

« \_\_\_\_\_ »  
(шифр)

**Дослідження свинарника-маточника та розробка САК температурним режимом у літній період**

## АНОТАЦІЯ

Свинарство традиційно посідає перше місце в Україні серед інших галузей тваринництва. Сучасне свинарство характеризується динамічним розвитком і впровадженням енергоекономних технологій. Одним із шляхів інтенсифікації свинарства – комплексна автоматизація трудомістких технологічних процесів.

Актуальність теми. Робота присвячена автоматизації одного із найбільш важливих процесів – автоматизації процесу створення мікроклімату, а саме, створенню необхідного температурного режиму в свинарнику-маточнику в літній період, як одного із найбільш впливових на життєдіяльність тварин.

Мета досліджень – розробити та дослідити систему автоматичного регулювання температури у свинарнику-маточнику в літній період.

Завдання досліджень – вибрати технічні засоби, розробити математичну модель і провести аналіз якості роботи системи автоматичного регулювання температури у свинарнику-маточнику.

Методи досліджень. Використовуються аналітичні рівняння теплового балансу, засоби програмного середовища MathCad, теоретичні методи побудови та аналізу автоматичних систем керування.

Загальна характеристика роботи. Коротко розглянуто стан свинарства в Україні, вплив параметрів мікроклімату на здоров'я і продуктивність тварин, принципи та технічні засоби управління температурним режимом.

Особливу увагу приділено створенню необхідного температурного режиму в свинарнику-маточнику в літній період. Наведені принципи та ефективні технічні засоби для вентиляції та охолодження повітря.

Проведено дослідження свинарника-маточника як об'єкта автоматизації, розроблена математична модель каналу регулювання температури, проведено аналіз нелінійної системи регулювання температури в літній період із позиційним регулятором та показана її працездатність та придатність для регулювання температури у свинарнику.

Вступ.....	3
1. Вплив параметрів мікроклімату в свинарниках на життєдіяльність тварин.....	6
2. Принципи та технічні засоби для створення мікроклімату на підприємствах свинарства.....	10
3. Математична модель каналу регулювання температури у свинарнику-маточнику в літній період.....	17
4. Дослідження моделі регулювання температури у свинарнику-маточнику та побудова передаточної функції.....	20
5. Аналіз системи регулювання температури у свинарнику-маточнику із позиційним алгоритмом керування.....	24
Висновки.....	28
Список використаної літератури.....	29
Анотація.....	30

## ВСТУП

Сучасне свинарство характеризується динамічним розвитком, оволодінням енергоекономними технологіями, збільшенням виробничих потужностей, а також постійним підвищенням продуктивності тварин. Свинарство як національно ідентична галузь в Україні традиційно посідає перше місце серед інших галузей тваринництва [1].

Провідними виробниками свинини в Україні є компанія «АПК-ІНВЕСТ», Глобинський м'ясокомбінат, «Агро-Овен», Бахмутський аграрний союз, Агрокомпанія «Калита», «Галичина-Захід», «Агро-Союз», Агрокомбінат Слобожанський та ін.

Споживання свинини в Україні на одну особу на рівні 18,1 кг, (з яких 4,4 кг даного виду продукції було вироблено іноземними товаровиробниками) є значно нижчим, ніж у розвинених країнах світу. Так, наприклад, у Росії даний показник складає 23,0 кг, в Канаді – 32,4 кг, в Китаї – 36,6 кг, в Польщі – 51,2 кг, в Німеччині – 53,9 кг. За прогнозами ООН, споживання свинини до 2030 р збільшиться на 57%.

Нині більше половини світового поголів'я свиней припадає на Китай. Грандіозних успіхів у свинарстві вдалося домогтися датським фермерам, чия країна за площею трохи більше двох Київських областей щорічно вирощує близько 25 млн. голів свиней.

Незважаючи на деякі несприятливі обставини свинарська галузь в Україні з кожним роком набуває все більшої популярності. Але утримання свиней являє собою досить відповідальне і серйозне заняття, тому що здоров'я і продуктивність тварин безпосередньо залежить від багатьох факторів.

Одним з найважливіших факторів, що впливають на організм тварин поряд з годуванням, є повітряне середовище [2]. Успіх тваринництва

визначається на 60% годуванням, на 20% розведенням і віком і на 20% мікрокліматом і умовами утримання, причому ці параметри значно варіюють.

Мікроклімат сильно впливає на фізіологічні функції організму тварин. Мікрокліматом називають сукупність фізичних параметрів повітряного середовища у приміщенні. Параметрами мікроклімату є температура, відносна вологість, хімічний склад (концентрації газів, пилу), вміст мікроорганізмів, а також рухливість повітря. Параметри мікроклімату являють собою взаємопов'язані фактори, що впливають на обмін речовин, теплообмін, газообмін, фізико-хімічні властивості крові, температуру тіла, їх продуктивність, відтворювальну здатність, загальний стан здоров'я тварин і ін.).

Температура повітря безпосередньо впливає на обмін речовин всіх живих істот. В організмі свиней постійна температура тіла підтримується незважаючи на зміни її у зовнішньому середовищі. При зниженні температури частина енергії корму (до 10% і більше) витрачається на підтримання температури тіла, через це продуктивність свиней знижується і можуть виникнути простудні захворювання, особливо у молодняка.

При підвищенні температури погіршуються поїдання і засвоєння корму, що теж негативно позначається на продуктивності, знижуються відтворювальні функції самців і самок. У приміщеннях необхідно підтримувати температуру повітря в межах оптимальних показників:

- для свиноматок - 16 - 20°C;
- для кнурів, супоросних і холостих свиноматок - 18°C.
- для поросят в перший тиждень - 30 - 28 градусів з подальшим зниженням через щотижня на 2 градуси;
- для свиней на відгодівлі - 14 - 20 градусів.

Несприятливі умови мікроклімату, особливо в холодні періоди року можуть спричиняти у тварин зниження природного захисту організму, імунітету, викликати простудні захворювання.

Порушення технології утримання свиноматок призводять до затримки розвитку ембріонів свиней, народження поросят із низькою живою масою, зниження збереженості, енергії росту відлучених поросят.

Створення комфортних умов – одна із основних складових технології вирощування свиней, оскільки чим більше енергії затрачують тварини на подолання несприятливих факторів (холод, висока температура, відсутність вентиляції, захворювання та ін), тим менше її буде затрачено на отримання приросту живої маси. Крім того, у свиней терморегуляція розвинена слабше, ніж у інших тварин. Оптимальним середовищем для утримання свиней є таке середовище, при якій тварина не витрачає дуже багато енергії для підтримки внутрішньої температури тіла.

Важливо підтримувати не тільки потрібну температуру, але і рівень вологості повітря. При утриманні свиней в свинарнику показник відносної вологості повітря не повинен перевищувати 70-75%. Слід приділяти увагу і циркуляції повітря в приміщенні для утримання свиней. Правильна циркуляція повітря дозволяє не тільки охолоджувати або зігрівати приміщення, а й сприяє очищенню повітря від шкідливих домішок (наприклад, аміаку).

Тому, для створення оптимального температурного режиму, свинарники обладнують сучасними вентиляційними системами і системами обігріву та опалення., при експлуатації яких створюється оптимальний мікроклімат для свиней, а отже, підвищуються кількісні та якісні характеристики стада.

Для подальшого збільшення виробництва свинини першочергову увагу слід зосередити на збереженні та вдосконаленні вітчизняного племінного генофонду. Породовипробування, яке було проведено в

оптимальних умовах дослідного господарства Інституту свинарства в основному на кормах власного виробництва, свині приводили по 10-12 і більше поросят на опорос, які досягали живої маси 100 кг за шість – шість з половиною місяців за середньодобових приростів 689-728 г і за затрат на кожний кілограм приросту 4,28-4,65 к. о.

## 1. Вплив параметрів мікроклімату в свинарниках на життєдіяльність тварин

Сучасне промислове свинарство, що базується на використанні механізації та автоматизації при високій концентрації тварин у виробничих приміщеннях, потребує створення оптимальних умов утримання тварин, які забезпечують повну реалізацію генетичного потенціалу продуктивності свиней, здоров'я та гарне самопочуття працюючого персоналу, а також збереженість обладнання і будівель.

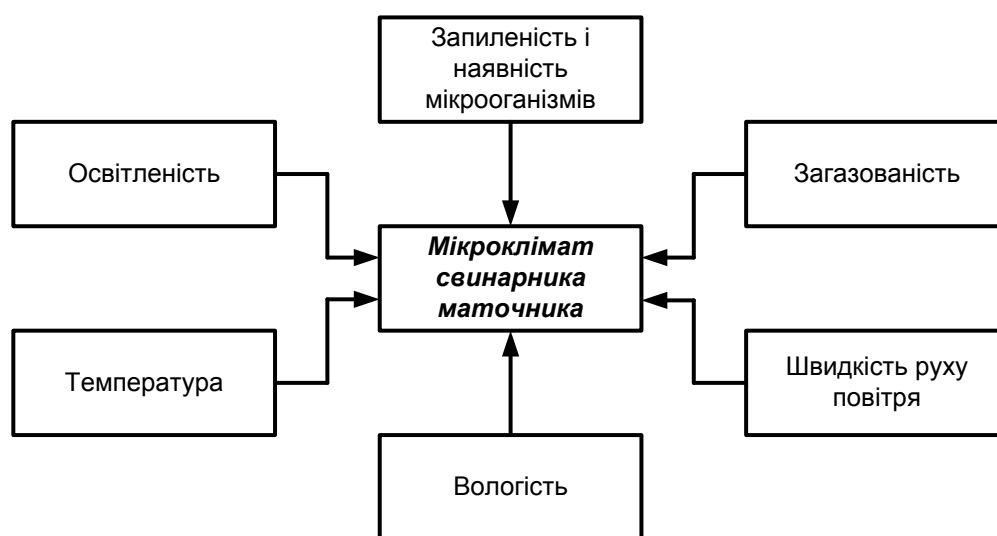


Рис. 1.1. Складові мікроклімату виробничих приміщень сільськогосподарських будівель

Параметри повітря, що впливають на мікроклімат виробничих приміщень, наведені на рис. 1.1.

Найбільший вплив на продуктивність тварин і ефективне використання ними кормів здійснює *температура внутрішнього повітря*. У оптимальному інтервалі температур (табл. 1.1) тварини володіють максимальною продуктивністю при мінімальних витратах кормової енергії. Продуктивність тварин змінюється у межах від 10 до 30% в залежності від параметрів мікроклімату виробничих приміщень. Ступінь цього впливу залежить від виду, породи тварин і способу їх використання.

Таблиця 1.1. Параметри повітря в приміщенні свиноферм

Група тварин	Температура повітря °С			Відносна вологість повітря, %	
	розр	макс	мін	макс	мін
Новонароджені поросята	31	33	30	60	55
Поросята вагою до 7кГ	25	26	24	70	40
	до 25кГ	20	22	70	40
Поросята на дорощуванні 25-45кГ	18	20	15	70	40
Відгодівля 45-100кГ (без підстилки)	18	20	14	70	40
Матки супоросні	16	19	13	70	40
Матки підсисні	20	22	16	70	40

Одним з найважливіших параметрів мікроклімату є *швидкість руху повітря* біля тварин, яка відіграє суттєве значення в забезпеченні комфортних умов. Рухомість повітря як фактор мікроклімату може бути віднесена до параметрів, що впливають на терморегуляцію тварини, тому при різних умовах її дія також є різною, табл. 1.2. Оскільки у всіх випадках значна рухомість повітря викликає відповідно більшу тепловіддачу, її при низьких температурах слід обмежувати.



Таблиця 1.2. Гранична допустима швидкість руху повітря в зоні розміщення свиней [4]

Приміщення	При мінімальній температурі, м/с	При максимальній температурі, м/с
Свинарники-маточники, приміщення для важкопоросних свиней	0,15	0,4
Свинарники-відгодівельники, приміщення для кнурів та легкопоросних маток	0,3	1,0
Свинарники для відлучених поросят	0,2	0,6

Вплив на продуктивність тварин *відносної вологості повітря* необхідно розглядати лише із зв'язком з температурою, оскільки вона впливає на терморегуляцію організму. Сучасними дослідженнями встановлено, що при температурах повітря 10-22°C коливання відносної вологості в межах 50-90% не спричиняють безпосереднього впливу на продуктивність тварин. При більш низьких температурах вологість вище 85% спричиняє негативний вплив.

Висока відносна вологість повітря сприяє швидкому поширенню інфекційних захворювань.

Низький рівень вологості (менше 40%) викликає подразнення слизових оболонок ока та дихальних шляхів, посилення спраги, погіршення апетиту та засвоєння корму, порушення мінерального обміну та засвоєння вітамінів. Побічним результатом низької вологості повітря є підвищення запиленості повітря, що призводить до респіраторних захворювань.

Газовий склад повітря виробничих приміщень впливає на обмін речовин, продуктивність тварин та їх опірність захворюванням.

*Запиленість* та забрудненість повітря приміщень бактеріями спричиняє несприятливий вплив на технологічне та опалювально-вентиляційне обладнання. Крім того, органічний пил є переносником

хвороботворних мікробів. Встановлено, що при переході на безпідстилке утримання тварин кількість пилу в повітрі знижується.

*Загазованість повітря.* Повітря закритого тваринницького приміщення за своїм хімічним складом за рахунок виділення різних газів від дихання тварин та розкладання гною відрізняється від навколишнього. З повітрям, що видихається твариною, виділяється велика кількість вуглекислого газу, а кисень поглинається. За рахунок процесів, що протікають у гної, у повітря виділяється значна кількість аміаку, вуглекислого газу, сірководню та інших газових домішок з неприємним запахом. При тривалому перебуванні тварин в середовищі з підвищеним вмістом шкідливих газів у них можуть з'явитися різні відхилення та розлади обміну речовин.

Основними шкідливими газовими домішками у повітрі тваринницьких приміщень прийнято вважати вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), аміак ( $\text{NH}_3$ ) та сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), допустимі концентрації яких вказані в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Допустимі концентрації газів та пилу в повітрі свинарників [4]

Вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), л/м <sup>3</sup>		Аміак ( $\text{NH}_3$ ), мг/л		Сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), мг/л		Пил, мг/м <sup>3</sup>
тривало	коротко- часно	тривало	коротко- часно	тривало	коротко- часно	
2,5	3,5	0,02	0,03	0,01	0,015	3,5

Дослідження *освітленості* тваринницьких приміщень дозволили виявити залежність від неї зростання і розвитку тварин, фізіологічного обміну речовин та засвоєння кормів. Природне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, знижує долю нещасних випадків, втомлюваність та кількість помилок обслуговуючого персоналу.

Умови природного освітлення оцінюються за допомогою *коефіцієнта природної освітленості* (КПО), який являє собою відсоткове

співвідношення природної освітленості, що утворюється в деякій точці заданої площини в середині приміщення до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, що утворюється світлом повністю відкритого небосхилу.

Для приміщень свинарських підприємств використовується геометричний метод нормування, що полягає у визначенні співвідношення площі світлопроникних розрізів до площі підлоги. В приміщеннях для утримання кнурів-виробників, важкопоросних та підсисних свиноматок, а також відлучених поросят це співвідношення приймають рівним 1:10-1:12, у приміщеннях для утримання холостих та поросних маток і ремонтного молодняка – 1:12-1:15, у приміщеннях для утримання відгодівельних свиней – 1:15-1:20.

Тривалість світлового дня також впливає на продуктивність тварин. Подовжити світловий день, при необхідності, можливо, використовуючи штучне освітлення. При цьому повинні дотримуватись вимоги відносно напрямку падіння світла, тіні, попередження засліплення тварин, рівномірності освітлення.

## **2. Принципи та технічні засоби для створення мікроклімату на підприємствах свинарства**

На відміну від технічного забезпечення вентиляції та обігріву приміщень на свинокомплексах минулого сторіччя, в проектах сучасних підприємств оптимальний мікроклімат забезпечують локально, у відповідності до фізіологічних вимог тварин безпосередньо у зоні їх розташування.

**Вентиляція приміщень.** Найбільшого розповсюдження отримали системи примусової вентиляції, які не залежать від метеорологічних умов

та дозволяють автоматизувати процес створення мікроклімату в приміщенні.

На сучасних свинофермах промислового типу використовуються три основні типи вентиляції: *від'ємного, рівного* та *надлишкового* тиску.

Кожен з них має варіанти по установці різного роду обладнання.

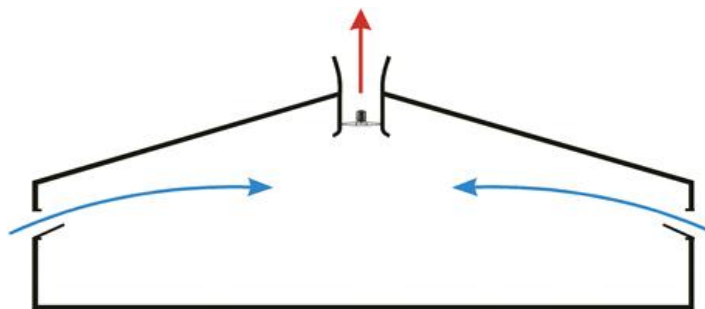


Рис. 2.1. Схема системи вентиляції від'ємного тиску

Найбільш економічною та достатньо ефективною є система вентиляції від'ємного тиску всередині приміщення з використанням впускних стінних клапанів для повітря, витяжних дахових шахт та комп'ютера кліматконтролю (рис. 2.1.). Для захисту від пікових літніх температур під клапанами встановлюються труби з форсунками для розпилення води, що дозволяє знизити температуру припливного повітря на 5-7°C. Така система добре зарекомендувала себе у приміщеннях для утримання холосто-супоросних свиноматок, кнурів та тварин на відгодівлі, але у секціях для опоросу та дорощування внаслідок утворення підвищеної рухомості повітря не використовується.

У свинарниках-маточниках широко використовується тип вентиляції від'ємного тиску з використанням так званої перфорованої стелі (рис. 2.2), оскільки при цьому знижений ризик утворення протягів і забезпечується рівномірний розподіл повітря по всьому об'єму приміщення.

Перфорована стеля виготовляється з різних матеріалів, але її головною особливістю є низька теплопровідність з одного боку, і проникність повітря з іншого.

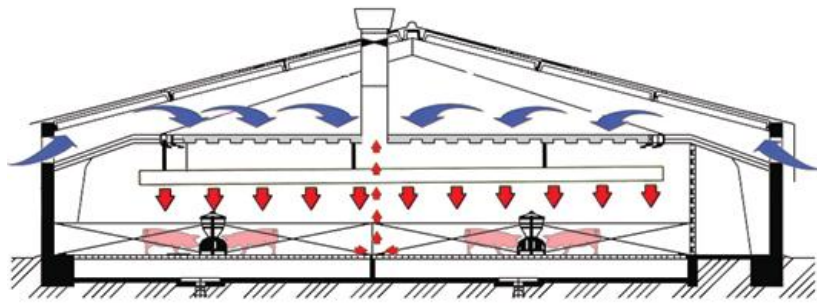


Рис. 2.2. Схема системи вентиляції від'ємного тиску з використанням перфорованої стелі

Забір повітря здійснюється за допомогою керованих клапанів або припливних вікон, закритих повітрязахисним щитом. У секції стеля обладнується на певній висоті панелями з перфорацією. Над перфорацією вкладається утеплювач. Влітку передбачено використання дахових припливних кватирок. Над проходом вздовж секцій монтуються направляючі коробки, що використовуються для подачі повітря. Потрапляючи на горище, повітря проходить через шар утеплювача та перфоровані отвори і починає повільно опускатись вниз, одночасно змішуючись з теплим повітрям і рівномірно розподіляючись об'ємом секції. Витяжка повітря здійснюється через витяжну шахту (рис. 2.3), обладнану вентиляторами. Витяжні шахти працюють в режимі "Мультистеп", що дозволяє значно економити електроенергію.



Рис. 2.3. Витяжна шахта VBV-710

Як надійну альтернативу даному типу вентиляції в приміщеннях для опоросу та дорощуваннях використовується тип вентиляції рівного тиску (рис. 2.4) з використанням дахових припливних та витяжних шахт з утепленням покрівлі.

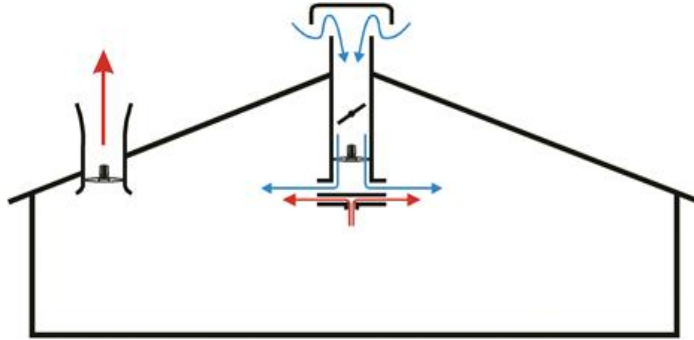


Рис. 2.4. Схема системи вентиляції рівного тиску

Ризик з неадекватного повітрообміну в цьому випадку радикально мінімізований, надійність системи підвищується, але й збільшуються витрати на обладнання на 10-15% внаслідок високої технологічності та вартості припливних шахт. При такій вентиляції виключений ризик протягів, потрапляння холодного повітря на поросят, роботи по монтажу обладнання зведені до мінімуму. Для створення у свинарниках-маточниках типу вентиляції рівного тиску використовуються припливні шахти DA40, оснащені вентиляторами, та витяжні шахти DA600 (рис. 2.5).

Повітря, потрапляючи через шахту DA40, не спадає суцільним потоком на тварин, а через направляючі пластини рівномірно розподіляється по всій площі секції, поступово осідаючи та змішуючись з теплим повітрям приміщення. Для покращення змішування шарів повітря в припливній шахті DA40 встановлений підмішуючий вентилятор.



а



б

Рис. 2.5. Обладнання для створення системи вентиляції рівного тиску:  
а – витяжна шахта DA600; б – припливна шахта DA40

**Охолодження приміщень.** Будівлі свинарських підприємств внаслідок дії сонячної радіації, високої температури навколишнього повітря та виділення тепла тваринами влітку сильно перегріваються. Через фізіологічні особливості, а саме через відсутність потових залоз свині не пітніють і тому гірше переносять високі температури, ніж низькі. Низькі температури вони можуть компенсувати частковим зменшенням продуктивності і більшим споживанням корму. Через задуху та перегрів поголів'я повільніше росте, у кнурів значно погіршується якість сперми, а свиноматки гірше приходять в охоту, запліднюються та вигодовують поросят. У свиней навіть може статися стрес-синдром, який значно ускладнює роботу всіх систем організму. Також свині не мають шерсті, тому вони чутливі до швидкості руху повітря. У свинарниках необхідно забезпечувати відповідну вологість, бо вона впливає на слизові оболонки. При аналізі умов мікроклімату практики радять використовувати формулу: сума температури та вологості не повинна перевищувати 90.

Для зниження температури повітря, що подається у свинарник-маточник, та для забезпечення необхідної кратності вентиляції, використовують системи кондиціонування. Ефективним способом зниження температури повітря у свинарських приміщеннях є адіабатичне охолодження – зволоження потоків повітря розпиленою під високим тиском

водою. Для цього застосовують зрошувальні установки. У зазначених установках використовують холодну воду з артезіанських свердловин з температурою плюс 5 ... 8°C. Вода подається під певним тиском, розпилюється форсунками з утворенням дрібних крапель.

Якщо температура води буде нижчою за температуру повітря, але вищою температури точки роси, то температура повітря на виході буде знижуватися, а вологовміст збільшуватися.

Якщо температура води буде нижчою за температуру повітря, але нижчою температури точки роси, то буде відбуватися охолодження і осушення повітря.

Якщо температура води буде нижчою за температуру повітря, але рівною точці роси, то станеться охолодження повітря без вологообміну, тобто, без зволоження повітря і без випадання конденсату.

Таким чином, взаємодіючи з повітрям у приміщенні, вода відбирає у нього теплоту, знижуючи температуру повітря на 5 ... 7 ° С.

При цьому важливо забезпечити подачу мінімально потрібного об'єму свіжого повітря – для усунення вологого і обтяженого шкідливими газами повітря в приміщенні. Однак необмежене насичення повітря вологою небажане тому, що у тварин може бути порушений механізм терморегуляції. Ідеальною для утримання свиней є відносна вологість повітря від 60 до 80 %.

Переваги вентиляції із системою зволоження повітря високого тиску наступні:

- швидке охолодження повітря свинарських приміщень;
- ефективне зниження пилоутворення;
- зниження загазованості повітря;
- зменшення обсягу вентиляваного повітря;
- підвищення активності тварин завдяки оптимізації умов утримання;
- оптимальна продуктивність тварин;



- можливість застосування установки як для змочування приміщень, так і для дезінфекції.

Принципова схема типової дворядної горизонтальної (за ходом повітря) камери зрошення (КЗ), яка найбільше поширена у вітчизняній практиці кондиціонування, показана на рис. 2.6. Піддон, дві бокові стінки і стеля утворюють корпус камери. У піддоні 1 за допомогою шарового вентиля 8, який з'єднаний з водопроводом, підтримується необхідний рівень води, надлишок якої видаляється через зливну воронку 2. Всмоктувальний трубопровід насоса з'єднується з фланцем водяного фільтра 9, а нагрівальний трубопровід – з фланцями колекторів 6. На колекторах вертикально розташовані стояки 4 з патрубками, на яких закріплені форсунки 5. Розташування форсунок на стояках виконується таким чином, щоб факели розпилення займали весь поперечний переріз зрошувального простору. На вході повітря в камеру передбачений повітророзподільний пристрій 3, який призначений для рівномірного розподілу повітря у перерізі камери і запобігання розбризкування води. У вихідному перерізі розташований краплевідділюючий пристрій 7 (сепаратор).

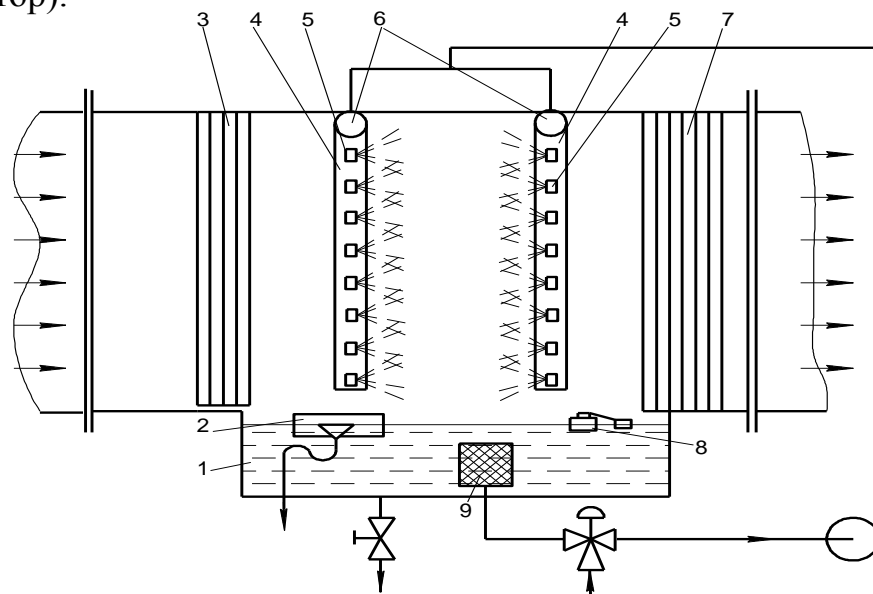


Рис. 2.6. Принципова схема типової дворядної горизонтальної камери зрошення

Масова швидкість повітря ( $\rho_p \cdot W$ ) у поперечному перерізі КЗ обмежується значенням  $3,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Необхідність такого обмеження пояснюється тим, що при  $\rho_p \cdot W > 3,2$  сепаратори, які застосовуються в типових горизонтальних камерах, не забезпечують надійного краплевловлення.

Камери зрошення для центральних кондиціонерів виготовляються трьох типів: ОКФ-3, ОКС1-3 і ОКС2-3. Вони призначені для політропної або адіабатичної термовологісної обробки повітря. Зрошувальні камери ОКФ-3 застосовуються у кондиціонерах КТЦ з подачею повітря від 10 до 250 тис.м<sup>3</sup>/год, а камери ОКС1-3 і ОКС 2-3 – з подачею повітря від 31,5 до 80 тис.м<sup>3</sup>/год. Камери виготовляються у двох модифікаціях, як відрізняються кількістю форсунок. Камери зрошення ОКФ-3 оснащені форсунками ЕШФ 7/10, а камери типу ОКС – форсунками УЦ14-10/15.

### **3. Математична модель регулювання температури у свинарнику-маточнику в літній період**

Зниження температури повітря у свинарнику здійснюється внаслідок випаровування розпиленої холодної води і зростання вмісту вологи у повітрі (реально можна досягти  $\phi=90\dots95\%$ ). З метою запобігання порушення механізму терморегуляції у свиней насичення повітря вологою обмежують значеннями відносної вологості порядку 80%.

При розробці моделі приймемо наближення, що теплофізичні параметри повітря не залежать від температури повітря (у межах похибки).

Складемо рівняння матеріального теплового балансу системи охолодження свинарника-маточника (рис. 3.1).

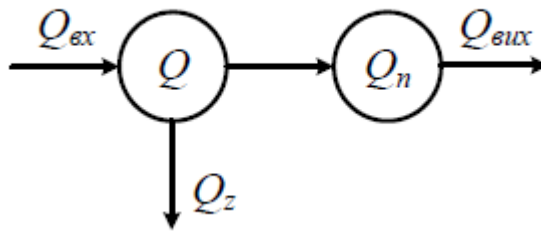


Рис. 3.1. Тепловий баланс при охолодженні повітря у свинарнику-маточнику в статичному режимі

$$Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} - Q_z = 0, \quad (3.1)$$

де:  $Q_{\text{вх}}$  - кількість теплоти, яка поступає у свинарник-маточник з припливним повітрям;

$Q_{\text{вих}}$  - кількість теплоти, яка видаляється із свинарника-маточника з вентиляційним повітрям;

$Q_z$  - кількість теплоти, яка відбирається при випаровуванні вологи.

У динамічному режимі:

$$\frac{dQ_n}{d\tau} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вих}} - Q_z, \quad (3.2)$$

де  $Q_n$  - тепло, яке знаходиться у приміщенні свинарника-маточника.

Введемо позначення величин, табл. 3.1.

Враховуючи, що:

$$Q_n = V_p \rho_p C_p t_3, \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{вх}} = V_w \rho_n C_p t_1, \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{вих}} = V_w \rho_n C_p t_3, \quad (3.5)$$

$$Q_z = V_w \rho_p (I_2 - I_1), \quad (3.6)$$

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

Таблиця 3.1. Параметри повітря та їх умовні позначення

Температура повітря на вході у кондиціонер (температура навколишнього середовища), на виході з кондиціонера, на виході із свинарника-маточника відповідно, °С	$t_1, t_2, t_3$
Вологість повітря навколишнього середовища та на виході кондиціонера, %	$\Phi_1, \Phi_2$
Середня питома теплоємність сухого повітря, Дж/(кг·°С)	$C_p=1005$
Густина повітря, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_p=1,214$
Кількість теплоти, затраченої на випаровування води (приймається рівною значенню середньої питомої теплоємності водяної пари), кДж/(кг·°С)	$C_{pa}=1,97$
Питома теплота пароутворення, кДж/кг	$r_0=2493$
Об'єм повітря у свинарнику-маточнику, м <sup>3</sup>	$V_p=10200$
Об'єм повітря у кондиціонері та повітропроводах, м <sup>3</sup>	$V_k=300$
Витрати вентиляційного повітря у кондиціонері-охолоджувачі, м <sup>3</sup>	$V_w$
Тиск насиченої пари	$P_n$

Підставивши рівняння (3.3-3.6) у рівняння (3.2), отримаємо:

$$\frac{dt_3}{d\tau} = \frac{V_w [C_p t_1 - (I_2 - I_1)]}{V_p C_p} - t_3 \frac{V_w}{V_p}. \quad (3.7)$$

Значення ентальпії сухого повітря знаходимо з рівняння у залежності від температури та вологовмісту в повітрі:

$$I(\varphi, t) = \left[ \left( \frac{C_p}{100} + C_{pa} \frac{d(\varphi, t)}{1000} \right) t + r_o \frac{d(\varphi, t)}{1000} \right] 100, \quad (3.8)$$

де вміст вологи у пароводяній суміші (Г/кг сухого повітря) знаходимо за виразом:

$$d(\varphi, t) = 622 \frac{\varphi P_n(t)}{100 - \varphi P_n(t)}, \quad (3.9)$$

Значення тиску насиченої пари у залежності від температури повітря визначається за емпіричним рівнянням [6]:

$$P_n(t) = \frac{5,3431 + 0,02783t + 0,032213t^2 - 3,4032 \times 10^{-4} \times t^3 + 7,7192 \times 10^{-6} \times t^4}{735,6}. \quad (3.10)$$

Для визначення кількості теплоти (Вт), яку необхідно видалити із свинарника-маточника, використаємо рівняння:

$$Q_z = V_p \rho_p C_p (t_1 - t_3), \quad (3.11)$$

а витрати вентиляційного повітря ( $m^3$ ) для видалення надлишку теплоти із свинарника-маточника визначаємо з виразу:

$$V_w = \frac{Q_z}{(I_2 - I_1) \rho_p}. \quad (3.12)$$

Витрати води на охолодження ( $кг/с$ ) визначаємо у залежності від різниці вологовмісту повітря на вході та виході кондиціонера:

$$G_w = \frac{V_w \rho_p [d(\varphi_2, t_2) - d(\varphi_1, t_1)]}{100}. \quad (3.13)$$

#### **4. Дослідження моделі процесу регулювання температури у свинарнику-маточнику та побудова передаточної функції**

Для побудови розгінної кривої об'єкту автоматизації у програмному середовищі MathCad використаємо функцію **rkfixed**. Програма моделі наведена на рис. 4.1.

Тиск насиченої пари при температурі,

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

PN(t1) = 0.04372  
PN(t2) = 0.02508

Вміст вологи в пароводяній суміші, г/кг с.п.

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

d(φ1, t1) = 6.873  
d(φ2, t2) = 15.179

Ентальпія вологого повітря, Дж/ кг с.п.

$$I(f_i, t) := \left[ \left( \frac{C_p}{1000} + C_{pa} \cdot \frac{d(f_i, t)}{1000} \right) \cdot t + i_0 \cdot \frac{d(f_i, t)}{1000} \right] \cdot 1000$$

I(φ1, t1) = 4.769 × 10<sup>4</sup>  
I(φ2, t2) = 5.958 × 10<sup>4</sup>

Тепло яке треба забрати з свинарника-маточника, Вт

$$Q_z := V_p \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_1 - t_3)$$

Qz = 1.524 × 10<sup>8</sup>

Витрати вентиляційного повітря для вилучення лишньої теплоти, м<sup>3</sup>

$$V_v := \frac{Q_z}{(I(\phi_2, t_2) - I(\phi_1, t_1)) \cdot \rho_p}$$

Vv = 10351.048

Витрати води на охолодження, кг/с

$$G_w := \frac{V_w \cdot \rho_p \cdot (d(\phi_2, t_2) - d(\phi_1, t_1))}{1000}$$

Gw = 0.412

$$Q_2(\tau, t) := \frac{V_w \cdot [C_p \cdot t_1 - (I(\phi_2, t_2) - I(\phi_1, t_1))]}{V_p \cdot C_p} - t \cdot \frac{V_w}{V_p}$$

t<sub>0</sub> := 30

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

Рис. 4.1. Програма розрахунку розгінної характеристики

Крива розгону свинарника-маточника при регулюванні температури повітря, отримана за результатами математичного моделювання процесу охолодження повітря методом випаровування вологи із використанням кондиціонера зрошувального типу, зображена на рис. 4.2.

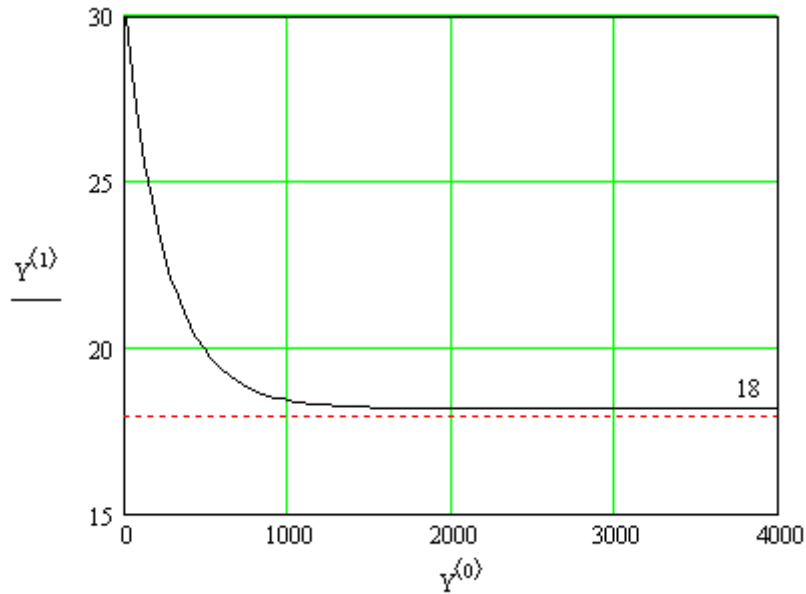


Рис. 4.2. Крива розгону свинарника-маточника при регулюванні температури повітря у літній період

З рівняння (3.7) визначимо постійну часу ( $c$ ) об'єкта автоматизації при регулюванні температури повітря, яка залежить від продуктивності вентилятора:

$$T_{oy} = \frac{V_p}{V_w}, \quad (4.1)$$

а час транспортного запізнення по вказаному каналу визначимо як відношення:

$$\tau_{oy} = \frac{V_k}{V_w}, \quad (4.2)$$

які склали  $T_{oy} = 255$  с, а  $\tau_{oy} = 7,5$  с.

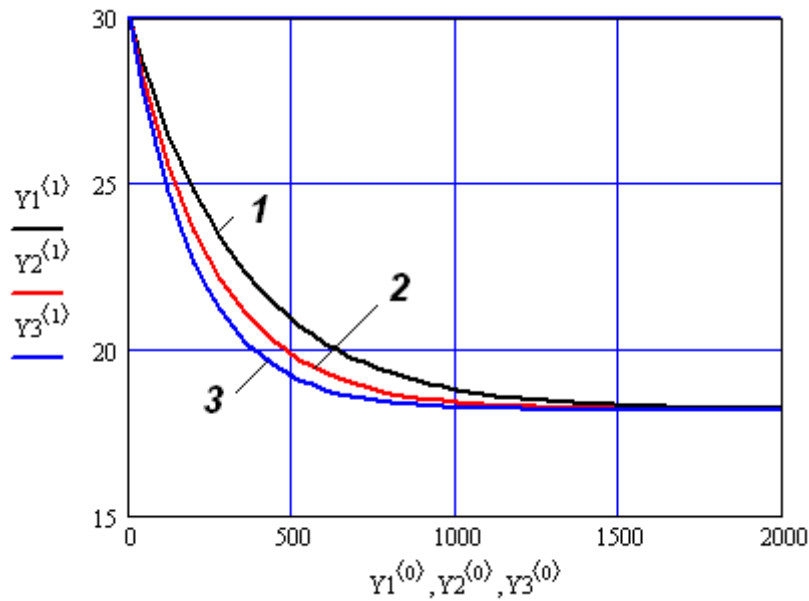


Рис. 4.3. Криві розгону свинарника-маточника при регулюванні температури повітря у залежності від продуктивності вентилятора кондиціонера (без врахування транспортного запізнення):

$$1 - V_w = 30 \text{ м}^3/\text{с}; 2 - V_w = 40 \text{ м}^3/\text{с}; 3 - V_w = 50 \text{ м}^3/\text{с}.$$

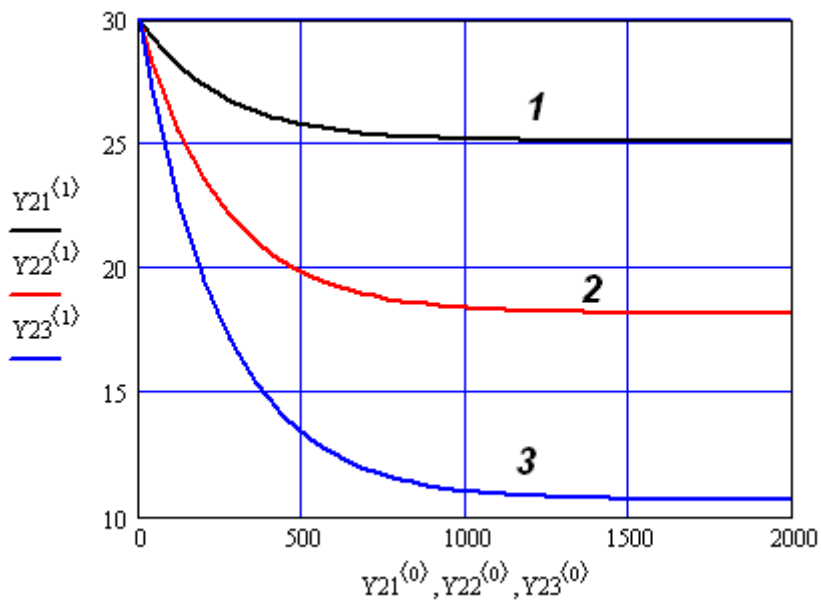


Рис. 4.4. Криві розгону свинарника-маточника при регулюванні температури повітря у залежності від температури повітря на виході кондиціонера (без врахування транспортного запізнення)

$$1 - t_2 = 19 \text{ °C}; 2 - t_2 = 21 \text{ °C}; 3 - t_2 = 23 \text{ °C}.$$



За результатами дослідження моделі процесу регулювання температури повітря можна зробити наступні висновки:

- зменшення продуктивності вентилятора у кондиціонері (зменшення значення  $V_w$ ) призводить до збільшення постійної часу  $T_{oy}$  та часу транспортного запізнення  $\tau_{oy}$  (рис. 4.3), При цьому зростає час регулювання, але зменшуються витрати води на охолодження повітря.

- збільшення температури повітря на виході кондиціонера за рахунок його підігріву калорифером сильно впливає на температуру у приміщенні свинарника (рис. 4.4). Це пояснюється тим, що зростання вихідної температури калорифера призводить до підсилення ефекту випаровування води при розбризкуванні.

Коефіцієнт передачі свинарника-маточника визначається за різницею теплових витрат, які необхідні для зміни температури повітря в приміщенні.

Коефіцієнт передачі свинарника-маточника, рис. 4.4, крива 2:

$$k_{oy} = \frac{30-18}{100} = 0,12 \frac{^{\circ}C}{\%}. \quad (4.3)$$

Тоді з врахуванням результатів розрахунків за формулами (4.1, 4.2) для передаточної функції свинарника-маточника отримаємо вираз:

$$W_{oy}(s) = \frac{0,12}{255 \cdot s + 1} \cdot e^{-7,5 \cdot s}. \quad (4.4)$$

## **5. Аналіз системи регулювання температури у свинарнику-маточнику із позиційним алгоритмом керування**

Для визначення алгоритму керування проаналізуємо співвідношення між постійною часу  $T_{oy}$  та часом запізнення  $\tau_{oy}$  об'єкта керування.

Оскільки згідно розрахунків за (4.1, 4.2) відношення  $\tau_{oy}/T_{oy}$  лежить у межах  $0 < \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} = \frac{7,5}{255} = 0,03 < 0,2$ , то обираємо позиційний закон регулювання [3].

При позиційному законі регулювання статична характеристика регулятора є нелінійною, рис. 5.1, і обумовлює нелінійність диференційного рівняння системи. Аналіз роботи нелінійної системи проведемо методом гармонічної лінеаризації [5].

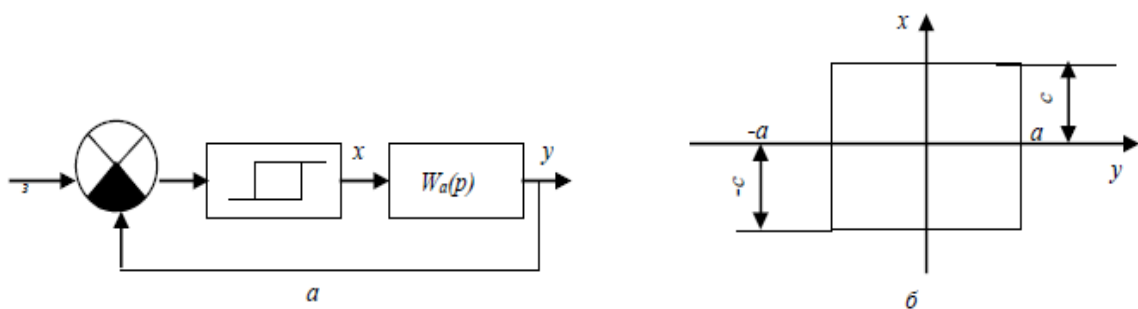


Рис. 5.1. Структурно–алгоритмічна схема позиційної системи керування (а) та статична характеристика нелінійного елемента (б)

Подамо передаточну функцію лінійної частини системи у вигляді (4.4):

$$W_o(s) = \frac{0,12}{255 \cdot s + 1} \cdot e^{-7,5 \cdot s} \quad (5.1)$$

Коефіцієнти гармонічної лінеаризації нелінійної частини системи для двохпозиційного реле згідно [5] запишемо як:

$$q_1(A) = \frac{4c}{\pi A} \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}}, \quad q_2(A) = \frac{-4ac}{\pi A^2}, \quad (5.2)$$

де  $a$  і  $c$  визначаються параметрами статичної характеристики регулятора, рис. 5.1.

Враховуючи (5.2) передаточна функція нелінійної частини системи буде мати вигляд:

$$W_n(A) = q_1(A) + \frac{q_2(A)}{\omega}. \quad (5.3)$$

Дослідження динаміки системи проведемо графічним методом Гольдфарба. Для цього побудуємо на комплексній площині АФЧХ лінійної частини системи і оберненої з від'ємним знаком АФХ нелінійної системи. Побудову проведемо з використанням математичної системи MathCad, програма розрахунку наведена на рис. 5.2.

$$i := \sqrt{-1}$$

$$\omega := 0, 0.015.. .2$$

$$a := 2 \quad b := 110$$

$$q1(A) := \frac{4 \cdot b}{\pi \cdot A} \cdot \sqrt{1 - \frac{a^2}{A^2}} \quad q2(A) := \frac{-4 \cdot a \cdot b}{\pi \cdot A^2}$$

$$W1(i\omega) := \frac{0,12}{255 \cdot i \cdot \omega + 1} \cdot (\cos(7.5 \cdot \omega) - i \cdot \sin(7.5 \cdot \omega))$$

$$Wn(A) := q1(A) + i \cdot q2(A)$$

$$A := 2, 3.. 5$$

A =	$\operatorname{Re}\left(\frac{-1}{Wn(A)}\right) =$	$\operatorname{Im}\left(\frac{-1}{Wn(A)}\right)$
2	0	-0.014
3	-0.016	-0.014
4	-0.025	-0.014
5	-0.033	-0.014

Рис. 5.2. Програма розрахунку АФЧХ системи

Результати моделювання наведені на рис. 5.3. З отриманих результатів видно, що годографи АФЧХ перетинаються, а значить у системі існують автоколивання. Ці автоколивання є стійкими, оскільки годограф нелінійної частини системи з ростом А виходить з годографа лінійної частини системи.

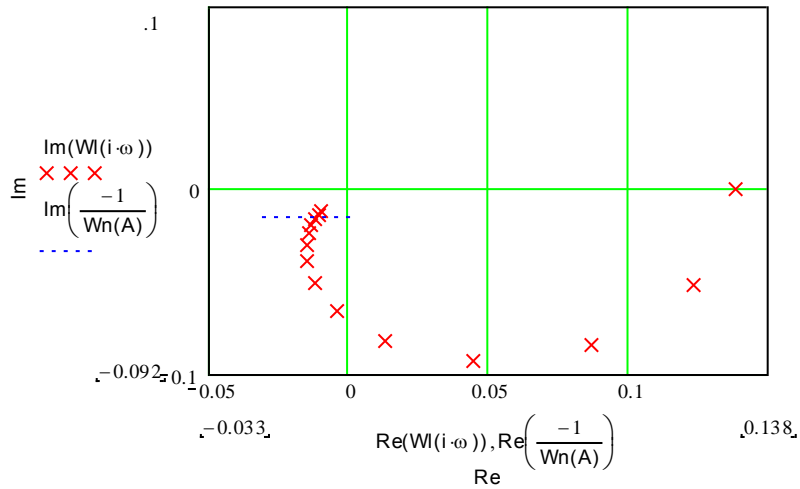


Рис. 5.3. АФЧХ нелінійної системи:

x - АФЧХ лінійної частини системи,

--- – АФХ оберненої з від'ємним знаком нелінійної частини системи

Для визначення параметрів автоколивань розв'яжемо систему рівнянь за програмою:

Given

$$\operatorname{Re}(W(i \cdot \omega)) = \operatorname{Re}\left(\frac{-1}{W_n(A)}\right)$$

$$\operatorname{Im}(W(i \cdot \omega)) = \operatorname{Im}\left(\frac{-1}{W_n(A)}\right)$$

$$\begin{pmatrix} Aa \\ \omega a \end{pmatrix} := \operatorname{Find}(A, \omega)$$

Згідно розв'язку, амплітуда автоколивань  $A=2.577$ , частота автоколивань  $\omega_A = 0.172$ . Графік автоколивань наведений на рис. 5.4. Видно, що частота коливань достатньо низька, а їх амплітуда невелика і такі повільні і незначні коливання температури не матимуть негативного впливу на продуктивність свиноматок і здоров'я поросят.

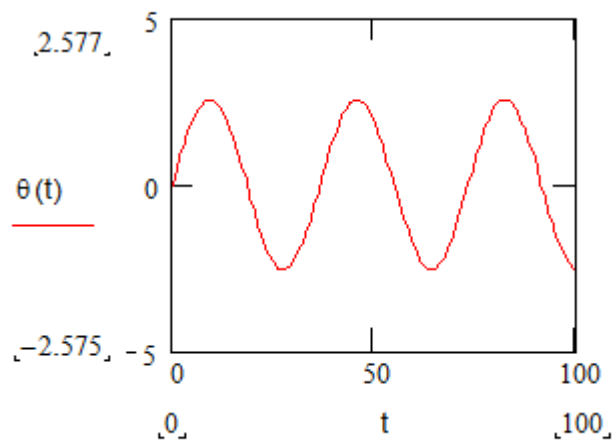


Рис. 5.4. Графік автоколивань системи

### Висновки

У роботі наведено дані про стан свинарства в Україні, проаналізовано вплив параметрів мікроклімату у свинарниках на життєдіяльність і продуктивність тварин.

Проведено порівняльний аналіз методів створення температурного режиму в свинарнику-маточнику в літній період, як найбільш впливового на продуктивність свиноматок і здоров'я поросят. Розглянуто принципи і технічні засоби для вентиляції та вибрано ефективний і економічний спосіб охолодження і одночасно зволоження повітря на підприємствах свинарства за допомогою зрошувальних камер.

Проведено дослідження свинарника-маточника як об'єкта автоматизації, розроблена математична модель каналу регулювання температури у свинарнику-маточнику в літній період, проведено аналіз системи регулювання температури у свинарнику-маточнику із позиційним регулятором. Показано, що система є працездатною, і забезпечує дотримання технологічних вимог.

### **Список використаної літератури**

1. Охріменко І.В. Стан та перспективи розвитку свинарства в Україні. [http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_127/06.pdf](http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_127/06.pdf).
2. Демчук М.В., Висоцький А.О., Божик Л.Я. Санітарно-гігієнічний контроль динаміки показників мікроклімату свинарника-маточника в умовах свиноферми ННВЦ “Комарнівський” / Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького, том 11 № 2(41), частина 4, 2009 с.58-63.
3. Мартыненко И.И., Лысенко В.П. «Проектирование систем автоматики» - М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.
4. Климентовський Ю.А., Гладкий А.М. Технічні засоби автоматики – К.: Видавництво «КВІЦ» 2003.-238 с.
5. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Лисенко В.П. Теорія автоматичного управління. -К.: ВЦ НУБіП України, 2012.-240 с.
6. Цубанов А. Г. «Теплоснабжение, отопление и вентиляция животноводческих помещений».- Минск, «Ураджай», 1987.