштейн С.І. Основи аерозольної терапії / К.: Медицина. – 2001. – 273 с.
26. Ярих В.С. Аерозолі у ветеринарії / К.:Урожай. – 1992. – 352 с.
27. Утримання і вирощування бройлерів кросу Hubbard. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://hubbardbreeders.com>
28. Концепція неперервної дезінфекції у промисловому птахівництві. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://lubisan.ua/>
29. Засоби створення аерозолів ветеринарних препаратів. Електронний ресурс. Режим доступу: http://vetkuban.com/num2_201606.html?template=print
30. Дезінфекція аерозолями. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://gov.cap.ua/home/65/aris/bd/vetzac/document/11dezaers.html>

31. Каталог продукції – Аерозольні генератори ЦАГ-2 и ЦАГ-1, миючі і дезінфікуючі засоби.
Електронний ресурс. Режим доступу: <https://radugatuman.ua/cag1>
32. Обладнання для вакцинації PULMIS в Україні.
Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://prom.ua/p625790679-obladnannya-dlya-vaktsinatsii.html>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1

Щоденне споживання корму і води птицею із розрахунку на 1 голову

Вік курей, тижнів	Кури м'ясних порід			Кури яєчних порід		
	маса птиці, гр.	корм, гр.	вода, мл.	маса птиці, гр.	корм, гр.	вода, мл.
1	40-90	10	20	40-60	8	15-20
2	180	20	40	100	20	30
3	320	30	50	140	25	40
4	480	40	70	180	30	50
5	700	50	80	260	40	68
6	950	60	100	360	45	80
7	1200	70	110	450	55	90
8	1450	80	120	560	60	100
9	-	-	-	670	65	110
10	1950	85	140	770	70	120

ДОДАТОК Б1

Залежність об'ємного заряду повітря у пташнику
від об'ємної витрати препарату

Напруженість електричного поля E, кВ/м	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3
Об'ємна витрата препарату $Q \cdot 10^{-7}$, м ³ /с	2,8	5,6	8,4	11,2	13,9
Об'ємний заряд $\rho \cdot 10^{-10}$ Кл/м ³ для рухомості (0,001...0,005) $\cdot 10^{-4}$ (м ² /В·с)	173,3	274,9	360,5	435,7	506,7

ДОДАТОК Б2

Залежність об'ємного заряду повітря у пташнику від об'ємного заряду
електроаерозолів ліків у факелі розпилю

ρ_{ϕ} , 10^{-7} Кл/м ³	1,76	1,12	0,45	0,14
ρ , 10^{-7} Кл/м ³	274,9	176,2	72,0	19,8