

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ О.К. Дідик
« ____ » _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Модернізація системи стабілізації температури
повітря у вулику»
«Modernisation of the air temperature stabilisation
system in the hive»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи АК-21
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
_____ Трикула М.С.
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____ Плешков С.П.
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Призначення системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	7
1.1 Класифікація вуликів.....	7
1.2 Вимоги до вуликів.....	7
1.2.1 Вимоги до вулика як до основного інвентарю пасіки.....	8
1.2.2 Вимоги до вулика як до житла бджіл.....	8
1.2.3 Основні розміри вулика.....	9
1.2.4 Правила виготовлення вуликів.....	9
2 Огляд рішень та обґрунтування принципу побудови системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	10
2.1 Температурний режим бджолиного гнізда.....	10
2.1.1 Температура бджолиного тіла.....	10
2.1.2 Температура при розплоді і без розплоду.....	11
2.1.3 Особливості регулювання температури гнізда.....	12
2.1.4 Порівняння теплового режиму у дуплах дерев і у вуликах.....	14
2.2 Засоби підігріву бджолиного гнізда.....	16
2.2.1 Найбільш прості засоби підігріву бджолиного гнізда.....	16
2.2.2 Складні засоби підігріву бджолиного гнізда.....	18
2.3 Підходи контролю теплового поля у вулику.....	20
2.4 Обґрунтування вибору датчика.....	21
2.4.1 Характеристики датчиків температури.....	22
2.4.2 Типи напівпровідникових температурних датчиків.....	23
2.4.3 Плівкові напівпровідникові температурні датчики.....	24
2.4.4 Резистивні температурні датчики.....	24
2.5 Вимоги до засобів систем автоматичного регулювання.....	29
2.6 Аналіз засобів обігріву бджолиних сімей.....	29

2.7 Принцип побудови системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	32
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	33
3.1 Розробка узагальненої структури системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	33
3.2 Розробка структури системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	36
3.3 Розробка та опис схеми функціональної системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	36
3.4 Розробка схем електричних принципів реалізації системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	37
3.5 Вибір нагрівального елемента.....	40
3.6 Вибір та обґрунтування датчика.....	42
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	43
4.1 Опис комп'ютерно-інтегрованої системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	44
4.2 Синтез коректуючого пристрою.....	46
4.2.1 Синтез коректуючого пристрою методом ЛАЧХ.....	46
4.2.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.....	48
4.2.3 Оцінка якості регулювання замкненої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	50
4.2.4 Побудова перехідного процесу замкненої системи.....	51
4.2.5 Побудова бажаної ЛАЧХ системи.....	53
4.2.6 Синтез коректуючого пристрою САР за ЛАЧХ.....	55

4.2.7 Побудова перехідного процесу синтезованої САР та визначення показників якості.....	56
5 Опис робіт, що пов'язані із застосуванням системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	58
5.1 Монтаж системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	58
5.2 Налагоджування системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	60
5.3 Експлуатація системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки.....	60
5.4 Схеми підключень елементів системи.....	61
Висновки.....	64
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	66
Список літератури.....	67

ВСТУП

У роботі розглянуто проблематику автоматизації в галузі бджільництва — одній із сфер сільського господарства, що нині не отримує належної уваги в Україні. Це зумовлено тим, що великі аграрні підприємства здебільшого зосереджуються на рослинництві або тваринництві, залишаючи бджільництво поза межами стратегічного розвитку. Внаслідок цього кількість пасік значно скоротилася, що призвело до зменшення обсягів виробництва бджолопродуктів. У більшості випадків цим видом діяльності займаються приватні особи або ентузіасти, які утримують лише кілька десятків бджолиних сімей. За таких умов впровадження автоматизації технологічних процесів є практично неможливим, що, своєю чергою, ускладнює працю пасічників і стримує підвищення ефективності бджільницьких господарств.

Деякі фахівці пов'язують таку ситуацію зі змінами в навколишньому середовищі, зокрема з коливаннями температури і вологості протягом року, змінами у медоносності рослин, а також із погіршенням якості води та повітря. Інші ж вважають, що причиною є поширення інфекційних захворювань серед комах, які через відсутність ефективних ліків призводять до загибелі бджіл. Крім того, негативний вплив має застосування хімічних препаратів у сільському господарстві, на луках і у лісових масивах, що відображається на стані промисловості та агросектору загалом.

Також не враховується роль самого бджоляра та умови його праці. Саме він стає загрозою для виживання бджіл, оскільки відбирає у них весь мед та годує їх великою кількістю цукру. В прагненні до миттєвої вигоди він мінімізує витрати на догляд за бджолиними сім'ями, що призводить до погіршення селекційної роботи. Бджоли виводяться, вмирають, втрачаються кращі породи, і не з'являються нові, високопродуктивні.

Також виявляється недостатня підтримка з боку держави у сфері бджільництва, і здається, що вона зовсім не зацікавлена в підвищенні виробництва меду, воску, пилку та прополісу. Ці продукти неможливо отримати за

допомогою хімічної промисловості. Відчутним є дефіцит бджільничих продуктів у спеціалізованих магазинах, особливо велика їх кількість в країні не спостерігається.

Всі ці обставини не сприяють підвищенню зацікавленості молоді в обранні професії бджоляра. Нарешті, громади бджолярів функціонують досить пасивно, навіть при наявності спеціалізованих журналів. У країні відсутня дієва система підтримки бджолярів та розвитку бджільництва як окремої галузі.

Очевидно, що бджільництво має важливе значення для національного господарства. Для бджіл, на відміну від інших тварин, таких як велика рогата худоба, свині, овці та птахи, необхідність у традиційних кормах, таких як сіно, силос, концентрати, відсутня. Бджоли, опилюючи квітки, сприяють підвищенню врожаю та якості насіння, сприяючи розвитку рослинництва і тваринництва.

В кожному господарстві існують природні угіддя та поля, де вирощують рослини, що виробляють нектар і пилок. При правильному підході до господарювання, крім отримання зерна та продуктів тваринництва, можна також добувати мед, віск, пергу, прополіс та інші бджільні продукти з кожного гектара. Таким чином, бджоли підвищують виходження цінних продуктів з гектара. Здавна бджільництво слугує показником високого рівня сільського господарювання. Не випадково воно успішно розвивається в країнах, таких як Голландія, США, Канада, Австралія, Японія та інші, де досягають великих врожаїв і розвивається високопродуктивне тваринництво. У цих країнах уряд створює сприятливі умови для розвитку бджільництва і надає значну фінансову підтримку бджолярам, розуміючи, що без бджіл неможливо забезпечити високий урожай приблизно 80% сільськогосподарських культур. Велика увага в цих країнах приділяється автоматизації процесів в бджільництві.

Об'єктом дослідження є регулювання температури у вулику як процес.

Предмет дослідження – система регулювання температури у вулику.

Таким чином, дослідження технологічних процесів у бджільництві та створення автоматизованих і механізованих засобів, спрямованих на підвищення ефективності роботи окремих пасік і аграрного сектору загалом, є важливим і актуальним завданням, що підтверджує значущість теми цієї роботи.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ВУЛИКАХ ПРОМИСЛОВОЇ ПАСІКИ

1.1 Класифікація вуликів

За методом розширення обсягу вулика, рамкові вулики поділяються на два основні типи: а) вертикальні і б) горизонтальні. Вертикальні вулики (або стояки) це ті, де об'єм збільшується вгору за допомогою додавання нових корпусів чи магазинів на гніздо. У таких вуликах рамки розташовані на кількох рівнях, що дозволяє розширювати їх об'єм. Горизонтальні вулики (або лежаки) це ті, де об'єм збільшується шляхом додавання рамок збоку до гнізда. У лежаках рамки розташовані на одному рівні, а самі вулики-лежаки мають форму подовжених шухляд.

Основним компонентом рамкового вулика є рамка. Від часу винайдення рамкового вулика бджоларі експериментували з використанням рамок різних розмірів і конструкцій. Проте їх можна класифікувати за форматом (співвідношенням висоти до довжини чи ширини) на три основні категорії: низько-широкі - коли висота менша за ширину (довжину) рамки; вузько-високі - коли висота більша за ширину; квадратні - коли висота дорівнює ширині (рамки такого формату рідко зустрічаються). Залежно від цього, вулики також класифікують за форматом та кількістю рамок, які можуть у них поміщатися. За структурою стінок гнізда виділяють вулики: а) з однією стінкою та б) з двома стінками (або утеплені).

1.2 Вимоги до вуликів

Бджоли проживають та розмножуються у вуликах, де також зберігають запаси корму. Бджолар, який працює на пасіці, постійно має справу з вуликами. Тому до вуликів пред'являються вимоги як до житла бджіл, так і до пасічного інвентарю, що має важливе значення. Найбільш оптимальне розміщення стайні вуликів показане на ілюстрації 01.00.

1.2.1 Вимоги до вулика як до основного інвентарю пасіки

Вулик повинен задовольняти певним вимогам як житло бджіл .

1. Добре захищати гніздо бджіл від опадів і різких змін зовнішньої температури допомагає забезпечити бджолам змогу утримувати необхідну температуру всередині вулика, не витрачаючи зайву енергію. Одночасно важливо мати ефективну вентиляцію у вулику. Він повинен мати можливість для бокового і верхнього утеплення. Це утеплення допомагає зменшити втрати тепла в періоди звуження гнізда навесні та восени, а стельове утеплення захищає гніздо від перегріву та духоти в жарку погоду, що може негативно впливати на життєдіяльність бджіл. Розміри льотків важливі для регулювання теплообміну. Вони повинні бути налаштовані так, щоб їх можна було змінювати в залежності від зовнішньої температури та сили бджолиного вулика.

2. Мати достатньо простору для уміщення вулика, де можна розміщувати розплід і зберігати запаси корму, таких як мед і перга. Об'єм вулика має можливість легко змінюватися в залежності від пори року та потреб бджолиного вулика.

1.2.2 Вимоги до вулика як до житла бджіл

Вулик повинен бути зручним для роботи як основний інвентар пасіки .

1. Всі компоненти вулика повинні бути взаємозамінними, тобто відповідати всім іншим вуликам у пасіці. Це сприяє легкості встановлення магазинів, інших корпусів, чищенню ден, переміщенню бджолиних родин і спрощує загальний догляд за бджолами, зменшуючи при цьому потребу у робочій силі для обслуговування пасіки. Особливо важливо, щоб всі рамки мали однаковий зовнішній розмір. Для досягнення цього слід дотримуватися всіх вказівок, наданих у технічних характеристиках для виготовлення вуликів.

2. Всі вулики повинні бути придатні для повторного перевезення бджіл протягом сезону до масивів диких медоносів або на поля, які вимагають запилення. Для цього вулик повинен мати достатню напівтемну вентиляцію та системи кріплення для окремих його компонентів, таких як корпус, дно та кришка.

3. Вулик повинен мати прочну конструкцію, бути легким, економічно вигідним та простим у виготовленні.

1.2.3 Основні розміри вулика

Під час виготовлення вуликів важливо дотримувати точні внутрішні розміри вулика; відстань між передньою та задньою стінкою у всіх вуликах з низькоширокою рамкою повинна становити 450 мм.

Також загальноприйнятими для всіх типів вуликів є такі розміри:

1) відстань між стінками двох суміжних рамок 37,5 мм (рис. 1.1), а проходи для бджіл, так звані вулички, 12,5 мм (при товщині стільника 25 мм);

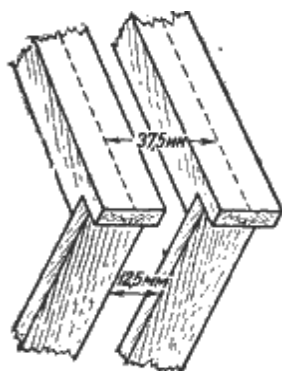


Рисунок 1.1 –
Звичайне
положення
рамок у гнізді

2) проміжок між планками рамок - передньою і задньою стінками вулика складає 7,5 мм;

3) для бджіл прохід між нижніми планками рамок і верхніх брусків гніздових рамок - 10 мм;

4) проміжок між нижньою планкою гніздової рамки і дном - 20 мм.

Коли ми знаємо постійні, незмінні величини, легко вирахувати внутрішні розміри для різних типів вулика.

1.2.4 Правила виготовлення вуликів

Колишній Радянський Союз мав обширну територію, що включала різноманітні кліматичні умови у різних його зонах. З урахуванням цих умов, а також врахуванням відмінностей у рослинному покриві та тривалості літнього сезону, неможливо рекомендувати єдиний тип вулика та застосовувати однакові методи бджільництва для всіх регіонів цієї великої території.

Згідно з рішенням наради бджолярів, схвалені стандартні проекти для наступних видів вуликів:

1) вулик-лежак (на 20 і 24 рамки розміром 435×300 мм);

2) двокорпусний одностінний вулик (на 12 рамок розміром 435×300 мм);

- 3) багатокорпусний одностінний вулик (на 10 рамок розміром 435×230 мм);
- 4) утеплений вулик (на 14 рамок розміром 435×300 мм).

Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити наступні висновки. В бджільництві ручна праця є домінуючою і переважає над рівнем автоматизації та механізації виробництва. Використання різних пристроїв і пристосувань допомагає значно полегшити певні трудомісткі операції для бджоляра. Хоча медогонки, механізоване витягування меду та інші технічні засоби спрощують роботу, але повністю автоматизованими їх назвати важко. Незважаючи на досягнені покращення, існують багато ручних та складних операцій, які бджоляр здійснює вручну, витрачаючи значний час і привертаючи додаткову робочу силу. Роботи з вантажування та розвантаження, пов'язані з періодичними переїздами до медоносів, є фізично виснажливими. Використання пересувних платформ і павільйонів може бути вдалим рішенням, але обмежена площа та високі витрати на транспортне обладнання ускладнюють впровадження автоматизації та механізації в цих умовах.

Відсутність попиту серед бджолярів на засоби автоматизації та обмежена механізація можуть бути пояснені лише тим, що самі бджоляри мали змогу обійтися без них, завдяки конструкції вуликів та наявній технології. Використання допоміжника було простішим в порівнянні з придбанням чи замовленням вказаних засобів.

У умовах широкого розповсюдження та здешевлення мікропроцесорної техніки, для полегшення праці бджолярів можна розробляти та використовувати економічно доступні, легкі в обслуговуванні та користуванні пристрої, що базуються на мікропроцесорах. Зрозуміло, що створення автоматизованих систем, які мінімізують втручання бджоляра у складні біологічні процеси, представляє собою складну задачу, оскільки машину не можна повністю навчити відчувати процеси в бджолиній сім'ї так, як це може зробити досвідчений пасічник. Однак метою цієї роботи є вирішення окремих завдань автоматизації виробництва продуктів бджільництва.

2 ОГЛЯД РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ВУЛИКАХ ПРОМИСЛОВОЇ ПАСІКИ

2.1 Температурний режим бджолиного гнізда

2.1.1 Температура бджолиного тіла

Тіло бджоли піддавалося змінам в температурі, яка була залежною від зовнішнього середовища. Коли бджола перебуває в спокійному стані, її температура майже співпадає з температурою оточуючого повітря. Але під час польоту бджола може підвищити температуру свого тіла в порівнянні з оточуючим середовищем, особливо після завершення польоту, коли температура може бути вищою на 6-20° від температури оточуючого середовища. Організм регулює свою температуру, знижуючи обмін речовин, зменшуючи споживання кисню та використовуючи процеси випару води для охолодження.

Перебуваючи у вулику, бджоли можуть генерувати тепло і утримувати його на потрібному рівні в гнізді.

Критична температура тіла бджоли становить приблизно +14°C. При подальшому зниженні температури починається поетапне застигання: бджола стає малорухомою, а при температурі нижче +8°C окремі бджоли можуть застигнути. Застуджену бджолу можна оживити шляхом її підігрівання. Проте це можливо лише у випадку, якщо температура тіла не спускалася нижче -2°C і якщо такий стан тривав не більше 9 днів.

Бджоли не впадають у зимову сплячку, як це властиво деяким комахам, які перед зимою накопичують в організмі значні запаси живильних речовин. У таких комах жирове тіло може досягати 18-20% від загальної ваги, і тканини втрачають частину води. Ця стратегія готує організм комахи до забезпечення енергією на період спокою і сприяє підвищенню морозостійкості тканин. У порівнянні з цим бджоли не мають адаптацій для нагромадження великої кількості живильних речовин у своєму організмі. Вміст жирового тіла в них

становить лише 1,2-2,2%. Отже, окремі бджоли не можуть виживати протягом тривалого часу при температурах, що наближаються до нуля.

Деякі бджоли виходять з вулика на роботу вже при температурі $+10^{\circ}\text{C}$, хоча на короткий час. При теплі від 14 до 15°C активність літа бджіл збільшується, але при зростанні температури повітря більше $+28^{\circ}\text{C}$ їхня літня активність помітно зменшується. Найбільш оптимальна температура повітря для вильотів бджіл – від $+20$ до $+25^{\circ}\text{C}$.

2.1.2 Температура при розпліді і без розплоду

Життя бджолиних сімей поділяється на два періоди: 1) осінньо-зимовий, коли вони перебувають у стані спокою, і 2) весняно-літній, що відзначається активністю і повним розвитком життєдіяльності бджіл.

Під час періоду спокою, бджоли утворюють щільний зимовий клуб, який весною розпадається, а бджолина сім'я входить у стан активності. Кожен з цих періодів супроводжується створенням різного теплового режиму в гнізді.

Коли сім'я перебуває в стані активної життєдіяльності, де вона вигодовує розплід, будує стільники, збирає нектар і перетворює його в мед, бджоли утримують постійну температуру у гнізді на рівні $+34\dots+35^{\circ}\text{C}$. Зазначено, що у віддалених від центру гнізда, де розташований розплід, районах температура трохи зменшується. У зоні країв вулика, де розташовані рамки без розплоду, температура гнізда стає менш стійкою і може змінюватися в залежності від коливань зовнішньої температури.

Розплід легко переносить короткочасне збільшення температури на $2-3^{\circ}$ і зниження на $10-12^{\circ}$. Але тривале зниження температури, навіть на 3° , призводить до уповільнення розвитку бджіл та недорозвинення їх крил. Збільшення температури на $2-3^{\circ}$ спричинює часткову загибель бджіл, а на $4-5^{\circ}$ може викликати загибель усього розплоду.

Зимовий клуб бджіл утворює зовсім інші температурні умови. Для того щоб забезпечити життя бджіл у стані спокою, не потрібна висока температура. Бджоли утримують її на $10^{\circ}-20^{\circ}$ нижче, ніж влітку. Однак зниження температури

в клубі нижче $+4^{\circ}\dots+14^{\circ}\text{C}$ може призвести спочатку до заціпеніння, а потім до загибелі бджіл. З іншого боку, різке підвищення температури в клубі створює умови, які відновлюють активну життєдіяльність сім'ї.

Зниження температури призводить до того, що бджоли формують клуби: слабкі родини – при температурі зовнішнього повітря 13°C , середні – приблизно 10° , сильні – при 8°C . У клуб можуть об'єднуватися навіть невеликі групи бджіл. Якщо їх кількість перевищує 75, клуб утворюється у 100% випадків. Швидкість формування клубу залежить від зовнішньої температури. У штучних умовах при 20°C в клубі було 28% від загальної кількості бджіл у клітці, при 15° – 77%, при 10° – 100%.

На основі наших спостережень встановлено, що температура в клубі бджіл під час зимування змінюється від $+14^{\circ}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, і це коливання відбувається, зокрема, через те, що в центрі клубу завжди трошки тепліше, ніж на його краях. Температура поза клубом залежить від температури всередині зимівника, але завжди залишається вище останньої. При зниженні температури клуб бджіл стискається, що призводить до підняття температури всередині нього. Зі збільшенням температури клуб розширюється, при цьому частина тепла виходить у зовнішнє середовище. Цей процес знижує температуру клубу, але знову відбувається в межах встановленого діапазону. Як тільки температура спаде до $+14^{\circ}\text{C}$, клуб бджіл знову стискається.

У другій половині періоду зимування температура всередині клубу бджіл починає послідовно підніматися, досягаючи значень від $+32^{\circ}$ до $+35^{\circ}\text{C}$, і стає стабільною до моменту виведення бджілами зимового запасу розплоду для виставки. Цей подальший підйом температури головним чином пов'язаний із з'явою розплоду в гнізді, і температурний режим гнізда відіграє важливу роль у процесі виведення розплоду.

2.1.3 Особливості регулювання температури гнізда

Завдяки виробленню тепла, бджоли обігрівають гніздо та самостійно регулюють температуру всередині вулика.

Бджоли виводять надлишок тепла, використовуючи вентиляцію вулика. Вентилюючи, вони формують ряди на дні і стінках вулика, а також на прилітній дошці біля льотка, активно махаючи крильми і направляючи потік повітря. Внаслідок цього руху повітря стає настільки потужним, що запалений сірник погасне, якщо його притримати біля льотка. Одночасно з вентиляванням бджоли рівномірно розподіляються по всьому гнізді. Оскільки також велика кількість тепла витрачається на випарювання води з нектару, цей процес допомагає бджолам підтримувати необхідну температуру вулика, навіть при спекотній погоді. При дуже високій температурі і задушливому повітрі деякі бджоли припиняють роботу, виходять з вулика і групуються "бородою" під прилітною дошкою вулика.

У холодний період зими або під час вільного зимівля, бджоли споживають більше меду, витрачаючи його для вироблення тепла.

При зниженні температури під час активного періоду, особливо весною, бджоли активізують виділення тепла, внаслідок чого споживають більше меду і в той же час групуються щільніше на меншій площі стільників. В таких умовах розплід, який не покритий бджолами, піддається охолодженню і може загинути.

Результати спеціальних експериментів, проведених в Інституті бджільництва, показали, що чим сім'я сильніша, тим менше меду вона витрачає на теплотворення (в розрахунку на одиницю живої ваги бджіл). Навпаки, слабкі сім'ї витрачають більше меду на одиницю живої ваги, ніж сильні сім'ї. Відомості про ці дослідження представлені в таблиці 2.1.

В медяному зобику, який можна взяти з клуба, завжди міститься від 3 до 16 мг меду. При температурі всередині клуба в межах 15-20°C цього запасу корму вистачає на 1 – 1,5 доби.

В Інституті бджільництва проводилися дослідження щодо витрат кормів бджолиною родиною протягом року. У зимові місяці, коли в сім'ях відсутній розплід, кожна бджолина родина витрачає приблизно 1 кг корму на місяць. Витрати корму бджолиною сім'єю без врахування витрат на літню роботу склали (г): у квітні – 5075, травні – 6440, червні – 8610, липні – 13690, серпні –

6240, вересні – 4610, жовтні – 2980, листопаді – 600, грудні – 800, січні – 800, лютому – 1375, у березні – 1065.

Споживання меду в період весни і осені ще більше зростає, особливо коли бджоли перебувають у вуликах, які недостатньо утеплені, легко пропускають вітер і не ефективно утримують тепло. Це особливо важливо, якщо розміри гнізда великі і не відповідають потужності сім'ї.

Таблиця 2.1 – Залежність витрати бджолою сім'єю меду від її ваги

Вага сім'ї, кг	Витрата меду, г/год		Виділення тепла з 1 кг бджіл за годину (у великих калоріях)*
	на всю сім'ю	на 1 кг бджіл	
0,2	45	225	58
0,5	53	106	26
1,0	67	67	17
2,0	94	47	12
3,0	120	40	10

* Велика калорія – кількість тепла, необхідна для підвищення температури 1 л води на 1°.

Звідси можна зробити важливі практичні висновки:

- 1) в холодний період вулик повинен ефективно утримувати тепло, а в спекотну погоду не перегріватися;
- 2) розміри гнізда і ширину льотків слід адаптувати згідно з потужністю бджололиного вулика та погодними умовами;
- 3) для успішної зимівлі бджіл необхідно підготувати сухий та ефективно провітрюваний зимівник, в якому температура має залишатися стабільною від 0° до +4°С.

2.1.4 Порівняння теплового режиму у дуплах дерев і у вуликах

Інститут бджільництва наводить дані, які вказують, що при зовнішній температурі +10°С в вулику з вертикальною рамкою висотою 435 мм температура біля дна вулика становить +12°С, а біля розплоду - +32,3°С. У вулику з горизонтальною рамкою температура біля дна вулика може досягати +16,2°С, а біля розплоду - +34,5°С. У вулику з рамкою розміром 435x230 мм температура біля дна вулика складає +20°С, а біля розплоду - +35°С. За цими даними, найбільш оптимальний тепловий режим для розмноження та

життєдіяльності бджіл спостерігається у вуликах з найменшою рамкою. Важливо врахувати, що ці висновки не враховують умови природного середовища життя бджіл, зокрема, у дуплах дерев. Бджоли активно виводять розплід як у вуликах, так і в дуплах при зовнішній температурі $+10^{\circ}\text{C}$, а при $+15^{\circ}\text{C}$ піднімають температуру до $+37^{\circ}\text{C}$ для масового виведення розплоду.

Якщо правильно здійснити зимівлю бджіл, то сила сім'ї буде регулюватися автоматично, і не виникне потреби у ранньому виведенні розплоду. Правильно проведена зимівля дозволить забезпечити стабільні переходи сили сім'ї щорічно, уникаючи надмірних втрат бджіл при ранньому виведенні розплоду.

При температурі $+20^{\circ}\text{C}$ в вуликах з низькими рамками температура підвищується до $+40^{\circ}\text{C}$, що перевищує терпимий для бджіл рівень. В таких умовах бджоли намагаються вийти з вулика і збільшити циркуляцію повітря, що може призвести до втрати раннього взятку меду. Ця ситуація вказує на серйозний недолік конструкції вуликів, де 40-50% бджіл може загинути від вологості, цвілі та недостатньої циркуляції повітря. Це важливий аспект, який слід враховувати і виправляти в практиці бджільництва.

Розглядаючи тепловий режим у дуплах дерев, виявляється, що стільники в дуплах, де мешкають бджоли, будуються таким чином, щоб захистити від холоду, і мають ходи, які дозволяють бджолам об'єднуватися в клуб і сприяють обміну повітря. Простір у дуплі дозволяє бджолам розвивати сім'ю. У природних умовах у дуплі завжди панує сприятливий тепловий режим, оскільки там відсутні протяги. Повітря потрапляє в дупло лише через льоток і рівномірно розподіляється по всьому об'єму без значного напору. Залежно від сезону та температури бджоли самі регулюють рух повітря. Перед зимою бджоли зменшують розмір льотка, частково затишуючи його прополісом, а влітку розширюють. Бджоли завжди дбайливо закривають всі тріщини прополісом у дуплі, залишаючи лише невеликий отвір для льотка. Такий структурний підхід до створення стільника в дуплі гарантує відсутність протягів.

Цікавим є той факт, що після зимівлі в дуплах бджоли ніколи не залишають під собою трупиків, свідчаючи про успішне переживання зимового

періоду і готовність до основного періоду виведення розплоду без додаткової допомоги людини. У зимовий період бджоли зазвичай вмирають від духоти та надлишку тепла, що може бути спричинено вологою та цвіллю. Слід відзначити, що бджоли краще переносять холод, ніж відсутність достатнього запасу корму. Якщо для бджіл потрібно підтримувати тепло для виведення розплоду, вони самостійно забезпечують необхідний тепловий режим.

Для успішної зимівлі бджіл потрібні темрява, яка має захищати їх від передчасного вильоту та сприяти створенню спокою. У цьому відношенні всі необхідні умови забезпечуються в дуплах. Дослідження показують, що взимку в дуплах температура у внутрішній частині клуба бджіл не опускається нижче тієї, що в вуликах, і бджоли успішно зимують.

У дикій природі бджоли оселяються в просторих дуплах, де можуть будувати стільники протягом кількох років та забезпечено ефективний обмін повітря. Давайте порівняємо об'єм багатокорпусного вулика (з 2 корпусами) та дупла, населеного бджолами. Якщо об'єм двох корпусів вулика становить 90 000 см³, то об'єм дупла при довжині 500 см і діаметрі 35 см буде 612 500 см³. З цього випливає практичний висновок: бджолярам важливо постійно досліджувати їхнє життя в природних умовах та на пасіці, виявляти їхню здатність до підвищення медопродуктивності при мінімальних зусиллях і витратах. Для подальшого розвитку продуктивного бджільництва слід продовжувати пошуки більш вдосконаленої конструкції вулика, враховуючи умови життя бджіл в дуплах дерев.

2.2 Засоби підігріву бджолиного гнізда

2.2.1 Найбільш прості засоби підігріву бджолиного гнізда

Мета нагріву бджолосімей у весняний період полягає в утриманні стійкої температури в гнізді, і це можна здійснити за допомогою простого пристрою. Зазначений пристрій представляє собою обпалену консервну банку (для уникнення стороннього запаху), в яку встановлена електролампочка (220 В, 15 Вт). Банка закрита кришкою з листового азбесту, що щільно прилягає до

патрона, запобігаючи проникненню світла. Цей пристрій поміщають у вулик за діафрагму, відокремлюючи його від гнізда. Тепло від лампочки нагріває діафрагму і створює температуру в діапазоні 20-28 °С в першій вуличці за діафрагмою. При постійному і стабільному нагріванні бджоли розташовують гніздо в найзручнішій для них зоні.

Під час весняного обігріву бджолосімей, у гнізді залишається не так багато рамок, скільки бджоли, а це число може бути в 1,5 рази більше, в залежності від сили сім'ї. Матка майже не обмежує кладку яєць. Розширене гніздо, яке не обмежує матку в засіві, сприяє повноцінному розвитку бджолосімей, ранньому роїнню і завершенню роївого періоду. Навесні обмежене гніздо навіть при сприятливих умовах утримує взяток, а хороший взяток при малому гнізді обмежує розвиток бджіл, оскільки комірочки під розплід зайняті медом. Крім того, підігрів створює своєрідний інкубатор. Матка відкладає яйця на першій рамці, відразу за діафрагмою. Після запечатування розплоду, бджоли повністю відходять від матки. Розплід дозріває при тій температурі, яку надає підігрів. Це звільняє бджіл від обов'язку обігріву розплоду, дозволяючи більшій кількості бджіл зосередитися на зборі меду.

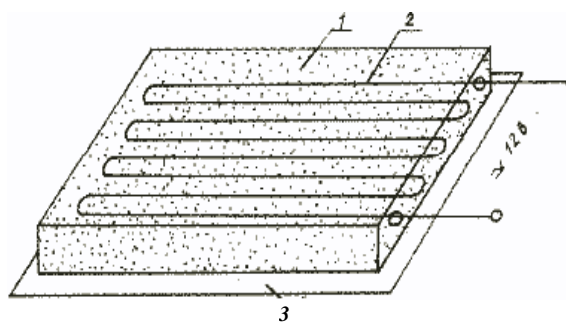


Рисунок 2.1 – Нагрівальний елемент призначений для підігріву бджіл спірالی. Живлення цього обігрівального елемента здійснюється від батареєк з напругою 12 В.

Пристрій для обігріву бджіл всередині вулика у зимово-весняний період (рис. 2.1) складається з металевого короба, заповненого цементним розчином 1, нагрівальної спірالی 2 і кришки 3, що щільно закривається разом з коробом. Електричні проводи припаяні до виведених кінців

Застосування нагрівального елемента дало можливість зекономити 4-6 кг корму протягом зимового сезону і розпочати розвиток бджолосім'ї раніше весняним періодом. Загальний вигляд вулика-лежака із використанням нагрівального елемента показано на ілюстрації 02.00.

2.2.2 Складні засоби підігріву бджолиного гнізда

Один із відомих пристроїв включає в себе силовий трансформатор, стабілізатор змінного струму, трансформатори струму, а також нагрівальні елементи для кожного вулика і регулятори температури вуликів. Склад стабілізатора змінного струму включає в себе датчик струму, блок випрямлення з фільтром, блок керування, блок захисту, керований регулятор потужності і датчик струму. Регулятор температури для вуликів містить датчик температури, датчик температури, схему посилення, блок живлення та шунтуючий елемент. Цей пристрій призначений для обігріву значної кількості бджолиних сімей із застосуванням у вторинному ланцюгу силового трансформатора (по одному на кожному пасіку) із низьковольтним ланцюгом, що має захист у випадку обриву та короткого замикання. Параметри сили струму і напруги на нагрівачах автоматично регулюються.

Більшість відомих пристроїв для автоматичного утримання температурного режиму в бджолиних сім'ях, в основному, з'єднуються паралельно з трансформатором. Зі значною кількістю підключень та при низькій електробезпечній напрузі (12 В), струми значно зростають. Таким чином, недоліками таких пристроїв є великі струми при низькій електробезпечній напрузі та при великій кількості підключених нагрівальних елементів до одного трансформатора, що веде до великих розмірів трансформатора та потреби в товстих проводах (при підключенні 20-35 нагрівачів на пасіці діаметр мідних проводів становить 8-10 мм). Підвищення напруги до 220 В на нагрівачах при збереженні тієї ж потужності зменшить струм, але це також порушить електробезпечність.

Щоб уникнути використання дорогих трансформаторів, бджолярі використовують послідовне з'єднання нагрівальних елементів. Це дозволяє зменшити струм через нагрівальні елементи та використовувати провід малого діаметра, який використовується для електромережі. Також можна використовувати невеликий трансформатор. Проте ця схема також має свої недоліки. У випадку обриву в послідовному ланцюзі всі нагрівальні елементи у

вуликах втрачають електропостачання. При великій кількості підключених навантажень в місці розриву може виникнути висока напруга, яка є небезпечною для електроніки. При підключенні N навантажень необхідно точно налаштувати напругу; невірне підключення може призвести до виходу з ладу нагрівальних елементів, перегріву бджільних сімей і навіть їхньої загибелі.

Можна використовувати компактні трансформатори невеликої потужності для кожного нагрівального елемента. Однак через їх розташування біля вулика або в ньому може бути порушена електробезпека, оскільки до вулика подається напруга 220 В, що може створювати ризик пожежі.

З метою виправлення цих недоліків у пристрої для обігріву бджолиних сімей, що включає силовий трансформатор, регулятор температури та нагрівальний елемент, вхід силового трансформатора з'єднаний з електромережею. Введено стабілізатор змінного струму, перший і другий силові входи якого з'єднані з першим і другим виходами першої вторинної обмотки силового трансформатора. Перший і другий входи другої вторинної обмотки силового трансформатора з'єднані з третім і четвертим живильними входами стабілізатора змінного струму. Перший силовий вихід стабілізатора змінного струму з'єднаний з першим входом трансформатора струму першого вулика. Другий вхід якого з'єднаний з першим входом першого нагрівального елемента першого вулика. Другий вхід нагрівального елемента першого вулика з'єднаний з першим входом трансформатора струму другого вулика. Другий вхід якого з'єднаний з першим входом другого нагрівального елемента другого вулика. Другий вхід другого нагрівального елемента з'єднаний з першим входом n -го трансформатора струму N -го вулика. Другий вхід якого з'єднаний з першим входом n -го нагрівального елемента N -го вулика. Другий вхід n -го нагрівального елемента N -го вулика з'єднаний із другим виходом стабілізатора змінного струму. Входи нагрівальних елементів, відповідно до кількості вуликів, з'єднані з першим і другим входами вуликових регуляторів температури. Третій і четвертий входи вуликових регуляторів температури з'єднані з першими і другими виходами трансформаторів струму.

Отже, пристрій для обігріву бджолиних сімей дозволяє використовувати малогабаритний силовий трансформатор у вторинному ланцюгу (один на пасіку), що спрощує його розміщення та зменшує кількість проводів на пасіці. Захист враховує обрив та коротке замикання, автоматично відключаючи стабілізатор струму. Після усунення обриву стабілізатор струму автоматично повертається до заданого струму, визначаючи потужність нагрівальних елементів. Підключення нагрівальних елементів можна виконати при підключеній напрузі живлення. Використання силового трансформатора дозволяє уникнути електробезпечної фазної напруги. Всі ці особливості роблять цей пристрій зручним для практичного використання в бджільництві. Схема електричного підключення нагрівальних елементів до мережі живлення представлена на ілюстрації 03.02.

2.3 Підходи контролю теплового поля у вулику

Прийнятий метод оцінки функціонального стану бджолиних сім'ї в пасивний період використовує окремі дискретні температурні датчики для вимірювання температури в різних точках. Недолік цього методу полягає в відсутності контролю за розподілом теплового поля в площині.

Інший спосіб контролю температурного режиму зимівлі бджіл заснований на вимірі розподілу теплового поля у вулику за допомогою вимірювання окремих його значень по всій обраній площині. Це досягається за допомогою температурних термопарних датчиків, кількість яких визначає дискретність вимірювань. Головним недоліком цього методу є велика кількість вимірювань, що ускладнює апаратну реалізацію та збільшує час вимірювань.

Інший метод включає розміщення матриці термопарних датчиків на кожній стільниковій рамці. Ці датчики виготовлені у вигляді перпендикулярно накладених провідників, які з'єднані між собою в місці перетину шляхом зварювання і створюють вузли, що генерують термоелектрорушійні сили при нагріванні. Заміряється загальна термоелектрична сила для групи термодатчиків,

а також в кожному вузлі термопарної сітки. Температура кожного вузла термопарної сітки визначається за величиною загальної термоелектричної сили. З використанням показників температури для всіх вузлів матриці встановлюються зони теплових полів на кожній стільниковій рамці або в цілому гніздовому корпусі. Спосіб дозволяє проводити об'ємне спостереження за станом бджільського клубу протягом зимівлі і розвитку бджолиного розплоду на кожній стільниковій рамці, не втручаючись в сім'ю бджоляра.

Основною технічною метою цього методу є суттєве скорочення часу вимірювання через одночасний контроль температури за допомогою групи термопарних датчиків. Це спростить апаратне забезпечення та зменшить час вимірювання. З отриманих теплових полів, з використанням оптимальної кількості термодатчиків, можна виділити інформативні ознаки бджільської сім'ї, такі як місцезнаходження бджолиного розплоду та гніздового клубу під час зимівлі.

2.4 Обґрунтування вибору датчика

Швидкий прогрес в електроніці та обчислювальній техніці став ключовою передумовою для широкого впровадження автоматизації в різних галузях промисловості, наукових досліджень та побутових справ. Реалізація цих можливостей в значній мірі визначалася ефективністю пристроїв для отримання інформації щодо регульованих параметрів чи процесів, іншими словами, можливостями датчиків.

Серед різноманітних параметрів, які можна вимірювати, ключове значення має температура. Вимірювання температури є обов'язковим у всіх складних технологічних процесах. З великого асортименту датчиків температури, які працюють на різних фізичних принципах та виготовлені з різних матеріалів, можна вимірювати температуру навіть у важкодоступних місцях, де інші параметри не можуть бути виміряні.

2.4.1 Характеристики датчиків температури

Любий датчик, включаючи датчик температури, може бути охарактеризований низкою властивостей, які в сукупності дозволяють проводити порівняльний аналіз між різними датчиками та вибирати їх систематично відповідно до конкретних завдань.

Нижче вказані основні характеристики:

1. Характеристика перетворення (градуаційна характеристика) визначає функціональну залежність між вихідною і вимірюваною величинами:

$$y = f(x) \quad (2.1)$$

Взаємозв'язок виражається у величинах, які мають назви: y - у величинах вихідного сигналу чи параметрах датчика, x - у величинах вимірюваної величини. Для датчиків температури – Ом/°C чи мВ/°K.

2. Чутливість - це співвідношення між збільшенням вихідної величини датчика та збільшенням його вхідної величини:

$$S = dy/dx \quad (2.2)$$

3. Поріг чутливості визначається як найменша зміна вхідної величини, яку можна надійно виявити. Цей поріг залежить від природи самої вимірюваної величини і високої точності процесу перетворення вимірюваної величини в сигнал датчика.

4. Границя перетворення визначається як максимальне значення вимірюваної величини, яке можна виміряти без необоротних змін у датчика внаслідок робочих впливів. Зазвичай верхня межа вимірювань датчика становить не менше 90% межі перетворення.

5. Метрологічні характеристики визначаються особливостями конструкції та технології датчика, стабільністю властивостей використовуваних матеріалів і особливостями процесів взаємодії між датчиком та вимірюваним об'єктом.

Визначені метрологічні характеристики вказують на характер та розміри похибок вимірювань датчиків. Деякі з цих похибок можуть мати випадковий характер і враховуються за допомогою методів математичної статистики. Систематичні похибки можуть бути описані аналітично та виключені з отриманих результатів вимірювань.

Основні типи систематичних похибок включають:

- Похибки, пов'язані з нелінійністю функції перетворення, що є характерним для напівпровідникових датчиків температури.

- Похибки, викликані варіацією функції перетворення через зміну напрямку впливу вхідної величини (у випадку датчиків температури, це нагрівання-охолодження).

- Похибки, обумовлені невідповідністю динамічних можливостей датчика впливу на вхідну величину. Це можна врахувати введенням коефіцієнта термічної інерції.

- Додаткові похибки, спричинені відмінністю умов роботи датчика від тих, при яких визначалася його функція перетворення.

- Похибки, обумовлені нестабільністю функції перетворення через процеси старіння матеріалу.

6. Надійність розглядається в двох планах: механічна стійкість і метрологічна стабільність.

7. Експлуатаційні характеристики включають в себе різноманітні параметри, такі як вага, розміри, витрата потужності, міцність електричної ізоляції, електричні напруги, а також стійкість до впливу агресивних середовищ, різного роду випромінювання, іскробезпечність і інші.

2.4.2 Типи напівпровідникових температурних датчиків

Вплив температури на електрофізичні властивості напівпровідників переважно виявляється у зміні концентрації носіїв заряду, що призводить до відповідної зміни електричної провідності. Такий принцип використовується у напівпровідникових терморезисторах. Діоди і транзистори також використовуються як напівпровідникові датчики температури, де зміна концентрації носіїв заряду призводить до зміни струму, що протікає через напівпровідниковий пристрій. Головним недоліком таких термодатчиків є складність отримання їх номінальних характеристик через розкид основних

параметрів транзисторів, таких як коефіцієнт підсилення по струму, опір базової області, струм витоку і т. д.

Стабільність параметрів є ключовою характеристикою для успішного впровадження термодатчиків, що базуються на транзисторах і діодах. Результати досліджень, які вивчали довгострокову стабільність термодатчиків із транзисторами, у яких температурозалежний параметр - напруга на р-п переході залежить від температури і тривалості експлуатації, вказують на те, що погрішність їх вимірювань може становити $(0,01...0,15)^\circ\text{C}$ протягом першого року експлуатації.

2.4.3 Плівкові напівпровідникові температурні датчики

Покращення характеристик термодатчиків на основі напівпровідників та спрощення їхньої конструкції можна досягти, використовуючи чутливі елементи, що виготовлені з тонких плівок напівпровідника, нанесених на підкладку. Виготовлення таких датчиків здійснюється масовими методами планарної технології, яка забезпечує отримання значень номінальних опорів з достатньою точністю і, крім того, дозволяє використовувати лазерні методи налаштування номінальних опорів під час виготовлення.

Головним недоліком термодатчиків, що базуються на автоепітаксіальних структурах "кремній на кремнії", а також на чутливих елементах з дифузійними кремнієвими тензорезисторами, є обмежена верхня межа робочих температур. Це обумовлено різким погіршенням ізоляційних властивостей р-п переходу при температурах, які перевищують $(410...430)^\circ\text{K}$.

2.4.4 Резистивні температурні датчики

Отримання точних результатів вимірювання температури у більшості випадків може бути досягнуте за допомогою резистивних датчиків температури (РДТ), які представлені на ринку у різноманітних конструкціях та характеризуються високою точністю. Ці датчики є одними з найбільш стабільних і точних у температурному діапазоні приблизно від -200 до 800°C . Вони використовуються там, де необхідна постійність результатів вимірів при високій точності.

Принцип роботи резистивних датчиків температури (РДТ) базується на властивості металів змінювати свій електричний опір при зміні температури. Відомо, що всі метали демонструють зміну свого опору відповідно до зміни температури, і саме цей факт лежить в основі створення РДТ.

Опір відрізка проводу прямо залежить від його довжини і обернено пропорційний площі поперечного перерізу:

$$R = \rho L / A \quad (2.3)$$

де ρ – питомий опір матеріалу.

Усі метали мають свій визначений і унікальний питомий опір, який можна експериментально встановити. Резистивні термодатчики виготовляють із металів, опір яких збільшується при зростанні температури. У межах обмеженого температурного діапазону питомий опір лінійно збільшується із зростанням температури:

$$\rho_t = \rho_0 \alpha [1 + (t - t_0)] \quad (2.4)$$

де ρ_0 – питомий опір при стандартній температурі t_0 , ρ_t – питомий опір при температурі t , α – температурний коефіцієнт опору ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

В теорії, будь-який метал може використовуватися як температурний датчик, але ідеальний метал повинен мати специфічні характеристики, такі як висока точка плавлення, стійкість до корозії, лінійна залежність між опором і температурою ($R = F(t)$), і довговічність.

Тендітний платиновий провід, хоча і відзначається своєю дуже тонкою структурою, проте проявляє високу стійкість до забруднення і має легко нелінійну характеристику d/dt . Саме через ці особливості платина обрана для використання в резистивних датчиках температури. Важливими перевагами платини є хімічна стабільність, можливість легкого отримання матеріалу в хімічно чистому вигляді, а також електричні властивості, які відзначаються високою повторюваністю.

Датчики температури на основі резистивних термометрів (РДТ) можуть бути виготовлені зі сплаву, який відповідає американському стандарту IEC/DIN, чи з хімічно чистої платини за європейським стандартом. Головна різниця між

ними полягає в чистоті матеріалу. Згідно зі стандартом ІЕС/DIN, датчик виготовляється з платини, яка спеціально забруднена іншими металами платинової групи. У той час як датчики, виготовлені за європейським стандартом, використовують платину з чистотою не менше 99,99%. Наприклад, якщо датчики з різних матеріалів мають опір 100 Ом при 0 °С, то при 100 °С датчик, виготовлений із сплаву ІЕС/DIN, буде мати опір 138,5 Ом, а датчик за європейським стандартом – 139,02 Ом.

Міжнародні комітети встановили стандартні криві для резистивних датчиків температури (РДТ). У цих кривих було визначено середні значення температурного коефіцієнта α , який визначає нахил функції $R = F(t)$ у температурному діапазоні між 0 і 100 °С. Значення α можна розрахувати за допомогою формули:

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / R_0 t \quad (2.5)$$

$\alpha = 0,00385$ Ом/(Ом · °С) - для платини стандарту ІЕС/DIN. $0,003926$ Ом/(Ом · °С)(максимально) - для платини європейського стандарту.

Взаємозв'язок між опором та температурою може бути наближено описаний рівнянням Каллендар-Ван Дусена:

$$\frac{R}{R_0} = 1 + \alpha \left[T - \delta \times \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \times \left(\frac{T}{100} \right) - \beta \times \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \times \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right] \quad (2.6)$$

де R – опір при температурі T , T – температура (°С), α – постійний коефіцієнт (визначає нахил функції $R = F(T)$ при $T = 0$ °С), R_0 – опір при температурі танення льоду, δ – постійний коефіцієнт, β – постійний коефіцієнт ($\beta = 0$ при $T > 0$ °С).

Коефіцієнти α , δ і β уточнюються на практиці за допомогою експериментальних вимірів опору РДТ при різних температурах і подальшого вирішення відповідного рівняння.

Рівняння Каллендар - Вану Дусена може бути спрощено:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})t^3] \quad (2.7)$$

Коефіцієнти А, В і С залежать від матеріалу проводу і його чистоти. Ніщо не є вічним, інколи навіть високоякісні датчики можуть вийти з ладу, і їх доводиться замінювати. Щоб цей процес був максимально комфортним для користувача, датчики повинні мати ідентичні характеристики. Таким чином, міжнародний стандарт ІЕС 751 визначає коефіцієнти рівняння Каллендар-Ван Дусена, які повинні бути однаковими для будь-якого РДТ з метою забезпечення взаємозамінності датчиків. Для кожного конкретного датчика константи А, В і С можуть малесенько відрізнятися від стандартних значень, залежно від обраних каліброваних температур і технології його виготовлення. Таким чином, для проведення точних вимірювань рекомендується звертатися до виробника для отримання точних характеристик даного датчика.

Існують два типи виготовлення датчиків: дротові та тонкоплівкові. Дротові датчики формують шляхом намотування дуже тонкого платинового проводу на котушку до отримання опору 100 Ом. Після цього котушка поміщається в керамічне оправлення для запобігання корпусу замикань та забезпечення вібростійкості. Цей процес вимагає значної ручної праці і виконується під мікроскопом.

Тонкоплівкові датчики виготовляються за допомогою методу нанесення тонкого шару платини чи її сплаву на керамічну підставу, після чого опір резистора налаштовується до необхідного значення. Для забезпечення вологостійкості елементи датчика обповнюються склом чи епоксидною смолою. Однією з переваг тонкоплівкових датчиків у порівнянні з дротовими є можливість отримання більш високоомних датчиків при значно менших габаритах за цією технологією.

Використовуються двох-, чи чотирьохпровідні схеми підключення датчика до вимірювального пристрою. Оскільки обидві схеми добре відомі, деталі не будуть розглядатися в докладності. Проте коротко розглянемо основні аспекти їхнього використання. Двохпровідна схема підключення застосовується там, де підводять проводи є дуже короткими, і допустима певна похибка вимірювання. У випадку трипровідного підключення використовуються три провідники

замість двох, що дозволяє до певної міри зменшити помилки вимірювання, пов'язані з протіканням струму через проводи. Чотирипровідна конфігурація може бути рекомендована для отримання найкращих результатів вимірювання.

Струм, який використовується для збудження датчика, проходить через одну пару проводів, тоді як вимір опору здійснюється через іншу пару. Це виключає можливі помилки, що можуть виникнути через різницю в опорі проводів. Хоча цей метод є більш витратним у порівнянні з трьохпровідними конфігураціями (особливо при використанні довгих ліній зв'язку), він забезпечує вищу точність вимірювань.

Також, я хотів би надати діаграму, яка ілюструє з'єднання двох РДТ (див. рис. 2.2). У цьому випадку використовується чотирипровідна схема підключення, а також логометричний метод вимірювання. За даними авторів, ця схема має наступні характеристики:

- реальна точність 0,02 °C (при використанні 100-омних датчиків);
- можливість застосування 100, 500 чи (max) 1000-омних датчиків;
- 16-розрядне розрішення;
- віддалення схеми виміру від датчика до 500 метрів.

Загальний вид датчика температури, що використовується в розроблюваній системі, TEWS-P12 наведено на ілюстрації 03.03.

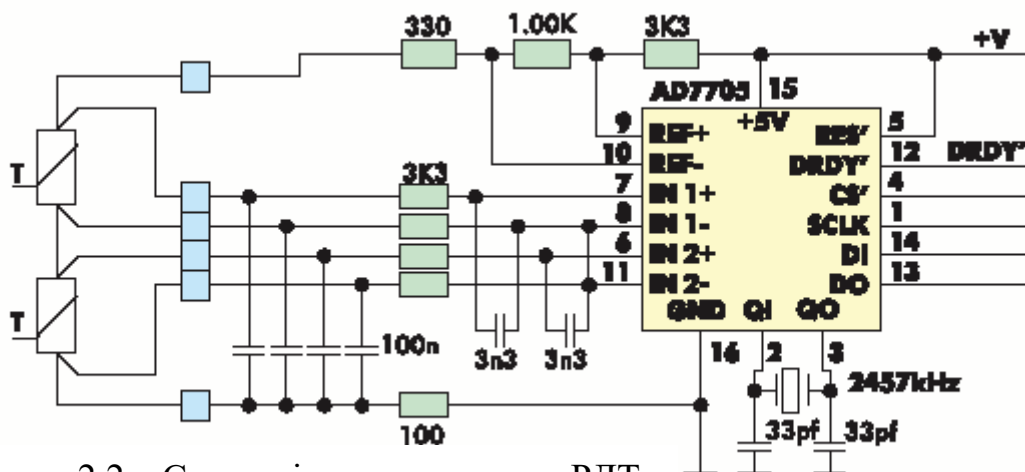


Рисунок 2.2 – Схема підключення двох РДТ

2.5 Вимоги до засобів систем автоматичного регулювання

Ефективність системи автоматичного регулювання (САР) в кожному конкретному випадку визначається тим, наскільки вона задовольняє поставлені перед нею вимоги. Однією з найважливіших є забезпечення функціональної залежності між вхідними та вихідними сигналами системи. Під час розробки системи важливо знайти розумний компроміс між високою якістю роботи та простотою технічної реалізації САР. Вимоги до САР різноманітні і залежать від багатьох факторів. Зазвичай серед цих вимог можна виділити:

- до запасу стійкості;
- до поведінки системи в перехідному процесі при певних діяннях;
- до динамічної точності при діяннях, що неперервно змінюються;
- до величини помилки в усталеному режимі (статичної точності).

Однією з ключових вимог, поряд із зазначеними, до розроблюваної системи автоматичного регулювання температурного режиму бджолиного вулика, що досліджується в даній роботі, є необхідність забезпечення заземлення.

2.6 Аналіз засобів обігріву бджолиних сімей

Давайте проведемо короткий аналіз існуючих систем обігріву для бджолиних сімей. При розробці автоматичної системи підтримання температурного режиму у бджолиних вуликах важливо знайти збалансований підхід між високою ефективністю та простотою технічної реалізації.

Проведений аналіз, щодо методів обігріву, оптимальних температур та стратегій утримання бджіл в електрообігрівних вуликах, вказує на те, що найбільш ефективні результати можна досягти, розміщуючи нагрівачі у донній частині. Це пов'язано з тим, що конвекція повітря сприяє рівномірному прогріванню всього обсягу вулика. Розташування нагрівачів збоку може призвести до того, що рамки створюють перешкоди для однакового розподілу тепла. Розташування нагрівачів над рамками також є неефективним, оскільки

тепле повітря зосереджується у верхній частині, і температура під рамками практично залежить від зовнішньої температури повітря.

Розташовувати датчик всередині гнізда бджіл виявляється неефективним, оскільки самі бджоли забезпечують точне утримання температури з високою точністю, навіть до десятих і сотих долей градуса, і можуть регулювати її в залежності від зовнішніх умов. Температура на рамках також може варіюватися в залежності від наявності розплоду, і центр гнізда може змінювати своє розташування вздовж вулика в залежності від умов. Отже, висунуті вимоги до датчика, який контролює температуру всередині гнізда, є дуже високими.

Контроль температури в гнізді може бути досягнутий іншим способом. У донній частині вулика, в підрамковому просторі, встановлюється певна температура, і бджоли автоматично регулюють температуру в гнізді відносно неї. Таким чином, розташовувати датчик температури слід на рівні нижніх планок рамок. Для вирівнювання температури на дні вулика під нагрівачами рекомендується використовувати металевий лист товщиною 0,6–1 мм. Установка датчика температури на рівні нижніх планок рамок дозволить регулювати температуру від 15 до 45°C з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$.

У весняно-літній період ефективність бджолиних родин визначається кількістю рамок, заповнених розплодом, тоді як в зимовий період важливим фактором є збереження бджолиної сім'ї. У весняно-літній період температура в підрамковому просторі має значний вплив на розвиток і активність бджолиних сімей. При температурі в підрамковому просторі нижче 25°C розвиток бджіл у вуликах з електрообігріванням практично не відрізняється від контрольних (без електрообігрівання).

Зі зростанням температури до 25...30°C спостерігається збільшення яйцenessності маток, а також активний розплід бджіл і трутнів. Доля трутневого розплоду може сягати 20%. Під час роїння відзначається інтенсивне будівництво маточників, особливо в сім'ях бджіл гірської кавказької породи, де кількість одночасно відбудовуваних маточників може досягати 10–20 штук. Також

активно, але з меншою кількістю маточників (менше 10 штук), цей процес спостерігається в сім'ях бджіл середньоруської породи.

Подальше підвищення температури до 30...32°C призводить до незначного збільшення яйценосності, але значно змінює якісний склад розплоду. При температурі 32°C сім'ї, незалежно від породи, виходили з ройового стану, припиняли вирощування трутневого розплоду і зосереджувались лише на вирощуванні бджолиного розплоду. Маточники не закладалися навіть в тих випадках, коли матку видаляли з сім'ї. Загалом, зовнішній вигляд сімей не свідчив про їхнє відчуття самотності, і вони не проявляли непокою. Водночас, у випадку введення нових маток, сім'ї демонстрували велику готовність їх прийняти.

Підвищення температури з 32 до 35°C призводить до зменшення загальної кількості розплоду на 10–20%. Далі, подальше підвищення температури в підрамковому просторі до 37...38°C робиться причиною різкого зменшення обсягу розплоду. У вулику виникає перебільшена сухість, патока в стільниках затвердіває, і процес кладки яєць припиняється. Температура понад 40°C призводить до виникнення проблем, таких як загибель як відкритого, так і запечатаного розплоду. Однак при зниженні температури функціонування бджолиної сім'ї повністю відновлюється.

У зимовий період бджоли практично не реагують на температуру підрамкового простору, і їхня активність повністю залежить від температури навколишнього повітря. При температурі нижче +10°C масовий вильот бджіл у вуликах з електрообігріванням припиняється. Проте обліт одиночних бджіл продовжується, навіть при температурі зовнішнього повітря +2...+4°C.

З огляду на визначальний вплив температури зовнішнього повітря на активність бджолиної сім'ї, необхідність утримання високої температури в підрамковому просторі в зимовий період стає непринципованою. Щоб уникнути вологості, мінімальна потужність нагрівачів у вулику в зимовий період повинна становити 15–25 Вт, що дозволить підвищити температуру в підрамковому просторі на 5...10°C. Залежно від потужності нагрівачів, вживання меду бджолами в зимовий період складе 4–6 кг.

2.7 Принцип побудови системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Серед розглянутих засобів визначення температури повітря для розроблюваної роботи обираємо резистивний датчик, щоб досягти розумного компромісу між високою якістю роботи та простотою технічної реалізації.

На рисунку 2.3 зображено спрощену схему регулятора температури підрамкового простору вулика. Два нагрівачі, Н1 і Н2, з потужністю 25 Вт кожен, підключаються через контактний датчик температури Д до понижуючого трансформатора Тр. Коли температура в підрамковому просторі досягає заданого рівня, датчик відключає нагрівачі, і, в разі потреби, знову включає їх при зниженні температури. Перемикач В використовується для вибору потужності нагрівачів. Понижуючий трансформатор створює безпечну напругу в залежності від місцезнаходження вулика: при установці його на вулиці вихідна напруга трансформатора не перевищує 42 В, в дерев'яному павільйоні може бути іншим.

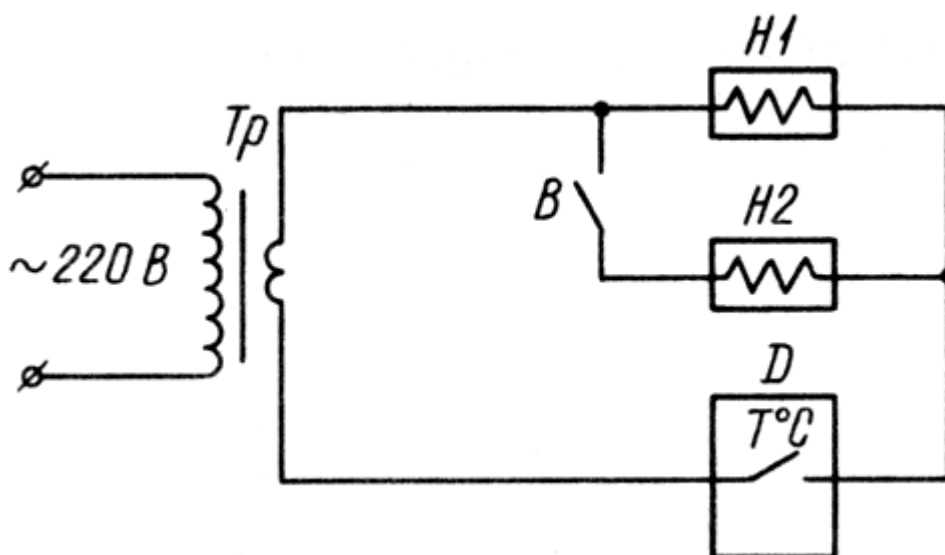


Рисунок 2.3 – Спрощена схема регулятора температури підрамкового простору вулика

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ВУЛИКАХ ПРОМИСЛОВОЇ ПАСІКИ

3.1 Розробка узагальненої структури системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Організація системи керування комплексом технічних засобів для виробництва продуктів бджільництва (КТЗ) визначається переважно характером об'єктів керування, процесами, які у них відбуваються, та взаємодіями між ними. В складі КТЗ основними об'єктами є технологічне обладнання, організоване у вузлах, транспортні системи та склади. Всі ці компоненти існують в рамках чіткої ієрархічної структури та функціонують як єдиний комплекс. Структура системи керування комплексом також ієрархічна і включає кілька рівнів керування.

На найнижчому (першому) рівні даної системи відбувається керування конкретною робочою одиницею, яке організоване за допомогою спеціальних пристроїв управління. Ці пристрої враховують час початку та завершення окремих операцій або користуються додатковою інформацією щодо ходу технологічного процесу. Цей рівень керування здійснюється переважно за допомогою програмного управління і включає канали зв'язку із обладнанням та вищими рівнями управління. Здійснення цього рівня в сучасний період базується на використанні стандартизованих пристроїв управління (УПК) та основного технологічного обладнання.

Другий рівень управління представляє собою систему зв'язку між управлінням окремими робочими одиницями та взаємодією з активною робочою зоною чи лінією. З апаратурної точки зору цей рівень часто реалізується за допомогою міні-ЕОМ. У більш розвинутому варіанті на цьому рівні може бути також здійснений автоматизований синтез програм для функціонування робочих

одиниць. Ефективність використання стандартних міні-ЕОМ на цьому рівні визначається, окрім виконання вищезазначених функцій, також:

1) здатністю автоматизувати технологічну підготовку виробництва, скороченням часу розробки програм та можливістю швидкого внесення корекцій до них;

2) збільшенням стійкості передачі інформації за рахунок видалення проміжних носіїв програм (таких як магнітні стрічки та перфострічки) та пристроїв для їхнього зчитування (таких як магнітні голівки та фотозчитувачі);

3) впровадженням автоматизованого обліку параметрів технологічного процесу (таких як час обробки, точність тощо) і контролю за технологічними режимами.

Слідом за апікацією, яка є більш складною системою технічних засобів, розглядається пасіка. Відповідно, система управління для комплексу технічних засобів пасіки створить третій рівень координації, який відповідає за взаємодію між елементами комплексу на нижньому рівні, складами та транспортними системами пасіки. Реалізація цього рівня також базується на використанні електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).

Четвертий рівень представляє собою оперативно-календарне планування і контроль. На цьому етапі розробляється план робіт за обсягом і номенклатурою на зміну, добу, неділю і т.д. До складу четвертого рівня входять самостійні підсистеми, такі як підсистеми діагностики та усунення несправностей КТЗ.

Отже, у розгорнутій формі система управління комплексом технічних засобів (КТЗ) включає чотири рівні управління. Структурна схема цієї системи наведена на рис. 3.1.

Процедура функціонування управлінської системи комплексу технічних засобів для виробництва продуктів бджільництва представлена на рис. 3.2.

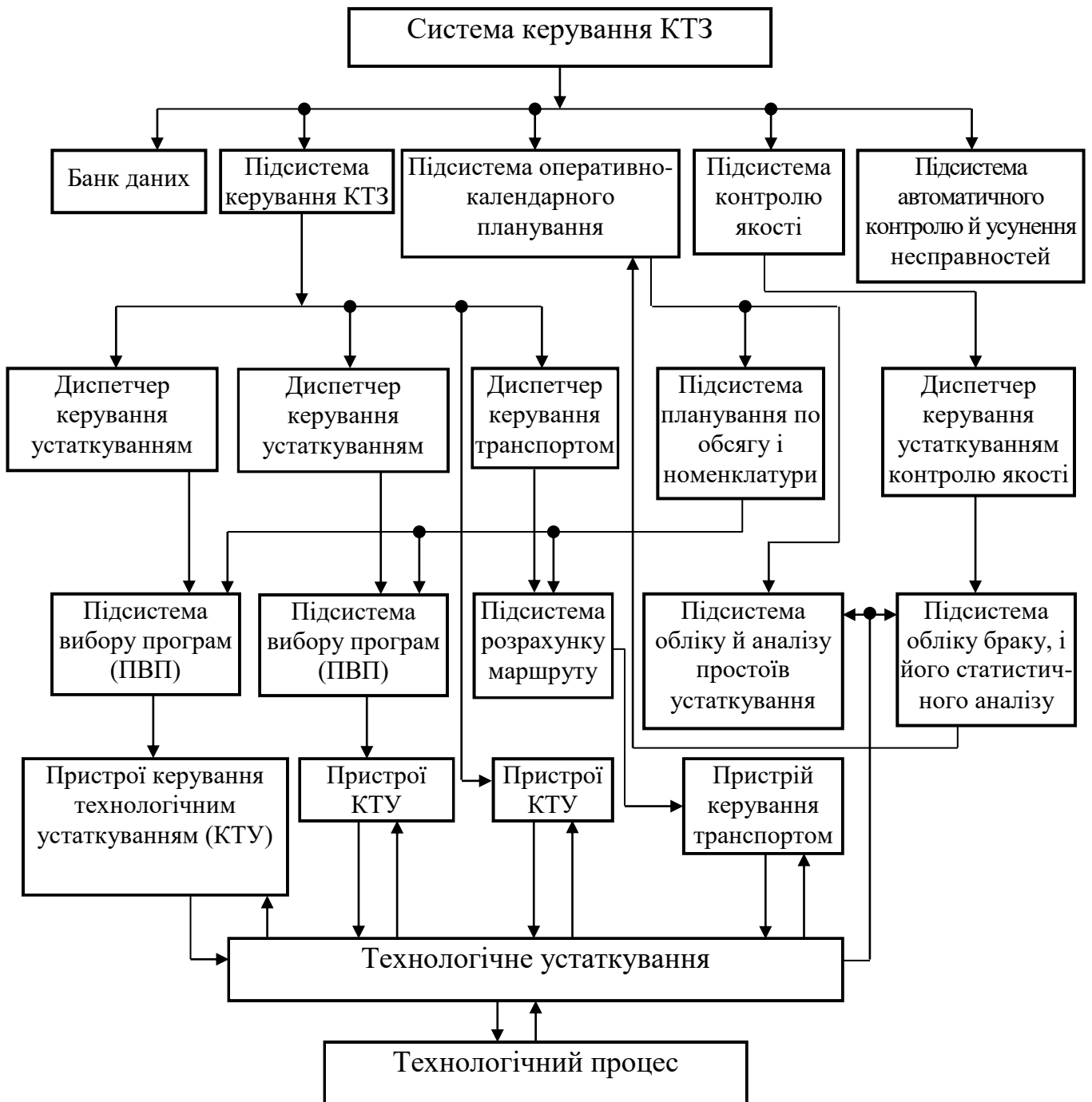


Рисунок 3.1 - Структура системи керування КТЗ



Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи системи керування комплексом технічних засобів виробництва продуктів бджільництва

3.2 Розробка структури системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Система автоматичного утримання температурного режиму у бджолиній сім'ї входить у склад системи управління комплексом технічних засобів для виробництва продуктів бджільництва. Основною метою цієї системи є активація обігрівача при відхиленні температури повітря у вулику від заданого значення. Система повинна включати чутливий елемент, який фіксує температуру. Очевидно, що потрібно забезпечити підсилення сигналу чутливого елемента до рівня, придатного для введення в мікроконтролер, оскільки саме за допомогою мікроконтролера здійснюється зчитування сигналу датчика температури та формування керуючого впливу на включення обігрівача в розроблюваній системі.

У цьому випадку необхідно структурно забезпечити можливість розташування датчика температури в межах вулика, так само, як і обігрівача елемента. Проте важливо уникнути будь-якого непокою для бджіл.

3.3 Розробка та опис схеми функціональної системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Враховуючи наведений вище матеріал, можна створити функціональну схему розроблюваної системи. Схема, зображена на ілюстрації 04.01, включає в себе такі компоненти: пристрій введення, блок вимірювання, до якого входить блок підгонки (масштабування), що забезпечує перетворення сигналу від датчика до рівня, придатного для введення в мікроконтролер; сам мікроконтролер; потужніший підсилювач; об'єкт управління (вулик); і датчик температури.

3.4 Розробка схем електричних принципових реалізації системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Поява та швидкі технологічні удосконалення мікропроцесорних засобів призвели до їх широкого використання в різних галузях національного господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, компактні розміри та доступні витрати на мікропроцесорні засоби роблять їх виправданими для використання в системах автоматичного керування.

Сучасна елементна база цифрової техніки розкриває широкі можливості для створення цифрових регуляторів, що реалізують операції в реальному часі за допомогою програмного забезпечення на основі мікропроцесорів. Зокрема, мікроконтролери, що вбудовані в одному кристалі, представляють собою пристрої, які конструктивно включають в себе всі складові частини мікроелектронних обчислювальних машин: мікропроцесор, пам'ять програм, пам'ять даних та програмовані інтерфейси для взаємодії з оточуючим середовищем. Застосування мікроконтролерів у системах керування дозволяє досягти високої ефективності за невеликої вартості, зменшених розмірів, ваги, споживання енергії та високої обчислювальної потужності.

Структурна організація, набір команд та засоби введення/виведення інформації мікроконтролерів ідеально підходять для вирішення завдань управління та регулювання в пристроях, пристроях та автоматизованих системах. При проектуванні мікропроцесорних систем автоматичного керування важливо враховувати ряд аспектів, таких як забезпечення визначених показників якості керування, ефективний розподіл функцій між апаратним та програмним забезпеченням, а також взаємозв'язок між цифровою та аналоговою частинами системи автоматичного керування.

Такі характеристики керування, як динаміка, точність, надійність виконання функцій управління і т. д., залежать від особливостей цифрової реалізації алгоритму управління в мікроконтролері. Як відомо, цифрове представлення інформації включає дискретизацію процесів у часі та квантування

за рівнем. Дискретизація процесів у часі, яка відбувається відповідно до певного критерію якості функціонування системи автоматичного керування, вимагає високої швидкодії мікроконтролера, а квантування за рівнем призводить до появи шумів квантування.

Планування розподілу функцій системи автоматичного керування між апаратним та програмним забезпеченням пов'язане з аналізом різноманітних факторів. Серед цих факторів, які важливі, разом із врахуванням заданої потужності мікроконтролера, вирізняються структура системи, форма представлення вхідної та вихідної інформації, а також особливості цифрових алгоритмів обробки інформації.

Для забезпечення зв'язку між аналоговою частиною системи автоматичного керування та мікроконтролером використовують аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, яким ставляться високі вимоги до швидкодії, точності та лінійності перетворення. Виникає потреба в схемотехнічному та програмному зв'язку між АЦП різної розрядності та мікроконтролером. Однак недавно мікроконтролери з вбудованими АЦП високої розрядності стали широко поширеними, що дозволяє уникнути використання додаткових мікросхем і спрощує проектування електричних схем.

Враховуючи вищезазначені вимоги, для розробки мікропроцесорної системи автоматичного регулювання (САР), яка розглядається в цій роботі, використовується однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433.

У порівнянні з апаратурно реалізованими цифровими регуляторами, програмно реалізовані регулятори характеризуються меншою швидкодійністю, але є більш універсальними, легше налаштовується та мають кращі масогабаритні характеристики. Відзначається, що надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування в порівнянні з системами на іншій елементній базі є більш високою.

Цифроаналоговий перетворювач безпомилково змінює кодові комбінації цифрового сигналу у вигляд аналогового сигналу. Аналого-цифровий перетворювач вирішує завдання однозначного встановлення відповідності між

аналоговим сигналом та цифровим кодом. Однією з основних вимог до АЦП і ЦАП є їхнє спряження з мікропроцесором, що передбачає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів в перетворювачах та шини даних мікропроцесора, відповідність видів цифрових кодів і формату даних, а також програмну сумісність. Обраний мікроконтролер типу AT90S4433 включає в себе вбудовані ЦАП і АЦП.

У структурі системи автоматичного регулювання температурного режиму бджолиного вулика можна виділити дві основні компоненти: слабкострумову (управляючу) та силову (енергетичну) частини. Використання одного мікропроцесора для реалізації слабкострумової частини підвищує надійність та універсальність системи автоматичного керування, спрощує втілення необхідних законів управління. Оскільки інформація щодо процесу регулювання закодована у цифровому сигналі і не залежить від його енергії, вона менше піддається впливу перешкод та викривлень.

Слабкострумова складова мікропроцесорної системи автоматичного керування має за завдання вирішувати програмні завдання цифрового регулятора та генерацію спеціальних кодових послідовностей для управління силовою частиною. Основна мета полягає в створенні сигналу для ефективного керування двигуном компресора.

Принципова схема системи автоматичного підтримування температурного режиму бджолиного вулика представлена на рисунку 07.00. Вона включає в себе мікроконтролер AT90S4433, який втілює алгоритм управління, датчик температури, вхідний масштабуючий пристрій для приведення вхідних сигналів до стандартного рівня, зрозумілого мікроконтролеру, силову частину та рідкокристалічний індикатор.

Мікроконтролер (DD1, мікросхема AT90S4433) включає в себе внутрішній тактовий генератор G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором з частотою 12 МГц. Вхідний масштабуючий підсилювач, що перетворює вхідні сигнали датчика до рівня, придатного для обробки мікропроцесорною системою, виконаний на елементі DA1 (мікросхема K140УД17 – операційний підсилювач, що використовується для підсилення сигналів з датчиків без викривлень, підсилює сигнали, подавляє синфазний

сигнал, має малу напругу зміщення нуля, невеликий дрейф, низький рівень шумів і великий вхідний опір). Зміна масштабу здійснюється зміною коефіцієнта підсилення операційного підсилювача. Сигнал з виходу нормуючого підсилювача, згідно сигналу контролера, подається на мультиплексор AD7890, а потім до контролера. У випадку, коли температура повітря у вулику не відповідає заданому значенню, сигнал керування, що подається з порту РВ0 мікроконтролера, через демультимплексор К 530 ИД7 передається через силову систему до транзисторів VT1 та VT3, які вмикають обмотку реле для активації нагрівального елемента.

У цьому малюнку також представлено електричну принципову схему блока живлення системи, яку розробляється.

3.5 Вибір нагрівального елемента

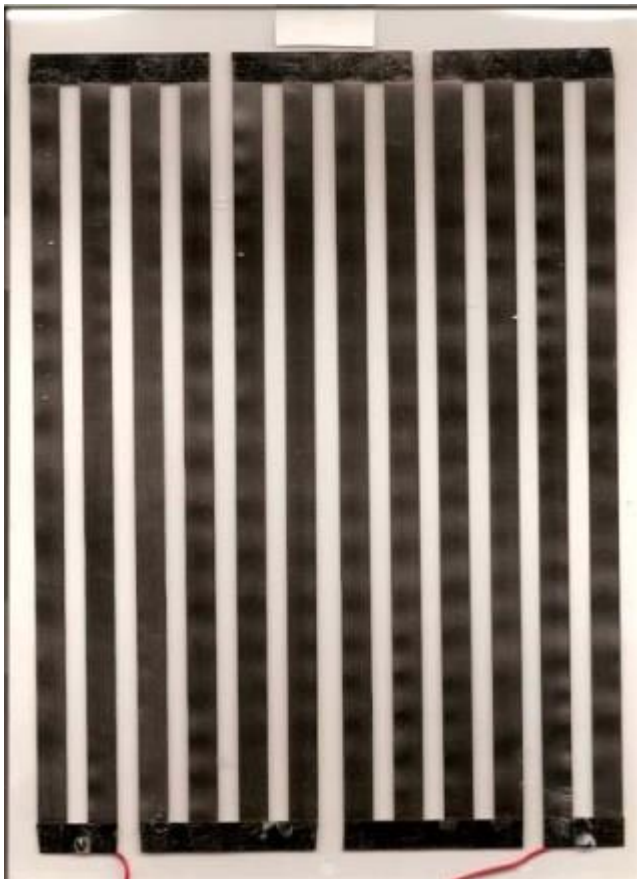


Рисунок 3.3 – Обігрівач для вуликів

Нагрівальний елемент обігрівача для вуликів розташований всередині тонкої пластини з полімерного матеріалу, яка є герметичною (див. рис. 3.3). Розміри пластини становлять 30×22 см. Робоча напруга становить 12 В, яка може бути як постійною, так і змінною. Потужність обігрівача складає 18 Вт.

Існує кілька методів обігріву, проте найбільш ефективний - це розташування обігрівача у нижній частині вулика. При обігріві гнізда знизу, обігрівач розміщується під рамками. Цей метод вважається одним із найкращих, оскільки тепло

рівномірно розподіляється по всьому гнізду. Інші можливі варіанти обігрівачів, такі як спіралі, лампочки, фотоглянцеві панелі, вимагають ізоляції від бджіл за допомогою сітки і використання металевого листа для рівномірного розподілу тепла, що може бути не так зручно. Основною перевагою використання обігрівача є його зручність. Його можна помістити у вулик через льоток, проводи живлення виводяться назовні і підключаються до джерела електроживлення.

Особливості використовуваного нагрівача включають його плоску форму (з товщиною, що ледве перевищує товщину паперового листа) та габаритні розміри 303×216×0,3 мм. Він надійно захищений від вологи, може бути митий, відрізняється високою гнучкістю, що дозволяє його згортати у трубочку. Також важливо відзначити його безпечність у застосуванні, оскільки він електрично ізольований. Крім того, нагрівач споживає дуже мало енергії (18 Вт) і легко встановлюється та обслуговується.

Обігрівач потужністю 18 Вт призначений для використання в робочих родинках, тоді як обігрівач потужністю 10 Вт використовується при створенні нуклеусів, невеликих відводків і в інкубаторах для маток і бджіл. Найефективніше розташування обігрівача виявляється, коли він розташований у доній частині вулика. Це призводить до зменшення витрат електроенергії порівняно з боковим розташуванням і забезпечує стабільність температури в центральній частині гнізда. Помістити обігрівач вулика можна зручно через нижній льоток або підняття кришки вулика, витягнувши 1-2 рамки і розташувачи його на дні. Якщо ширина льотка недостатня, можна створити надпил у нижній його частині з обох боків потрібної ширини (приблизно 3 мм - це приблизна товщина місць пайки проводів живлення). Обігрівач повинен знаходитися в гнізді на відстані приблизно 7 см від льотка для створення повітряного коридору.

Схема з'єднання обігрівачів розміщена на рис. 3.4. Номінальна напруга живлення для нагрівачів становить 12 В, будь то змінний чи постійний струм, тобто потребує використання трансформатора, що здійснює пониження напруги

з 220 В на 12 В. Максимальна напруга живлення не повинна перевищувати 15 В. Приєднання обігрівачів до мережі 220 В без використання понижуючого трансформатора **СТРИКТНО ЗАБОРОНЕНО**. Мінімальна потужність трансформатора розраховується за формулою: $P = 20 \times N$ (Вт), де N – кількість вуликів. Проводи живлення повинні бути виведені зовні і підключені до джерела електроживлення. Обігрівачі до трансформатора підключаються паралельним способом.



Рисунок 3.4 – Схема підключення обігрівачів

3.6 Вибір та обґрунтування датчика

В якості термочутливого елемента обираємо датчик типу TEWS-P12 (див. рис. 3.5). Датчики цього типу є доступними за ціною, ідеально підходять для простих PID-регуляторів (у програмованих автоматичних системах управління часто використовується лише з додатковою електронікою), можуть бути як заземленими (з швидкою реакцією), так і незаземленими (не чутливі до ударів та електромагнітного випромінювання). Діаметр наконечника датчика становить 8 мм, глибина установки до 40 мм; робоча температура – максимум 400 °С; термопровідність: 2×0,35 мм; пружина для захисту від згинань – V2A.

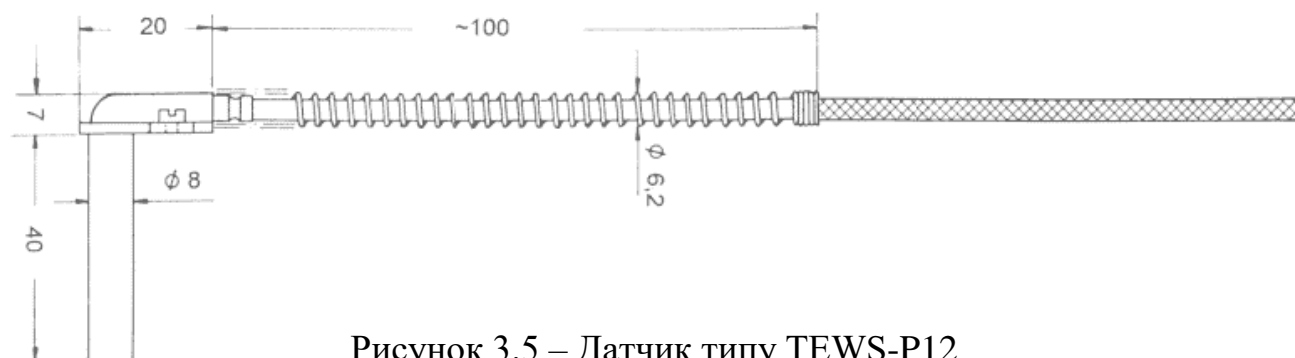


Рисунок 3.5 – Датчик типу TEWS-P12

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

Сучасна теорія автоматичного керування охоплює результати досліджень, проведених протягом багатьох років, які можна застосовувати до різних класів загальних багатомірних систем. Ці системи можуть бути визначені наступним чином: лінійними диференціальними рівняннями зі змінними коефіцієнтами, нелінійними диференціальними рівняннями, диференційно-різницевиими та іншими рівняннями з запізненням, рівняннями з частковими похідними та інтегральними рівняннями.

Сучасна теорія керування включає також теорію оптимального керування, яка дозволяє розробляти оптимальні системи. Оптимальні системи тут розглядаються як ті, що під час функціонування мінімізують або максимізують обраний заздалегідь критерій якості.

Автоматичне регулювання широко використовується в галузі електротермії, знаходячи застосування в численних реальних об'єктах, де необхідно контролювати або утримувати температуру середовища. Одним з таких об'єктів є вулик. Для регулювання температури в цьому контексті важливо автоматично управляти напругою джерела живлення, коефіцієнтом потужності установки, а також тривалістю окремих процесів нагрівання та їх тепловим режимом. У вивченому об'єкті необхідно використовувати автоматичні регулятори, які стабілізують їхній режим і забезпечують утримання потужності на встановленому рівні.

Деякі електротермічні процеси в промислових масштабах практично не можуть бути реалізовані без автоматизації. В інших випадках автоматизація сприяє зменшенню браку, покращенню якості виробів, підвищенню продуктивності праці, удосконаленню технологічних показників виробництва, зменшенню чисельності обслуговуючого персоналу та полегшенню умов його праці. У вивченому об'єкті автоматичне регулювання температури надасть можливість підвищити продуктивність бджіл у весняний період.

Основна мета пристроїв автоматичного регулювання температури полягає в забезпеченні оптимального обігріву вулика до заданого температурного режиму та у підтримці цього рівня з високою точністю, відповідною вимогам технологічного процесу. Ці вимоги можуть варіюватися в широких межах.

В розроблюваній системі використовується плівковий нагрівальний елемент. Елементи цього типу отримали широке застосування завдяки своїм важливим характеристикам, таким як можливість компенсації значної кількості енергії в невеликих об'єктах, здатність до швидкого нагрівання та досягнення будь-якої необхідної для досліджуваного об'єкта температури. Вони також забезпечують високу рівномірність нагрівання об'єкта та легкість регулювання подачі потужності, що, в свою чергу, спрощує автоматизацію контролю температурного режиму.

Вигляд плівкового нагрівального елемента представлено на слайді 03.01.

В ході проведення досліджень потрібно розробити математичну модель керованого об'єкта у формі функції передачі.

Вибрати такі параметри налаштування регулятора, які забезпечать відповідність системи встановленим критеріям точності та якості.

4.1 Опис комп'ютерно-інтегрованої системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Системи автоматичного регулювання температурного режиму використовують зворотний зв'язок для генерації керуючих впливів, які залежать від величини відхилення регульованої величини від заданого значення.

Система автоматичного підтримування температурного режиму в бджолиній сім'ї повинна включати елементи, такі як задаючий пристрій, вимірювальний блок, мікроконтролер, підсилювач потужності, об'єкт регулювання та датчик температури. Схема її функціонування подана на рисунку 4.1 (ілюстрація 04.01).

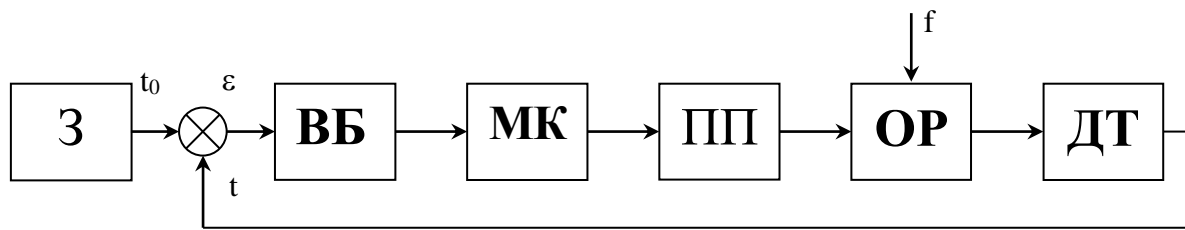


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи автоматичного підтримування температурного режиму бджолої сім'ї:
 З – задаючий пристрій; ВБ – вимірювальний блок;
 МК – мікроконтролер; ПП – підсилювач потужності;
 ОР – об'єкт регулювання; ДТ – датчик температури .

Сигнал від датчика температури ДТ вводиться на вхід елемента порівняння, який є складовою частиною вимірювального блоку ВБ. В елементі порівняння створюється сигнал неузгодженості, що дорівнює відмінності між сигналом від задавача та сигналом від датчика температури.

Відзначений сигнал помилки надходить на вхід регулятора, де може бути використаний закон регулювання, такий як П, ПІ, ПІД.

Типові закони регулювання реалізуються через використання операційного підсилювача та спеціально підключених опорів і ємностей, які подають сигнал на вхід виконавчого пристрою, яким є тиристорний підсилювач потужності.

Посилений сигнал у формі напруги вводиться в ланцюг нагрівання вулика. Два типи впливів виступають як збурення. По-перше, зміни внутрішніх параметрів вулика моделюються зміною кількості бджіл всередині. По-друге, вплив, зумовлений зовнішнім середовищем, включає зміни в кліматичних умовах протягом доби і на тривалий період.

Загалом, розроблювана система спрямована на точне регулювання температури та може бути використана в різних галузях промисловості, таких як електротехніка, електроніка, теплоенергетика та інші. Принцип роботи системи полягає в наступному: вимірювальний блок включає в себе захищений від перешкод підсилювач із задатчиком. В цьому блоку відбувається компенсація ЕРС термопар та задатчика. У комплекті з термопарою та регулюючим пристроєм, блок застосовується в системах високоточного регулювання температури.

Вказаний блок компенсує сигнал термопари за допомогою сигналу від вбудованого задатчика, і різниця цих сигналів підсилюється переднім підсилювачем.

З виходу вимірювального блоку подається посилений сигнал неузгодженості, який подається на вхід регулятора. Цей пристрій формує закон регулювання та конвертує вхідний сигнал в уніфікований сигнал постійного струму від 0 до 5 мА. Отриманий сигнал може бути використаний у блоках живлення (наприклад, тиристорних або магнітних) або інших пристроях для управління системою нагрівання. В розроблюваній системі пропонується будувати регулятор на основі мікропроцесора. У цьому випадку регулятор може включати індикатори для контролю за рівнем неузгодженості, елементи для динамічного налаштування, а також перемикач керування, який дозволяє переключатися на ручне управління об'єктом.

У цьому дослідженні необхідно вибрати мікропроцесор, який має аналоговий вихід. Такий вибір дозволить створити аналоговий регулятор, який може працювати за принципами пропорційного (П), пропорційно-диференціального (ПД), пропорційно-інтегрального (ПІ) або пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) управління.

4.2 Синтез коректуючого пристрою

4.2.1 Синтез коректуючого пристрою методом ЛАЧХ

Для відповіді вимогам по точності і якості (перерегулювання менше 5%, час регулювання менше 420 с), в систему необхідно ввести коректуючий пристрій у вихідному ланцюгу.

Спочатку слід визначити передаткові функції вихідного відкритого та замкнутого ланцюгів системи. З цією метою, з використанням літературних джерел, ми визначимо передаткові функції для кожного елемента системи відповідно до функціональної схеми системи автоматичного утримання температурного режиму бджолиного вулика (рис. 4.1). Результат буде структурною схемою, яку можна побачити на рис. 4.2.

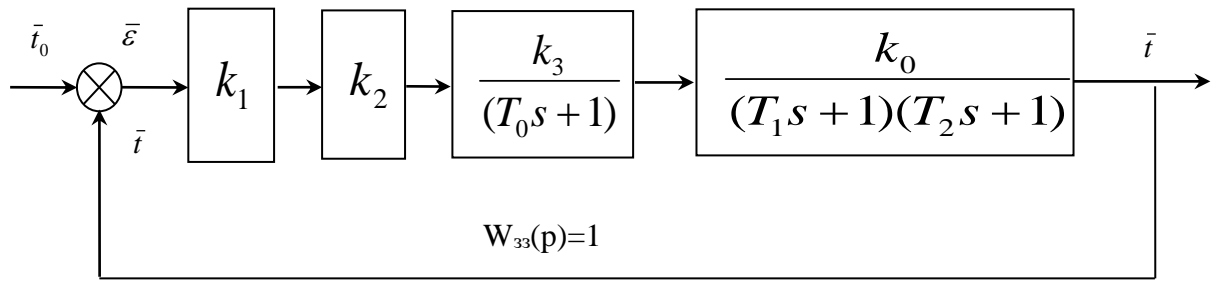


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи температури повітря у вулику

Знайдемо функцію передачі для розімкнутої системи. Оскільки всі компоненти пов'язані послідовно, тобто елементи з'єднані послідовно, функція передачі для розімкнутої системи буде рівна добутку функцій передачі кожного елемента, що входить у її структуру. Отже, отримаємо:

$$W_p(s) = W_{ББ}(s) \cdot W_{МК}(s) \cdot W_{ПП}(s) \cdot W_O(s) = \frac{k_1 k_2 k_3 k_0}{(T_0 s + 1)(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (4.1)$$

де $W_{ББ}(s) = k_1 = 0,08$ – передаточна функція блока вимірювального ;

$W_{МК}(s) = k_2 = 1$ – передаточна функція мікроконтролера;

$$W_{ПП}(s) = \frac{k_3}{(T_0 s + 1)} = \frac{10}{(0,5s + 1)} \quad \text{– передаточна функція підсилювача потужності;}$$

$$W_O(s) = \frac{k_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} = \frac{51,43}{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)} \quad \text{– передаточна функція}$$

керованого об'єкта.

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення компонентів системи, отримаємо загальний коефіцієнт підсилення для розімкнутої системи:

$$k = k_1 k_2 k_3 k_0 = 0,08 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 51,43 = 41,14 \quad (4.2)$$

Передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(s) = \frac{41,14}{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)(0,5s + 1)} \quad (4.3)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням $W_{зз}(s) = 1$, розраховується за формулою

$$W_3(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)} = \frac{k}{(T_0s + 1)(T_1s + 1)(T_2s + 1) + k} \quad (4.4)$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу елементів системи, отримаємо:

$$W_3(s) = \frac{41,14}{(0,5s + 1)(237,2624s + 1)(72,62s + 1) + 41,14} \quad (4.5)$$

Характеристичне рівняння системи має вигляд:

$$T_0T_1T_2s^3 + (T_0T_1 + T_0T_2 + T_1T_2)s^2 + s(T_0 + T_1 + T_2) + 1 + k = 0 \quad (4.6)$$

Підставивши значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу окремих елементів системи, отримаємо:

$$8615s^3 + 17384,94s^2 + s310,38 + 42,14 = 0 \quad (4.7)$$

На ілюстрації 04.02 наведені вище структурна схема, характеристичне рівняння, передаточні функції розімкнутої, замкнутої системи.

4.2.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

За цим критерієм стійкості замкнутої системи автоматичного регулювання визначається на основі амплітудно-фазової частотної характеристики стійкої розімкнутої системи. Розімкнута система автоматичного регулювання вважається стійкою, якщо вона складається лише з стійких динамічних ланок і не має більше однієї інтегруючої ланки. Якщо розімкнута система автоматичного керування є стійкою, то для забезпечення стійкості замкнутої системи достатньо, щоб амплітудно-фазова частотна характеристика розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до безкінечності.

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи необхідно виконати заміну відповідної передаточної функції, виділити її дійсну та уявну частини та, змінюючи частоту від 0 до нескінченності, фіксувати відповідні значення. Після проведення цих перетворень за допомогою

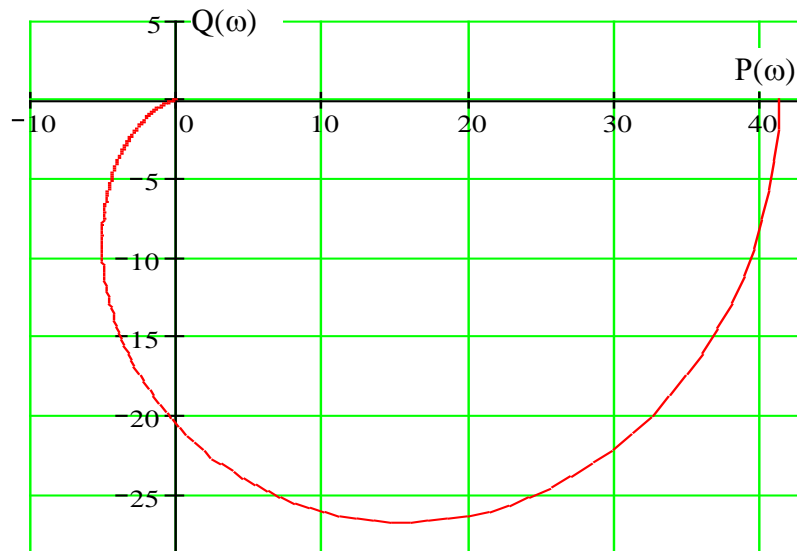


Рисунок 4.3 – АФЧХ розімкнутої системи

математичного редактора Matcad буде отриманий графік амплітудно-фазової частотної характеристики (див. рис. 4.3). Подальша робота включає збільшення масштабу в області точки з координатами $[-1; j0]$, побудову кола одиничного радіусу і визначення запасів стійкості за модулем і фазою (див. рис. 4.4). Як видно з рисунка 4.3, абсолютне значення запасу за модулем становить $Z_m = 0,9$, а запас за фазою - $Z_\phi = 17^\circ$.

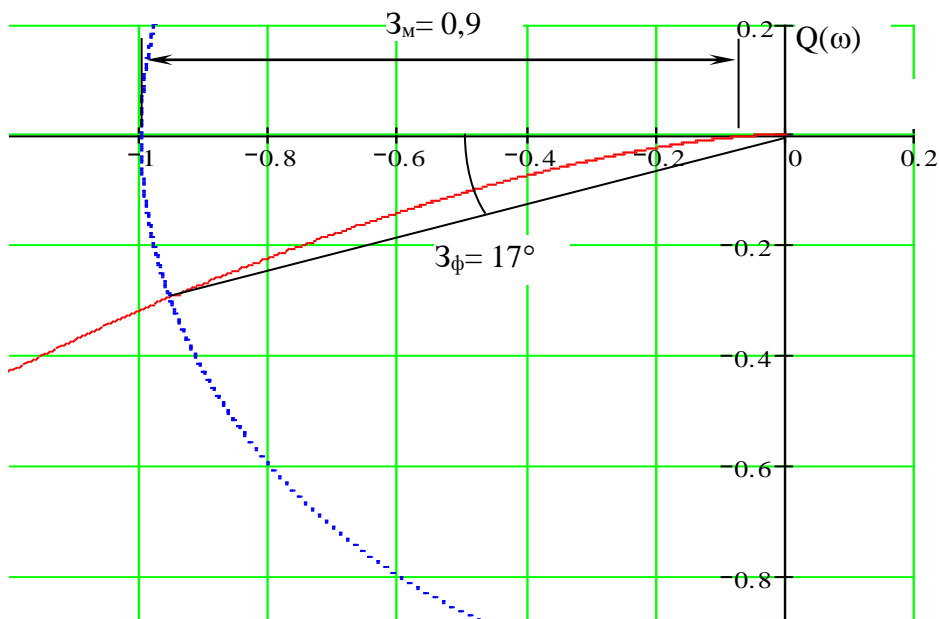


Рисунок 4.4 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.2.3 Оцінка якості регулювання замкненої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧХ за допомогою асимптотичного методу слід знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{237,2624} = 0,004215 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{72,62} = 0,014 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}.$$

Знайдені спрягаючі частоти відмічаємо на осі частот у логарифмічному масштабі. Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при значенні частоти представляє собою пряму з нахилом 0 дБ/дек, оскільки система не містить інтегруючої динамічної ланки. Ця пряма або її продовження при повинна мати ординату, що дорівнює $20 \lg k = 32,29$ дБ (де $k = 41,14$ - коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). Після кожної із спрягаючих частот нахил характеристики змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, оскільки ці частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, а саме її частина при частотах, що перевищують (значення відоме як ω_0), має нахил -60 дБ/дек..

Характеристика амплітуди та фази замкненої системи з одним контуром формується шляхом простого додавання значень ординат фазових характеристик типових компонентів, що входять до складу системи:

$$\phi(\omega) = (-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_1) - \arctg(\omega T_2)) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (4.8)$$

Оцінка ефективності регулювання в замкненій системі автоматичного регулювання включає в себе визначення запасів стійкості (за модулем і фазою) та частоти зрізу. Для отримання цих параметрів ми будемо амплітудно-фазову частотну характеристику (ЛАЧХ) та фазово-частотну характеристику (ЛФЧХ) розкритої системи, здійснюючи їх взаємне розташування (див. слайд 05.01).

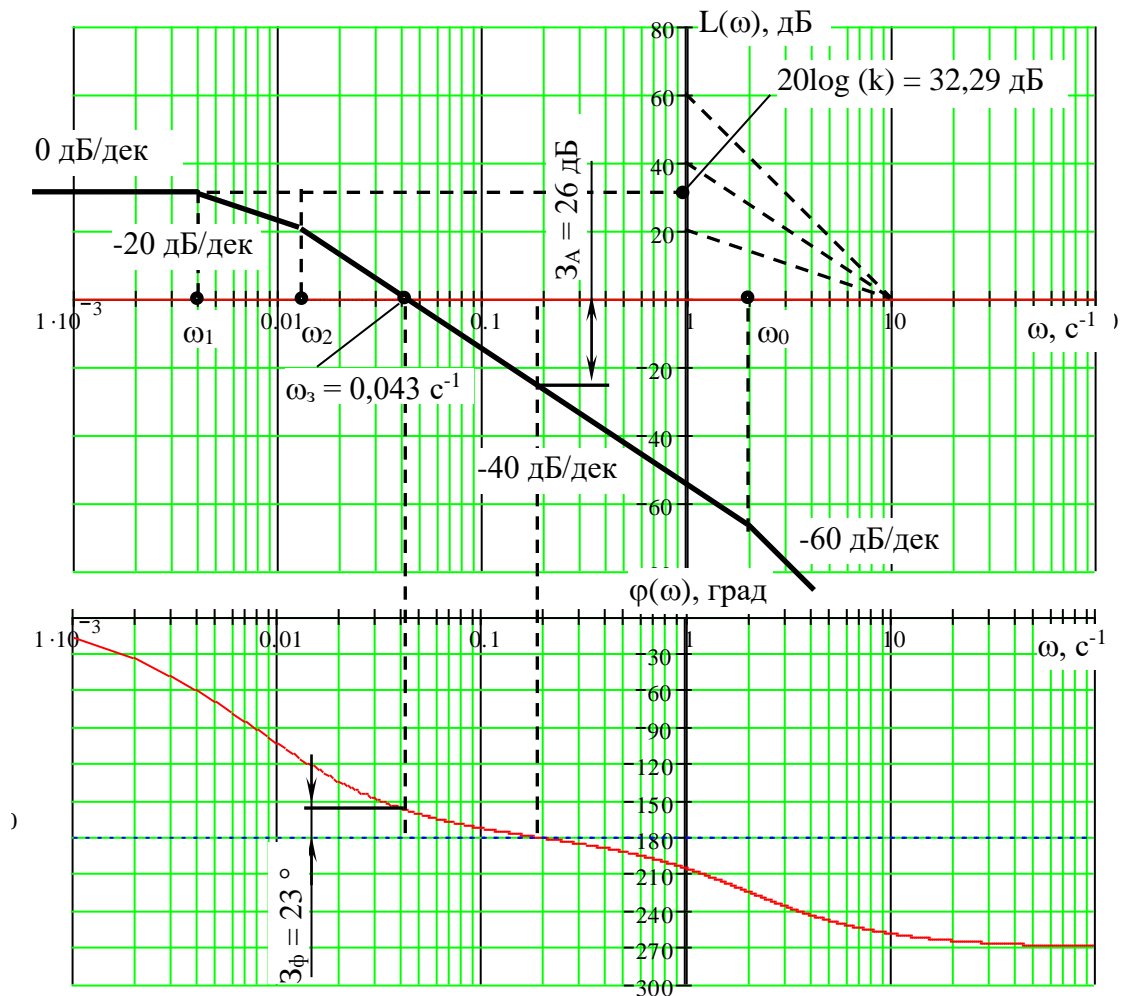


Рисунок 4.5 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

З даної побудови визначено: частоту зрізу $\omega_3 = 0,043 \text{ c}^{-1}$, запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 23^\circ$, запас стійкості по амплітуді $z_M \approx 26 \text{ дБ}$.

4.2.4 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

При подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння, регульована величина в часі описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (4.9)$$

Використовуючи цю формулу за допомогою математичного редактора Matcad, виділимо дійсну складову передаточної функції замкненої системи і побудуємо графік перехідного процесу (див. рис. 4.6, ілюстрація 05.02). З аналізу графіка можна зробити висновок, що перехідний процес є коливальним, і

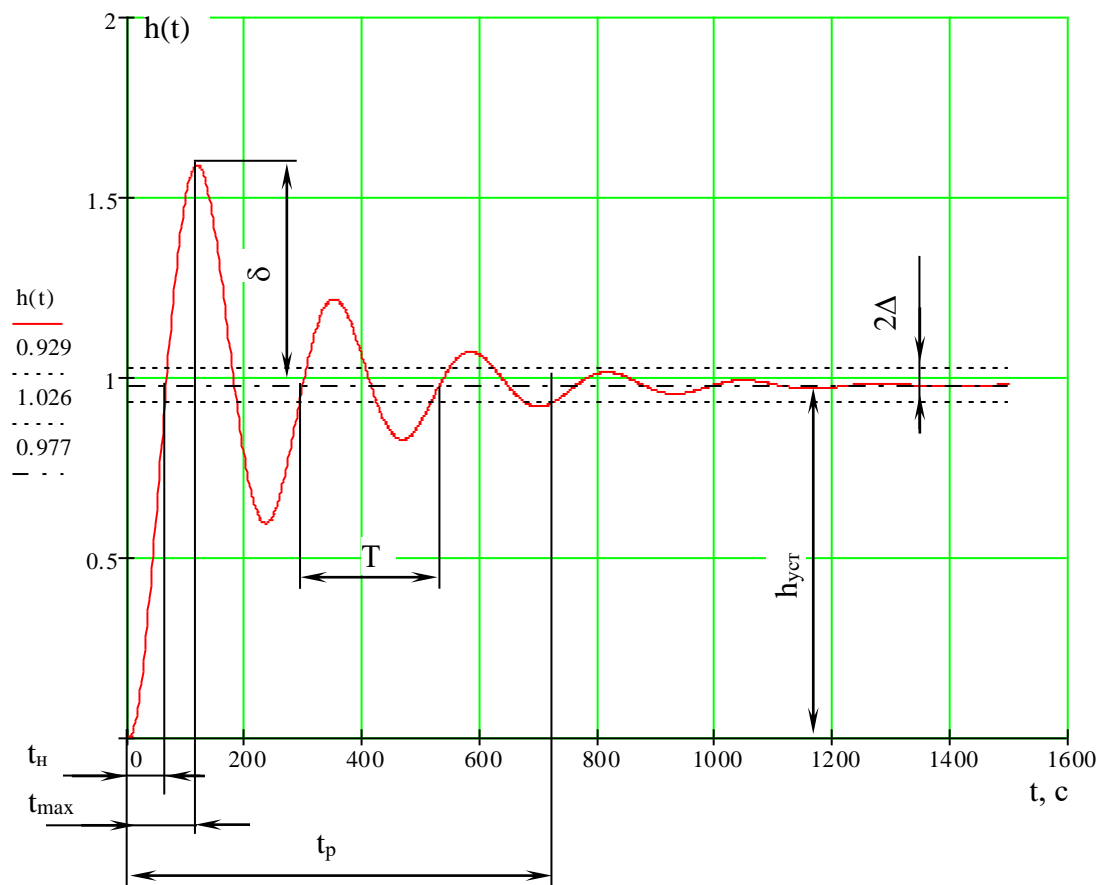


Рисунок 4.6 – Графік перехідного процесу вихідної системи

відбувається із постійним періодом коливань та затуханням. Крім того, можна визначити наступні прямі показники якості системи автоматичного регулювання:

- час регулювання, позначений як $t_p \approx 722$ секунди, визначає період від початку впливу вхідного сигналу до моменту, коли система досягає зони 2Δ (де Δ складає 3-5% від усталеного значення). Цей час залежить від швидкодії динамічних ланок та їх кількості у головному контурі. Оскільки для системи встановлені високі вимоги, параметр часу регулювання (t_r) повинен бути скорегований на 25% відповідно до вимог до системи автоматичного регулювання для синтезу коректуючого пристрою. Таким чином, приймаємо $t_r = 540$ секунд;

- перерегулювання $\delta = 58,9 \%$;
- кількість коливань перехідного процесу $k = 2$;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 64$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;

- час досягнення першого максимуму $t_{\max 1} = 116$ с;

- частота коливань $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,0044$ с⁻¹, де $T = 230$ с – період коливань;

- декремент затухання $d = 2,73$.

4.2.5 Побудова бажаної ЛАЧХ системи

Вимоги до розроблюваної системи автоматичного регулювання включають наступне: час регулювання $t_r = 540$ секунд, максимальне перерегулювання $\delta=15$, запас стійкості за модулем не менше 15 дБ і за фазою не менше 30 градусів. Для створення такої системи необхідно побудувати амплітудно-фазову характеристику (ЛАЧХ) розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ і ЛАЧХ коригуючого пристрою.

Побудова бажаної ЛАЧХ виконується в кілька етапів (рис. 4.7, ілюстрація 06.01).

Створення графіка в області низьких частот подібне до побудови амплітудно-фазової частотної характеристики (ЛАЧХ) незмінної системи. Іншими словами, проводиться асимптота з нахилом 0 дБ/декрес на через точку з координатами $20 \lg k = 32,29$ дБ.

Створення асимптоти в області середніх частот є найбільш важливою. У цьому діапазоні амплітудно-фазова частотна характеристика (ЛАЧХ) визначається передбаченими значеннями перерегулювання та часу регулювання перехідного процесу. З міркувань наближення реального процесу до оптимального за швидкодією, нахил асимптоти середньої частоти вибирається рівним -20 дБ/дек. Визначення частоти зрізу (частоти, при якій ЛАЧХ перетинає вісь частот) здійснюється відповідно до нерівності $\omega_{z,\min} \leq \omega_z \leq \omega_{z,\text{opt}}$. Для того, щоб задовольнити вимоги до якості системи, необхідно, щоб ω_z була менше частоти зрізу $\omega_{z,\text{opt}}$, яка визначається за максимальним прискоренням координати і величиною керуючого ступінчатого сигналу. Крім того дана частота ω_z повинна бути більше $\omega_{z,\min}$, яка вибирається за заданим значенням

максимального перерегулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По заданому значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{з\max})$ номограми визначаємо відповідне значення $P_{з\max}$. Потім по значенню $P_{з\max}$ за допомогою кривої $t_p = f(P_{з\max})$ визначаємо значення $\frac{2\pi}{t_p}$. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 540$ с і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{з\min} = 0,012$ с⁻¹, а для побудови приймемо дещо збільшене значення частоти зрізу – $\omega_з = 0,02$ с⁻¹ (дещо збільшену), наносимо на графік. Потім будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку $\omega_з$ на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі необхідно розширити середньочастотну асимптоту як ліворуч, так і

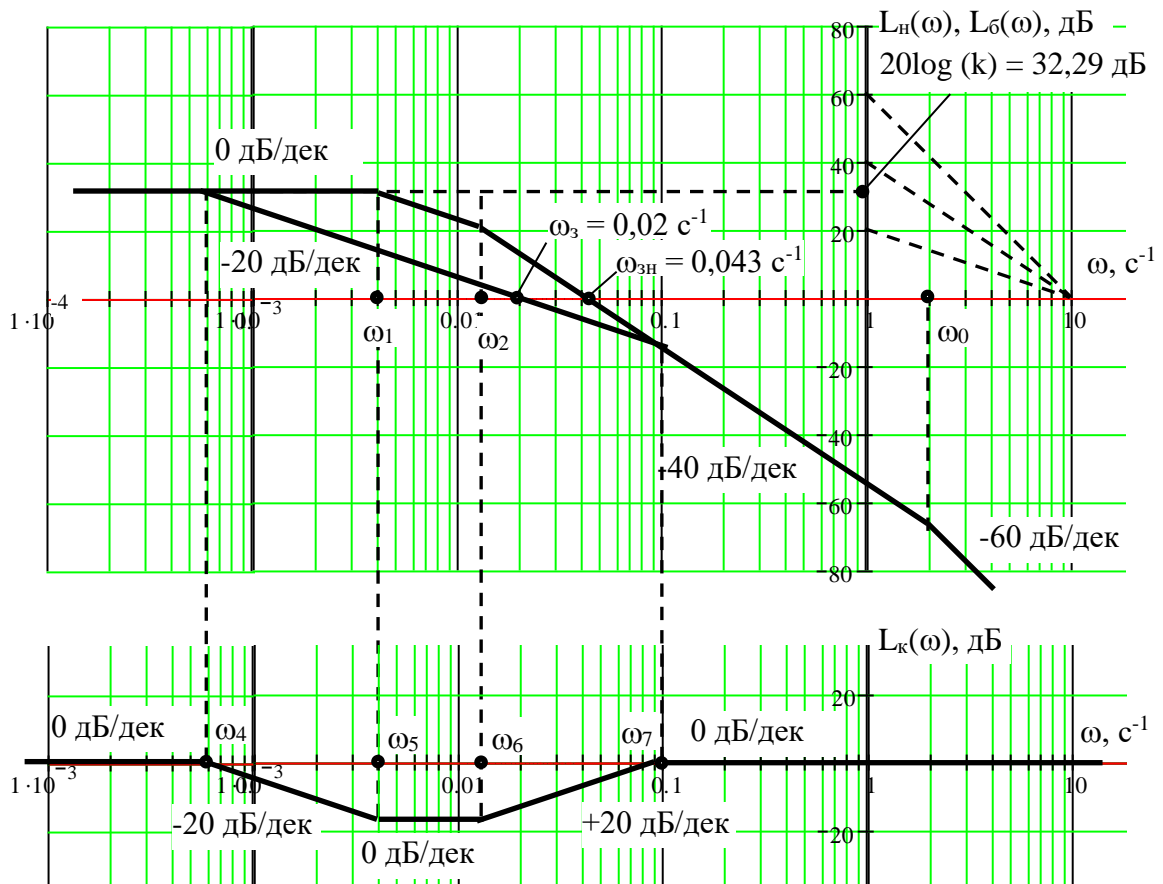


Рисунок 4.7 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

праворуч на певний відстані. Запаси стійкості визначаються за допомогою номограм $L(\omega) = f(\varphi)$, де P_z є константою, представленою на колових діаграмах. Значення P_z відповідає реальній частотній характеристиці замкненої системи. Таким чином, за допомогою номограми ми знаходимо криві для $P_{z_{\max}} = 1,2$ і $P_{z_{\min}} = -0,2$, які симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості по амплітуді визначається, проводячи горизонтальні дотичні до цих кривих і читаючи відповіді на осі ординат, що дорівнюють $L1 = 15$ дБ і $L2 = -15$ дБ. Таким чином, середньочастотну асимптоту слід продовжити ліворуч і праворуч до значень ординат $L1$ та $L2$, а лише потім спрягати з сусідніми ділянками.

Запас стійкості по фазі γ знайдемо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{z_{\max}} = 1,2$ і $P_{z_{\min}} = -0,2$ і відрахувавши значення кута в градусах від дотичної до лінії -180° . В даному випадку $\gamma = 45^\circ$.

4.2.6 Синтез коректуючого пристрою САР за ЛАЧХ

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної ЛАЧХ $L_k = L_b(\omega) - L_n(\omega)$ (рис. 4.8). За виглядом ЛАЧХ коректуючого пристрою обираємо схему коректуючого пристрою (рис. 4.8):

Передаточна функція такого чотирьохполюсника у загальному вигляді:

$$W_{kn}(s) = \frac{(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{(T_4s + 1)(T_7s + 1)} = \frac{(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{a_0s^2 + a_1s + 1}, \quad (4.10)$$

де $a_0 = R_1R_2C_1C_2$;

$a_1 = R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2$;

$T_5 = R_1C_1$;

$T_6 = R_2C_2$.

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу

$$\omega_4 = 0,0006 \text{ c}^{-1} \Rightarrow T_4 = 1/\omega_4 = 1667 \text{ c};$$

$$\omega_5 = 0,004215 \text{ c}^{-1} \Rightarrow T_5 = 1/\omega_5 = 237,2624 \text{ c};$$

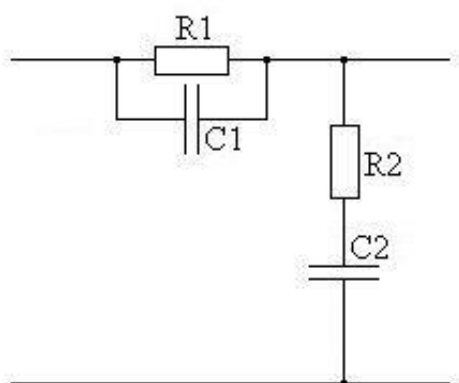


Рисунок 4.8 – Схема коректуючого пристрою

$$\omega_6 = 0,014 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_6 = 1/\omega_6 = 72,62 \text{ с};$$

$$\omega_7 = 0,1 \text{ с}^{-1} \Rightarrow T_7 = 1/\omega_7 = 10 \text{ с}.$$

Отже, передаточна функція коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(s) = \frac{(237,2624s + 1)(72,62s + 1)}{(1667s + 1)(10s + 1)} \quad (4.11)$$

Для отримання номіналів елементів коректуючого пристрою задавшись $C_1 = C_2 = 1000 \times 10^{-6} = 1000 \text{ мкФ}$, отримаємо такі значення опорів:

$$R_1 = 237262,4 \text{ Ом}; R_2 = 72620 \text{ Ом}.$$

Виберемо номінали опорів резисторів з шкали номінальних опорів для резисторів постійного опору відповідно ДЕСТ 2825-60, отримаємо: $R_1 - 270 \text{ кОм}$, $R_2 - 75 \text{ кОм}$.

4.2.7 Побудова перехідного процесу синтезованої САР та визначення показників якості

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(s) = \frac{k(T_5s + 1)(T_6s + 1)}{(T_0s + 1)(T_1s + 1)(T_2s + 1) \cdot (T_4s + 1)(T_7s + 1) + k \cdot (T_5s + 1)(T_6s + 1)} \quad (4.12)$$

За допомогою математичного редактора Matcad виділити дійсну складову передаточної функції замкненої виправленої системи та побудувати графік перехідного процесу (див. рис. 4.9, ілюстрація 06.02). З графіка можна зробити висновок, що перехідний процес є аперіодичним з перерегулюванням. Також можна визначити наступні параметри якості системи автоматичного регулювання: перерегулювання δ приблизно 14,9%, час регулювання $t_r=434$ секунди, час наростання перехідного процесу $t_n=162$ секунди та час досягнення першого максимуму $t_{max}=272$ секунди.

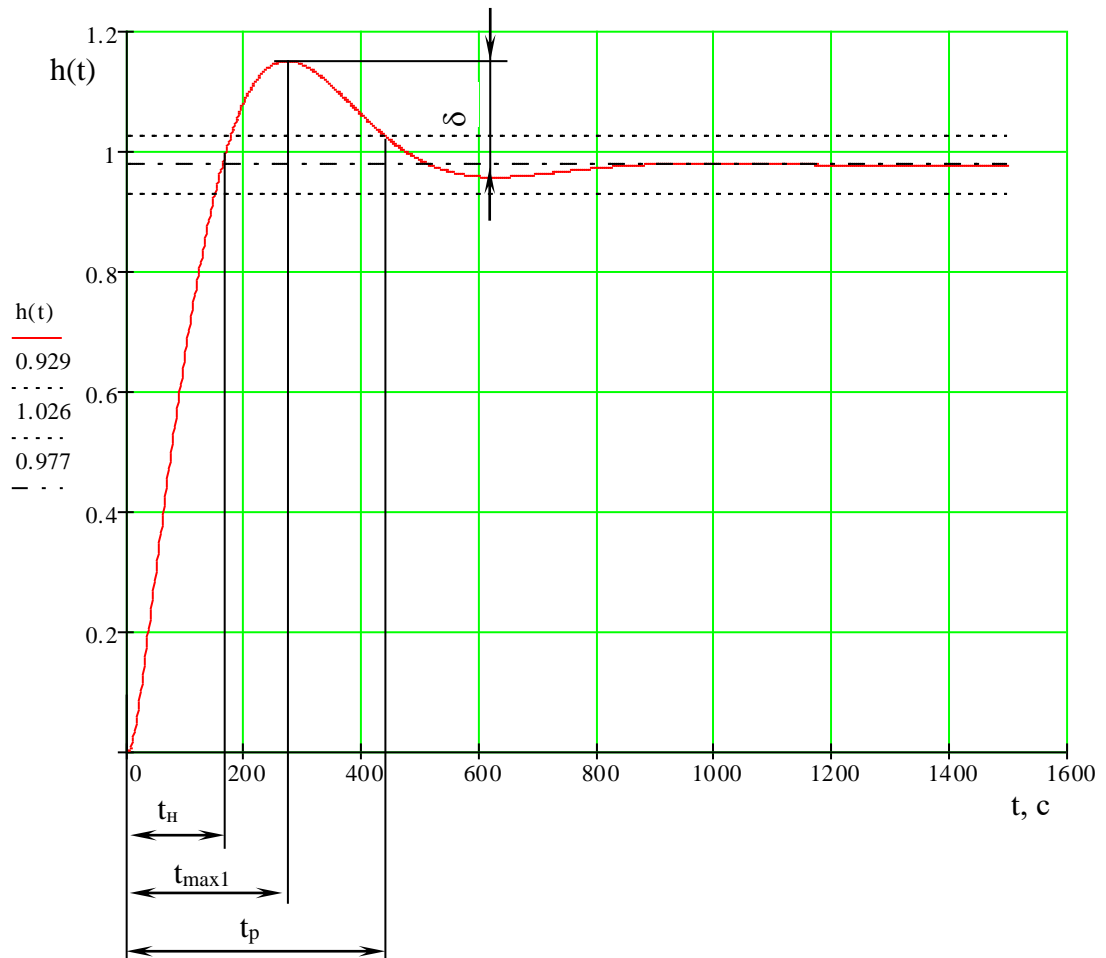


Рисунок 4.9 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

Отже, під час розробки на основі експериментальних даних було визначено передатну функцію для об'єкта, і цей процес виконувався трьома різними методами. Важливо відзначити, що одна з передаткових функцій була виведена для аперіодичної ланки першого порядку, тоді як два інші методи дозволяли визначити параметри аперіодичної ланки другого порядку. Саме ця передатна функція найточніше описує реальний об'єкт - вулик, де відбуваються теплообмінні процеси. На основі цієї передаткової функції було розраховано коригуючий пристрій, що призвів до скорочення часу регулювання з 722 с до 434 с, а перерегулювання зменшилося з 58,9% до 14,9%. Таким чином, система виявилася стійкою, а перехідний процес з коливального і затухаючого стану став аперіодичним із перерегулюванням.

5 ОПИС РОБІТ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ВУЛИКАХ ПРОМИСЛОВОЇ ПАСІКИ

5.1 Монтаж системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Монтаж мікропроцесорного блока та інших компонентів проводиться з урахуванням легкості обслуговування під час налагодження та ремонту системи, а також з урахуванням можливості встановлення додаткових блоків у шафі для розширення функціональних можливостей даної системи, таких як блоки вимірювання температури, вологості оточуючого середовища, швидкості і напрямку вітру та інших.

При нормальних умовах експлуатації прилади в шафі можуть працювати неперервно на протязі тривалого періоду. Проте внутрішній простір шафи обладнаний заходами для захисту від різноманітних зовнішніх впливів, таких як волога, пил, бруд, і комахи. Волога, пил та бруд можуть знижувати опір ізоляції, порушуючи нормальну роботу приладів. Присутність агресивних газів в повітрі може спричинити окислення контактних поверхонь реостатів, реле та інших елементів. Важливим завданням є уникнення сильних магнітних полів у місцях, де встановлені датчики та вторинні пристрої, а також у місцях прокладки з'єднувальних ліній від датчика до вторинного приладу.

У разі високої вологості та значної концентрації пилу в приміщенні, рекомендується детально налаштувати ущільнюючі прокладки та заблокувати непотрібні отвори в корпусі шафи. При експлуатації в умовах високої вологості усередині корпусу може бути встановлено контейнер із хімічним осушувачем, який слід періодично тісно закривати для збереження його ефективності.

Важливо приділити увагу правильному заземленню приладів, оскільки недостатня якість заземлення може спричинити додаткові похибки в вимірах вторинних приладів. Не рекомендується використовувати водопровідні та

опалювальні системи для заземлення. Розрахунок захисного заземлення наведено в розділі з охорони праці.

Лінія живлення, що живить силові електричні пристрої, може піддаватися значним коливанням напруги внаслідок змін у навантаженні. Крім того, на такій лінії можуть виникати перешкоди, спричинені струмами високої частоти, які виникають при виникненні дугових розрядів в силових агрегатах. Тому для живлення пристроїв бажано використовувати спеціальні КВП-лінії. Підключення пристроїв до мережі в деяких випадках реалізується через розподільчі трансформатори. Один з кінців вторинної обмотки розподільчого трансформатора слід заземлити для усунення наводок промислової частоти на вихідні ланцюги електронного приладу. Це особливо важливо для пристроїв із високоомним входом та для пристроїв, вимірювальні схеми яких живляться від мережних стабілізованих джерел. Розподільчий трансформатор повинен мати достатній резерв потужності. Перевантаження трансформатора може призвести до зниження напруги на вторинній обмотці та спотворення форми кривої струму. Підключення розподільчого трансформатора до мережі повинно виконуватись через двополосний вимикач та плавкі запобіжники. Не рекомендується підключати пристрої до мережі через автотрансформатор, оскільки він не забезпечує захист від перешкод. У випадку застосування понижуючого автотрансформатора обривання його обмотки може призвести до подачі повної напруги мережі.

Підведення напруги до шафи здійснюється за допомогою дроту з прорезиненою водонепроникною ізоляцією, при цьому діаметр дротів повинен бути не менше 1 мм. Для запобігання можливого механічному пошкодженню дроти рекомендується прокладати їх в гнучких металевих шлангах або трубах, які повинні бути надійно заземлені. Вводи дротів до шафи герметизуються за допомогою спеціальних ущільнюючих втулок. Важливо уникати нарощування дротів, а в разі його виникнення, необхідно обов'язково пропаяти місця стиків. Після завершення прокладання дротів необхідно здійснити перевірку опору

ізоляції відносно землі, який повинен бути не менше 10 МОм. Вимоги до дротів, які з'єднують датчики із вторинним приладом, залежать від типу датчиків та приладу. Загальною вимогою до більшості приладів є прокладення дротів від датчика до приладу в сталевих захисних трубках, обов'язково окремо від дротів мережі.

5.2 Налагоджування системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

Перевірку блоків слід проводити перед їх монтажем, під час регулярного технічного обслуговування та в разі виявлення пошкоджень під час експлуатації приладу. Перевірці підлягають основна помилка спрацювання вторинного приладу, основна помилка запису, варіація та поріг чутливості приладу, функціонування механізму установки робочого струму, сигналізація "обривання в ланцюгу приладу", рівень перешкод на вході електронного підсилювача, температурний режим деталей при тривалій роботі приладу. Перевірка приладів повинна проводитись при таких умовах: температура навколишнього повітря $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, напруга живлення не повинна відрізнятись від номінальної більше ніж на 3%, частота струму живлення $50\pm 0,5$ Гц, при відсутності зовнішніх магнітних полів.

5.3 Експлуатація системи регулювання температури у вуликах промислової пасіки

За правильних умов експлуатації, автоматичні електронні пристрої можуть надійно та безперервно працювати протягом значного періоду. Під час експлуатації важливо враховувати, щоб умови, які визнаються як нормальні для функціонування пристрою, залишалися сталими протягом всього терміну служби. Треба уникати коливань напруги живлення мережі за межами

допустимих значень.

При піднятті температури понад 40°C важливо збільшити вентиляцію приміщення. У холодну пору необхідно слідкувати за ефективністю опалення приміщення. У приміщеннях, де висока пилюка та вологість, важливо регулярно перевіряти стан ущільнювачів; у разі використання хімічних сушників слід контролювати їхню активність.

Необхідно регулярно змащувати ті частини вузлів, які піддаються тертю, відповідно до заводських інструкцій, які визначають строки та методи змащування. У процесі експлуатації слід систематично проводити огляд та регламентований ремонт приладів. Під час огляду блоки виймаються з шафи і направляються в майстерню, де їх очищають від пилюки та бруду за допомогою ганчірки та стиснутого повітря. Проводиться перевірка всієї електропроводки та затискувачів на надійність. Після усунення будь-яких виявлених несправностей та перевірки блоків на коректну роботу, їх встановлюють назад в шафу.

5.4 Схеми підключень елементів системи

Схема підключення на максимальну кількість вуликів

Через регулятор температури можна підключити до 25 шт. обігрівачів вуликів (рис. 5.1).

Вимоги до трансформатора:

Мінімальна потужність трансформатора: $P = 20 \cdot N$ (Вт), де N – кількість вуликів.

Максимальна потужність трансформатора: до 500 Вт

Вимоги до силового дроту (шині живлення вуликів):

Матеріал: мідь.

У зв'язку з численними конструктивними особливостями (зарядних пристроїв), використання зарядного пристрою для автомобільних акумуляторів не рекомендується.

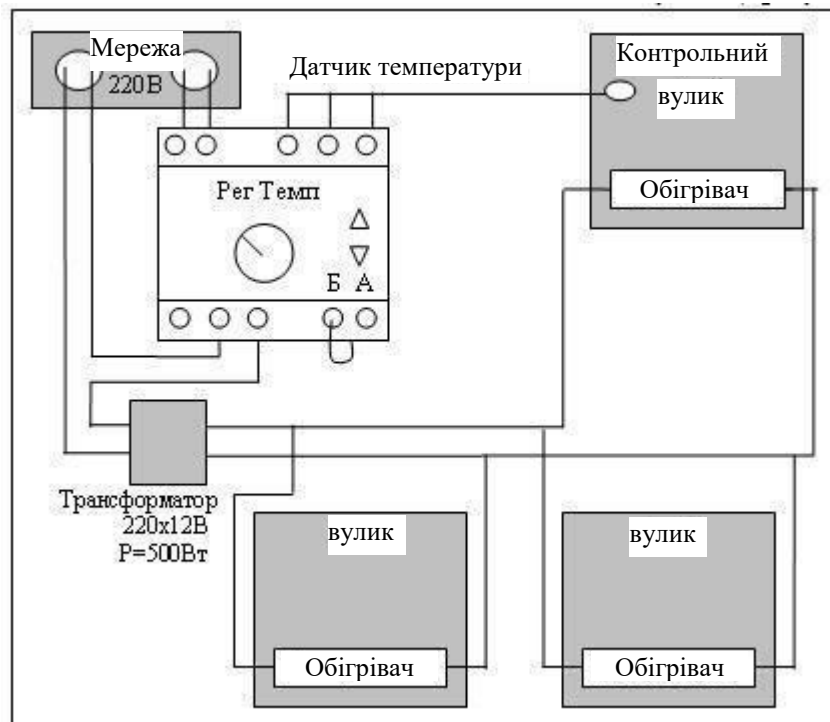


Рисунок 5.1 – Схема підключення на максимальну кількість вуликів

Схема підключення з використанням електронних трансформаторів

За допомогою регулятора температури, який використовує електронні трансформатори, можна підключити до 50 обігрівачів для вуликів (див. рис. 5.2). Електронний трансформатор, доступний у магазинах електричного обладнання і призначений для живлення галогенних ламп з напругою 12В, розташовується в непосредній близькості до вулика (не більше 2 метрів) в сухому місці, захищеному від вологи.

Потужність електронного трансформатора 40-60 Вт. Підключається згідно інструкції з експлуатації. Монтаж вести кабелем типу ШВВП з перетином не менше 0,35 мм².

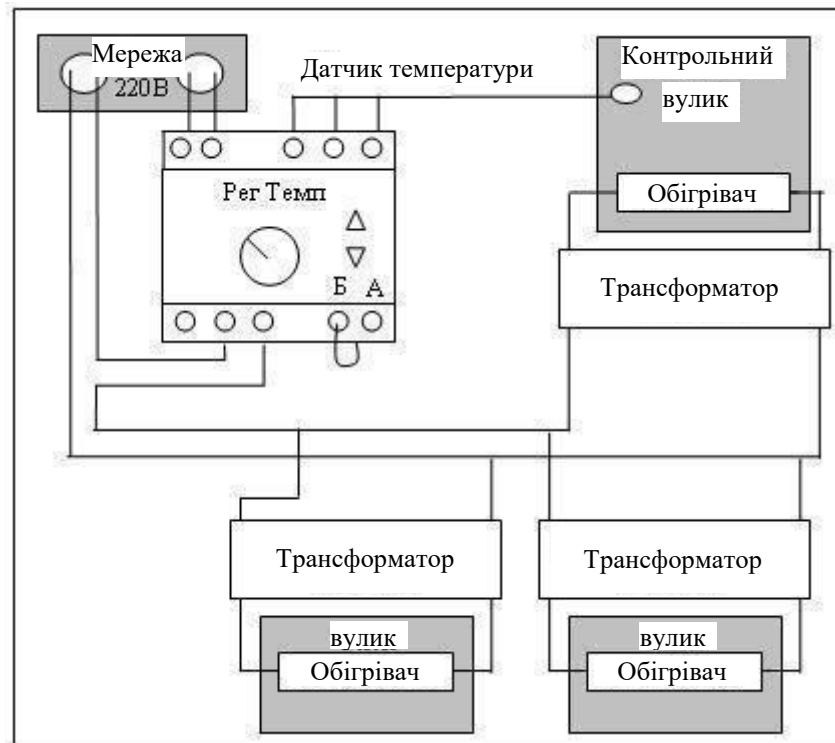


Рисунок 5.2 – Схема підключення з використанням електронних трансформаторів

Датчик вимірювання температури приєднується до регулятора згідно схеми, наведеної на рис. 5.3.

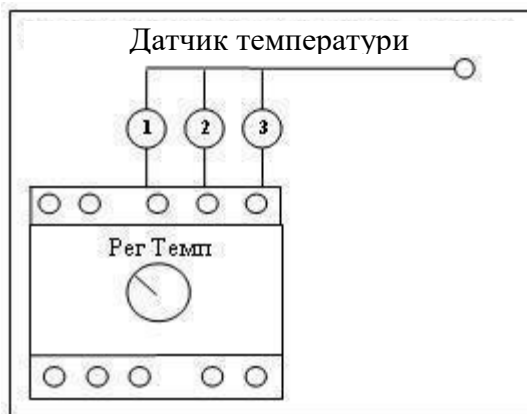


Рисунок 5.3 – Схема приєднання датчика температури до регулятора

У разі потреби у подовженні дроту датчика температури важливо вказати порядковий номер початку та кінця дроту і зберігати цю нумерацію при здійсненні підключення.

Дріт повинен мати екранування і не перевищувати довжину у 50 метрів. За окремим замовленням можливе подовження проводів датчика температури, але не більше 50 метрів.

ВИСНОВКИ

Метою випускної кваліфікаційної роботи було вдосконалення організації ведення пасічного господарства через створення системи стабілізації параметрів мікроклімату вулика. Головні цілі включали підвищення продуктивності бджіл, особливо під час весняного медозбору, а також поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу.

Під час реалізації проекту був проведений загальний огляд заходів, пов'язаних із облаштуванням пасіки. В рамках цього огляду детально розглянуто різноманітний інвентар, який використовується для роботи з бджолами, такий як інструмент для навощування рамок, знаряддя для відкачки меду, апаратура для обробки воскової сировини та загального призначення. Була розглянута класифікація рамкових вуликів і визначені вимоги до них, включаючи вимоги до вулика як основного житла для бджіл. Також розглянуті основні розміри вулика та технічні стандарти його виготовлення. В результаті огляду було виявлено, що ручна праця має переважаюче значення в бджільництві, існуючі пристрої та пристосування значно полегшують окремі трудомісткі операції. У світлі широкого використання мікропроцесорної техніки та її доступності, можна стверджувати, що створення і використання пристроїв на основі мікропроцесорів може істотно полегшити працю бджолярів, будучи в той же час досить доступними та простими у використанні.

Для забезпечення можливості автоматизації регулювання температури повітря у вулику, було проведено аналіз температурного режиму в гнізді бджіл, враховуючи температуру тіла бджоли при розплоді і без нього, а також процеси, якими бджоли регулюють температуру гнізда. Розглянуті були різні засоби підігріву бджолосімей, методи контролю розподілу теплового поля у вулику, і було обґрунтовано вибір датчика. Серед розглянутих методів вимірювання температури повітря для розроблюваної системи в даній роботі, був вибраний резистивний датчик як оптимальний компроміс між високою якістю роботи та технічною простотою реалізації.

На підставі огляду існуючих рішень та їх аналізу було обґрунтовано принцип побудови системи стабілізації параметрів мікроклімату вулика. Головною задачею цієї системи є забезпечення постійного значення температури. У складі системи передбачено наявність чутливого елемента, який реагує на зміну вказаного параметра. Для введення сигналу в мікроконтролер, його підсилюється до відповідного рівня, оскільки саме через мікроконтролер здійснюється зчитування сигналу від датчика температури та формування керуючого впливу на нагрівальний елемент у розроблюваній системі.

Розроблено структуру цієї системи, виконано проектування її функціональних і електричних принципових схем. Для підтвердження працездатності виробу проведено розрахунки стійкості системи, визначено запаси стійкості і здійснено синтез корекційного пристрою, спрямованого на скорочення часу регулювання та обмеження перерегулювання в розробленій системі.

Для забезпечення ефективної роботи розробленої системи стабілізації параметрів мікроклімату вулика розглянуті дії з її встановлення, налагодження та експлуатації.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

- РДТ – резистивний датчик температури;
- САР – система автоматичного регулювання;
- КТЗ – комплекс технічних засобів;
- УПК – уніфікований пристрій керування;
- САК – система автоматичного керування;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
- ВБ – вимірювальний блок;
- МК – мікроконтролер;
- ПП – підсилювач потужності;
- ОР – об’єкт регулювання;
- ДТ – датчик температури;
- ЕРС – електрорушійна сила;
- ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
- АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;
- ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика;
- ТУ – технічні умови;
- ІМС – інтегральна мікросхема;
- РЕА – радіоелектронна апаратура;
- ДНАОП – державні нормативні акти про охорону праці;
- САННіП – санітарні норми і права;
- СНіП – будівельні норми і правила;
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
- НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи;

Список літератури

1. А.І. Черкасова, В.М. Блонська, П.О. Губа та ін. Бджільництво — Київ: Урожай, 1989. — 304 с.
2. Іванова В.Д. Технологія виробництва продуктів бджільництва Миколаїв: МДАУ, 2009. — 245 с.
3. Приймак Г.М. Бджільництво: запитання та відповіді К.: УААН, 2003. - 600 с.
4. Петренко С.О., Петренко І.О., Ясько В.М. та ін. Виробництво, зберігання та переробка продукції бджільництва Підручник. — Одеса: Одеський державний аграрний університет, Бондаренко М. О., 2016. — 536 с.
5. Виробнича енциклопедія бджільництва Алексеєнко Ф.М., Бабич І.А., Дмитренко Л.І., Мегедь О.Г., Нестерводський В.А., Савченко Я.М. — Київ: Урожай, 1966. — 500 с.
6. Хмара П.Я., Муквич Н.В. Промислова технологія бджільництва иев: Урожай, 1987. — 98 с.
7. Разанова О.П., Скоромна О.І. Технологія виробництва продукції бджільництва авчальний посібник. — Вінниця: Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ), 2020. — 408 с.
8. Mallon I., Germantion D. Advances in high temperature solid pressure transducers – Adv. In Instrum., 1970, v.25, part 2.
9. Кондратець В.О. Автоматика та автоматизація виробництва сільськогосподарських машин. ч.1. - Київ: “Вища школа”, 1993. – 320 с.
10. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.:”Радиоаматор” 1998. – 704 с.
11. Бойко Н.П., Стеклов В.К. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ. – К.: Техніка, 1989. – 182 с.
12. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
13. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. - Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.