



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві \_\_\_\_\_ Станенку Миколі Сергійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Інтелектуальна система підтримання температурного режиму поїлки \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи \_\_\_\_\_

1) теоретичні матеріали, щодо принципів роботи систем контролю температури рідини;

2) теоретичні матеріали щодо роботи датчиків температури;

3) теоретичні матеріали щодо роботи систем нагріву рідин;

4) завдання на розробку системи.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) виконати аналіз предметної області;

2) провести огляд та вибір технічних засобів реалізації системи;

3) розробити структуру інтелектуальної системи;

4) реалізувати програмне забезпечення керування системою;

5) зробити висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 11 слайдів \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

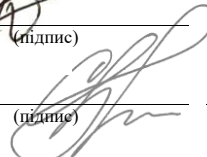
№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	27.05.25-28.05.25	
2	Розробка концепції побудови системи	28.05.25-30.05.25	
3	Вибір датчика температури	31.05.25-01.06.25	
4	Вибір нагрівального елемента системи	02.06.25-03.06.25	
5	Огляд і вибір елементів платформи Arduino	04.06.25-05.06.25	
6	Підключення основних модулів	06.06.25-07.06.25	
7	Реалізація системи та написання коду програми	08.06.25-09.06.25	
8	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	10.06.25-11.06.25	
9	Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист	12.06.25-13.06.25	
10	Подання атестаційної роботи на рецензування	14.06.25-16.06.25	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач

  
(підпис)

Керівник роботи

  
(підпис)

доц. Станіслав БОВЧАЛЮК

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 65 с., 26 рис., 2 дод., 20 джерел.

### КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ РІДИН, БДЖІЛЬНИЦТВО, ARDUINO, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка простої, надійної та безпечної системи підтримання температури поїлки для бджіл, що враховує добові зміни вартості електроенергії, та не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз предметної області, а саме – огляд відомих типів САР температури рідини. Зроблено огляд та вибір технічних засобів реалізації системи контролю температури: розроблено концепцію побудови системи, оглянуто та обрано датчик температури, вибрано нагрівальний елемент системи, проведено огляд і вибір елементів платформи Arduino. Виконано розробку системи контролю: проведено підключення основних модулів та власне реалізовано систему та написано код програми.

Розроблена система автоматичного керування температурою поїлки для бджіл на базі Arduino Uno поєднує простоту конструкції з функціональністю та енергоефективністю. Система здатна точно реагувати на зміну температури води і на добовий графік, вмикаючи нагрів лише в необхідні години, що забезпечує комфортні умови для бджіл у холодну погоду, при цьому зменшуючи зайве енергоспоживання. Конструкція проста у налаштуванні, не потребує високої кваліфікації персоналу. Використані підходи роблять систему доступною для самостійного виготовлення і перспективною для використання на пасіках у реальних умовах.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis: 65 pages, 26 figures, 2 appendices, 20 sources.

TEMPERATURE CONTROL OF LIQUIDS, BEEKEEPING, ARDUINO, ENERGY EFFICIENCY.

The major goal of the qualification work is to develop a simple, reliable, and safe system for maintaining the temperature of a bee drinker that takes into account daily changes in the cost of electricity and does not require highly qualified service personnel.

During the qualification work, an analysis of the subject area was conducted, namely, a review of known types of liquid temperature ATS. A review and selection of technical means of implementing the temperature control system was conducted: the concept of building the system was developed, a temperature sensor was reviewed and selected, a heating element of the system was selected, and elements of the Arduino platform were reviewed and selected. The control system was developed: the main modules were connected and the system itself was implemented and the program code was written.

The developed system for automatic temperature control of a bee drinker based on Arduino Uno combines simplicity of design with functionality and energy efficiency. The system is able to accurately respond to changes in water temperature and the daily schedule, turning on the heating only at the necessary hours, which provides comfortable conditions for bees in cold weather, while reducing unnecessary energy consumption. The design is easy to configure, does not require highly qualified personnel. The approaches used make the system accessible for self-manufacturing and promising for use in apiaries in real conditions.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	10
1.1 Огляд відомих типів САР температури рідини .....	10
1.2 Постановка завдання на розробку САР температури поїлки .....	19
2 ОГЛЯД ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ.....	21
2.1 Розробка концепції побудови системи .....	21
2.2 Вибір датчика температури.....	23
2.3 Вибір нагрівального елемента системи .....	30
2.4 Огляд і вибір елементів платформи Arduino .....	36
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ .....	41
3.1 Підключення основних модулів .....	41
3.2 Реалізація системи та написання коду програми.....	46
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	53
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	56
ДОДАТОК Б Публікації за темою кваліфікаційної роботи.....	63

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПД – пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання

ПЛК – програмований логічний контролер

CAP – система автоматичного регулювання

ТЕН – трубчастий електронагрівальний елемент

GSM – глобальна система мобільного зв'язку (англ., Global System for Mobile Communications, раніше фр., Groupe Spécial Mobile)

I2C – двопровідний послідовний протокол зв'язку обміну даними між електронними компонентами на близькій відстані (англ., Inter-Integrated Circuit)

IoT – інтернет речей (англ., Internet of Things)

LED – світлодіод (англ., Light-Emitting Diode)

LoRa – LoRaWAN, бездротова технологія далекого зв'язку з низьким енергоспоживанням (англ., Long Range Wide Area Network)

RTC – годинник реального часу (англ., Real-Time Clock)

Тuуа – багатофункціональна та доступна система розумного будинку

Wi-Fi – вайфай (англ., Wireless Fidelity)

ZigBee – бездротовий стандарт передачі даних

## ВСТУП

Тематиці підтримки сталої температури рідини у промисловості, сільському господарстві та побуті, присвячено достатньо велику кількість наукових публікацій, практичних рекомендацій та результатів готових до використання розробок. У той же час питанням реалізації такого достатньо простого з технічної точки зору технологічного процесу для його використання у бджільництві, присвячено вкрай мало робіт. Навіть більше – у публічному доступі як таких науково обґрунтованих рекомендацій щодо побудови САР температури у напувалці для бджіл знайти практично неможливо. Серед них можна згадати роботу [1], але вона скоріше присвячена питанням застосування різноманітних лікарських препаратів хімічного та природного походження.

На любительських пасіках бджолярі пристосовують для підігріву напувалок ті засоби, що є у них у наявності, або такі, які вони можуть реалізувати і налаштувати з урахуванням їхньої освіти, навичок, умінь і технічної кваліфікації. Так часто застосовують будь-які ємності, та обігрівачі і терморегулятори що є у наявності. При цьому питання надійності функціонування такої системи та безпечності для пасічника та інших людей, зазвичай відсуваються на другий план. Зрозуміло, що такий підхід для промислової комерційної пасіки є абсолютно неприйнятним.

У той же час у зв'язку зі змінами клімату та частими коливаннями температури навколишнього середовища, підтримання оптимального температурного режиму для бджіл набуває все більшої актуальності, адже для спеціалістів з бджільництва відомо, що у ранньовесняний період відразу після обльоту бджіл (в умовах України це зазвичай кінець лютого, початок березня) бджоли вимушені вилітати у пошуках води навіть при дуже низькій температурі на вулиці. У цей час температура повітря може бути в межах 5-10°C, а води лише трішки вище 0°C і, як наслідок, значна кількість бджіл-

водоносів клякне і гине, так і не виконавши свою місію. Бджоли, як холонокровні організми, критично залежать від зовнішніх умов, і температура води, яку вони споживають, значною мірою впливає на їхню активність, імунітет і продуктивність. Наслідком споживання холодної води є сповільнення розвитку бджолоколоній навесні, аж до втрати ними господарської цінності.

Саме тому питання створення системи автоматичного регулювання температури напувалки є важливим та актуальним, як з точки зору технологічного забезпечення пасік, так і з погляду збереження популяції бджолиних колоній в Україні.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Огляд відомих типів САР температури рідини

Системи регулювання температури, як клас, широко використовуються в побуті, промисловості, сільському господарстві (у тому числі бджільництві) та наукових установках. Вибір оптимальної системи залежить від умов експлуатації, вимог до точності, доступного бюджету та потреб в автоматизації.

Власне побудова таких САР включає кілька основних підходів, які застосовуються залежно від вимог до точності, масштабів, джерел енергії та середовища експлуатації. Розглянемо найбільш поширені типи таких систем, вкажемо їх переваги та недоліки.

Ручні системи керування. Системи такого типу можуть бути застосовані, коли потрібне лише епізодичне втручання оператора. Наприклад, зміна положення регулятора або подачі тепла вручну.

Переваги ручних систем керування:

- економічність;
- простота та надійність експлуатації.

Основні недоліки:

- необхідність постійної присутності оператора;
- низька адаптивність до змін умов експлуатації.

Зрозуміло, що ручні системи керування не можуть розглядатись у якості перспективних для реалізації підігріву поїлки для бджіл, але такий підхід існує і має право на згадку. Прикладом регулятора такого типу може бути звичайний прилад, що показаний на рисунку 1.1.

Механічні (також використовується назва пасивні) системи керування температури рідини [2, 3]. Системи такого типу не потребують електронних схем для реалізації САР. Прикладом можуть слугувати термостатичні

клапани або біметалеві регулятори, які змінюють положення під впливом температури. Приклад одного з варіантів реалізації такого типу регуляторів показано на рисунку 1.2.



Рисунок 1.1 – Ручний регулятор температури рідини

Переваги механічних систем:

- простота в реалізації;
- відсутність потреби у додаткових джерелах живлення (у першу чергу електричного);
- висока надійність.

Недоліки:

- низька точність;
- мала швидкість реакції на зміну температури;
- малий діапазон регулювання температури.

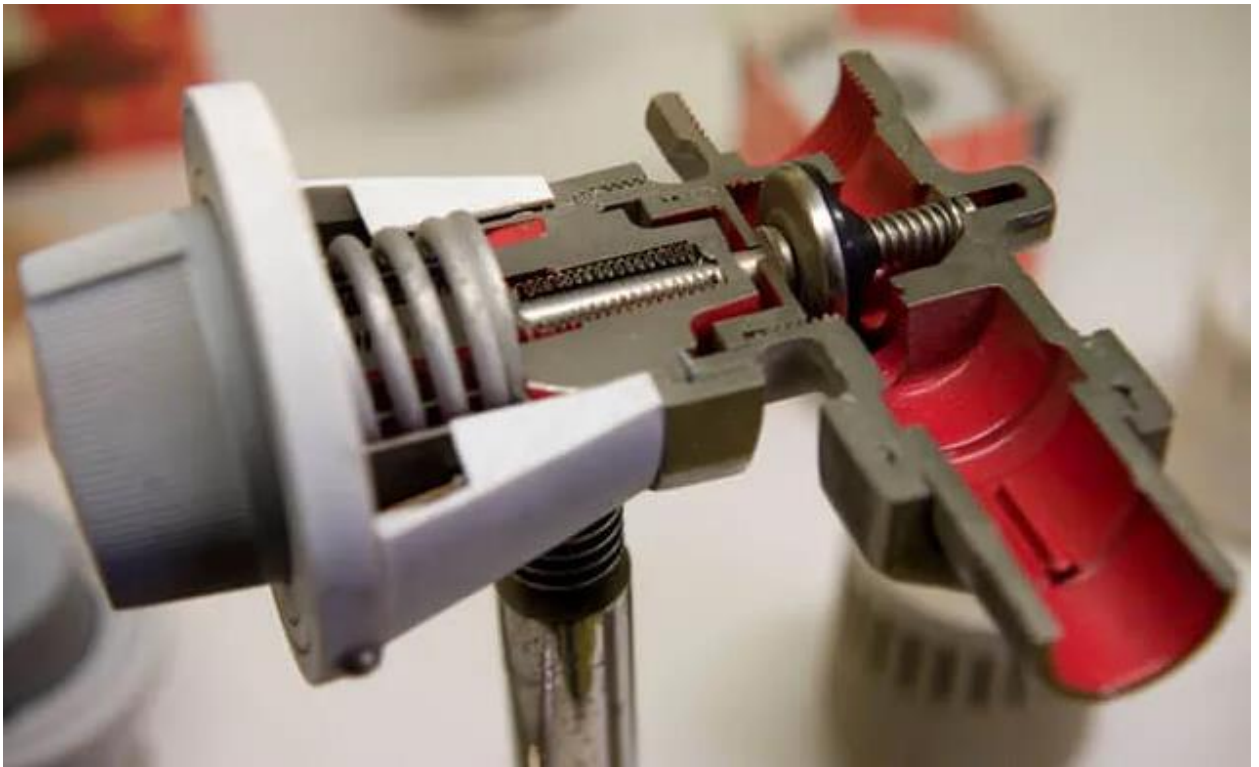


Рисунок 1.2 – Регулятор температури рідини механічного типу

Термостати механічного типу (on/off контролери) [4, 5]. Ці системи вмикають або вимикають нагрівач при досягненні заданої температури. Принцип дії таких регуляторів простий: якщо температура нижча за поріг – вмикається нагрів; якщо вища – вимикається.

Переваги:

- простота реалізації;
- невелика ціна;
- широке коло застосування.

Недоліки:

- наявність коливання контрольованого параметра («гістерезис»);
- низька точність у динамічному середовищі.

Прикладами промислових регуляторів подібного типу можуть бути капілярні термостати (рисунок 1.3) та контактні біметалеві термостати відкритого і закритого типу (рисунок 1.4, 1.5).



Рисунок 1.3 – Капілярний регулятор температури



Рисунок 1.4 – Біметалевий регулятор температури відкритого типу



Рисунок 1.5 – Біметалевий регулятор температури закритого типу

Електронні термостати (електронні on/off контролери), наприклад [6]. Є найпростішим типом цифрового контролю температури. Вони вмикають нагрівач, коли температура падає нижче заданого значення, і вимикають, коли досягається заданий поріг. Цей принцип дуже широко використовується в побутових приладах (чайники, бойлери, прості інкубатори). Приклад контролера такого типу показано на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Електронний on/off контролер температури

Враховуючи, що регулятори подібного типу є одними із найбільш масових, розглянемо її переваги і недоліки більш детально. Почнемо з переваг:

- простота конструкції та експлуатації. Система має мінімум компонентів: датчик, контролер, реле і нагрівач. Це забезпечує швидке налаштування і просте обслуговування.

- низька вартість. Завдяки простій логіці і відсутності складних алгоритмів, такі регулятори значно дешевші за ПІД-регулятори;

- надійність. Мінімум електроніки – менше шансів на поломку. Ідеально для умов, де потрібна стабільна робота без складного технічного обслуговування;

можливість роботи без програмування. Багато моделей не потребують мікроконтролерів або прошивок – достатньо виставити межі температури.

Але у подібних регуляторів також є маса недоліків:

- коливання температури (гістерезис). Температура в системі постійно «стрибає» між нижньою і верхньою межею, оскільки нагрівач працює без модуляції потужності. Це може бути критично в чутливих процесах (наприклад, інкубація або бродіння);

- повільна реакція на зміну навантаження. Система не враховує інерційність – якщо нагрів триває після досягнення температури, можливо її перевищення;

- знос контактів реле або симісторів. Часте вмикання/вимикання призводить до швидшого зносу виконавчих елементів;

- відсутність плавного контролю потужності. На відміну від ПІД-регуляторів, on/off-системи не можуть змінювати інтенсивність нагріву залежно від величини відхилення;

- не підходить для складних температурних профілів. Неможливо задати плавний або поетапний нагрів, потрібний для деяких технологічних процесів.

Ці регулятори ідеальні там, де не критична точність, але потрібна

дешевизна і надійність, наприклад у побуті, сільському господарстві, простих промислових установках.

Пропорційно-інтегрально-диференційні регулятори. ПІД-регулятори є найбільш точними з точки зору автоматичного регулювання. Вони враховують не лише поточну похибку, а й швидкість зміни параметра з часом (рисунок 1.7) [7, 8]. Регулятори цього класу зазвичай будуються на базі ПЛК.



Рисунок 1.7 – ПІД-регулятор температури

Основними перевагами ПІД-регуляторів є наступні:

- висока точність та стабільність підтримки керованого параметра;
- швидка адаптація до змін температури.

Недоліки ПІД-регуляторів:

- складність визначення та налаштування параметрів непідготовленим користувачем;
- висока вартість;
- необхідність додаткового електричного живлення і сенсорів.

Системи з дистанційним моніторингом (IoT-рішення). Такі системи

поєднують сенсори температури, бездротову передачу даних (ZigBee, Wi-Fi, LoRa, NB-IoT) і мобільні додатки або сервери керування (рисунок 1.8).

Переваги IoT-рішення:

- можливість контролю з будь-якого місця;
- можливості аналітики і логування даних;
- можливість інтеграції з іншими «інтелектуальними» системами (наприклад системою «розумний будинок»).

Недоліки IoT-регуляторів:

- залежність від інтернету та живлення;
- порівняно вища складність налаштування та обслуговування.



Рисунок 1.8 – IoT-регулятор температури

Також згадаємо про перспективні регулятори, що у контексті реалізуємої задачі скоріш за все не застосовуватимуться, але також присутні на ринку як окремий клас пристроїв.

Системи з логічним або нечітким управлінням (fuzzy control). Такі системи базуються на логіці «якщо-то» або застосовують алгоритми нечіткої логіки. Їх використовують там, де точне математичне моделювання складне або недоступне. Класичну структуру регулятора такого типу показано на рисунку 1.9 [9].

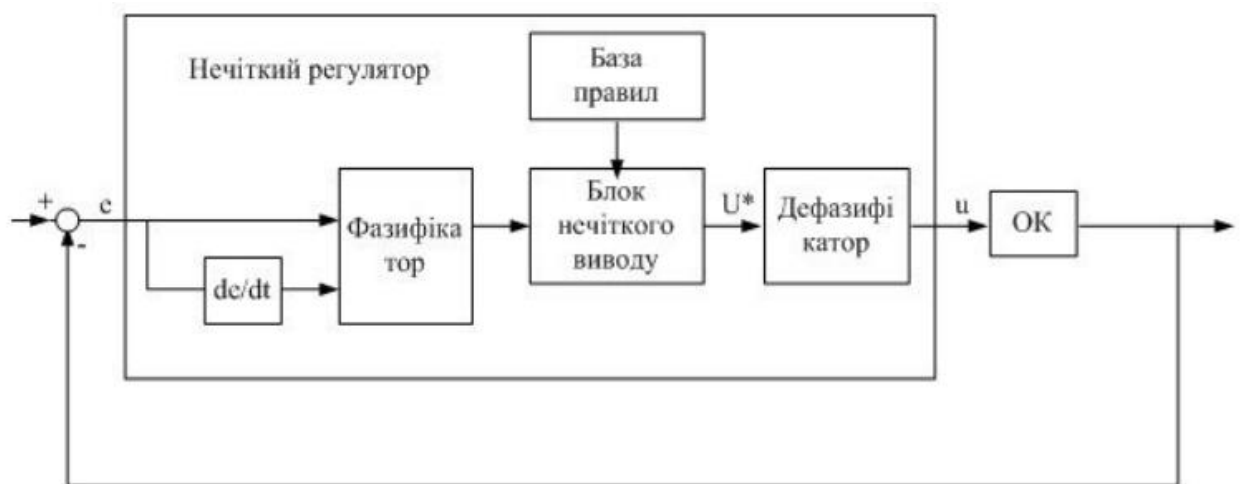


Рисунок 1.9 – Система керування з нечітким регулятором

Переваги fuzzy control регуляторів:

- гнучкість і адаптивність;
- якісна робота у складних та нестабільних середовищах, що вимагають підвищеної точності підтримки керованого параметра.

Недоліки:

- необхідність створення бази правил;
- відносно складна реалізація системи і, як наслідок, достатньо висока вартість.

## 1.2 Постановка завдання на розробку САР температури поїлки

Як показано вище, реалізувати систему підтримку температури поїлки можна різними способами. При цьому вона може мати різну вартість і, щ найважливіше, вимагатиме певної кваліфікації або навичок обслуговуючого персоналу. У випадку наявності на промисловій пасіці людини з відповідною технічною освітою, можна будувати і достатньо складну і вартісну САР, а якщо це невелике бджологосподарство, що обслуговується лише пасічником або його сім'єю, то виникає необхідність реалізації достатньо простої і надійної системи, що не вимагатиме серйозної технічної підготовки персоналу.

Отже обґрунтуємо, чому кваліфікація пасічника не дозволяє обслуговувати складні технічні системи регулювання температури поїлки.

Обмежена технічна підготовка. Пасічник зазвичай має аграрну або біологічну освіту й володіє знаннями про бджіл, рослинність, хвороби, догляд за вуликами тощо. Натомість складні системи регулювання температури (наприклад, електронні терморегулятори, контролери, нагрівальні елементи з датчиками) вимагають навичок з електротехніки, автоматизації, а іноді й програмування. Відсутність таких знань підвищує ризик неправильного монтажу, налаштування або обслуговування системи.

Підвищений ризик ураження електричним струмом. Системи з живленням 220 В або навіть 12/24 В можуть становити серйозну небезпеку. Невірне підключення, відсутність заземлення, пошкоджена ізоляція проводів, вологе середовище (що характерне для пасік) – усе це може призвести до ураження електричним струмом. Пасічник, не маючи допуску до роботи з електроустановками, не здатен об'єктивно оцінити ці ризики й належним чином усунути їх.

Вплив несправностей на життя і здоров'я. У разі короткого замикання, перегріву або пробоя ізоляції можливе займання обладнання або ураження електричним струмом. У польових умовах пасіки доступ до швидкої

допомоги обмежений, тому навіть незначний електротравматизм може мати тяжкі наслідки.

Необхідність у простих, інтуїтивно зрозумілих системах. Пасічник повинен зосереджуватися на бджолах, а не на складному обладнанні. Якщо система регулювання температури буде надмірно складною в обслуговуванні, з великою кількістю параметрів, потребою в регулярному технічному огляді або спеціальних інструментах, то це призведе до її виходу з ладу або неправильної роботи. У результаті страждатимуть як бджоли (через перегрів чи переохолодження води), так і сам пасічник (часові й фінансові втрати, можлива небезпека здоров'ю чи навіть життю).

Отже можемо зробити наступні проміжні висновки: для безпеки життя пасічника та надійної роботи поїлки необхідно створювати просту, надійну, ізольовану від прямого контакту електричну систему з мінімальним обслуговуванням. Це може бути, наприклад, поїлка з вбудованим термореле заводського виробництва, яке автоматично підтримує задану температуру, не потребуючи ручного втручання. В ідеалі вона має мати живлення 12 В із зовнішнім трансформатором, герметичні з'єднання, повністю захищений корпус із маркуванням «IP65» і вище.

Таким чином мету кваліфікаційної роботи можна сформулювати наступним чином: розробка простої, надійної та безпечної системи підтримання температури поїлки для бджіл, що враховує добові зміни вартості електроенергії, та не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

## 2 ОГЛЯД ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

### 2.1 Розробка концепції побудови системи

Враховуючи потребу у простоті, надійності, дешевизні та можливості розширення, одним із найкращих варіантів для реалізації системи автоматичного регулювання температури поїлки є використання мікроконтролерної платформи Arduino. У цьому обґрунтуванні розглянемо ключові переваги цього підходу, порівняємо його з альтернативами та доведемо його доцільність у контексті пасічного господарства.

Простота та доступність для непрофесіоналів. Arduino створена як навчальна і прототипна платформа, що ідеально підходить для користувачів без глибокої технічної підготовки. Отже не обов'язково знати електроніку на рівні радіоінженера чи програмування на рівні розробника ПЛК. Усі компоненти легко з'єднуються завдяки роз'ємам, а програмування здійснюється через просту мову, схожу на C++, з великою кількістю прикладів і бібліотек. На відміну від класичних ПЛК чи промислових контролерів, Arduino не потребує дорогих програмних середовищ, ліцензій чи складних апаратних інтерфейсів. Безкоштовна IDE, відкритий код, широка спільнота – усе це дозволяє створити і підтримувати систему власними силами або за мінімальної допомоги.

Наприклад, налаштування температурного порогу, за якого вмикається підігрів, можна реалізувати простим редактором коду або змінною в конфігураційному файлі. Весь процес конфігурування зводиться до підключення USB-кабеля і натискання кнопки «Завантажити», без потреби у спеціальних тренінгах чи сертифікації.

Доступна вартість комплектуючих. Arduino-платформи мають надзвичайно низьку вартість. Наприклад, базова плата Arduino Uno коштує

приблизно \$10–15, а її китайські аналоги ще дешевше. Датчики температури (DS18B20 або аналогові термістори) коштують \$1–2 за одиницю. Реле, що керує нагрівальним елементом, від \$2. Загальна вартість всієї системи не перевищує 20–30 доларів. У порівнянні з промисловими контролерами, які можуть коштувати сотні доларів, Arduino дозволяє отримати функціональну систему за невеликі кошти. Такий підхід надзвичайно важливий для малих і середніх пасік, де кожна копійка на рахунку, а розширення обладнання не повинно стати фінансовим тягарем. До того ж комплектуючі легко замінити в разі виходу з ладу. Arduino та сумісні з нею модулі є у вільному продажі, а самостійна заміна не потребує складного демонтажу або спеціального інструменту.

Гнучкість і розширюваність системи. Arduino легко модифікується відповідно до потреб. Сьогодні це може бути проста система: якщо температура  $< 15^{\circ}\text{C}$ , то підігрів вмикається, а якщо  $> 25^{\circ}\text{C}$  – вимикається. Але згодом пасічник може захотіти вдосконалити її, наприклад:

- додати сонячну панель і контролювати заряд акумулятора;
- враховувати добові тарифи на електроенергію (вмикати нагрів лише вночі);
- підключити GSM-модуль для отримання SMS у разі аварії;
- інтегрувати Wi-Fi-модуль для дистанційного керування зі смартфона;
- вести журнал температури у пам'яті або в хмарному сервісі.

Усі ці функції реалізуються додаванням відповідних модулів (ESP8266, SIM800L, SD-карта, RTC-годинник), які легко інтегруються завдяки готовим бібліотекам. Таким чином, система на Arduino – це не вузькоспеціалізоване рішення, а гнучка платформа, яка еволюціонує разом із потребами пасіки.

Низьке енергоспоживання та підтримка альтернативного живлення. Arduino може працювати від 5 В або 3,3 В і споживає вкрай мало енергії – кілька міліампер у сплячому режимі. Це відкриває можливість живлення системи не лише від мережі 220 В, а й від акумулятора, сонячної панелі чи

повербанка. У польових умовах, де відсутня стабільна електромережа або є ризик аварійних відключень, це є критичним. Arduino підтримує схеми автоматичного перемикачання на резервне живлення, керування зарядом акумулятора та оптимізацію споживання шляхом переходу у «Sleep mode» на час простою. Завдяки цьому система може працювати автономно протягом кількох днів навіть за несприятливих погодних умов або в разі аварійної ситуації.

Безпека, відповідність вимогам пасічника. Arduino дозволяє реалізувати важливі захисні функції, які зменшують ризик ураження електричним струмом або виходу з ладу обладнання. Зокрема:

- гальванічна розв'язка силових реле (через опторозв'язки);
- контроль стану реле (зворотний зв'язок);
- захист від перегріву нагрівального елемента;
- автоматичне відключення живлення у разі помилки.

Система на Arduino може бути змонтована в герметичному корпусі з класом захисту IP65, а її інтерфейс – інтуїтивно зрозумілим. Це дозволяє пасічнику зосередитись на основній роботі з бджолами, не витрачаючи час на складне обслуговування електроніки. За потреби система може бути легко демонтована або переміщена на іншу поїлку.

Отже все вищевказане дозволяє стверджувати, що саме платформа Arduino є одним з найкращих рішень для реалізації проєкту.

## 2.2 Вибір датчика температури

Контроль температури рідини є критично важливою функцією в багатьох автоматизованих системах – від поїлок для тварин і бджіл до систем підігріву, водопостачання, акваріумів і промислових теплообмінників. Платформа Arduino забезпечує гнучку основу для створення подібних систем. Однією з ключових частин будь-якого температурного контролера є датчик температури, і саме правильний вибір цього елемента значною мірою

визначає точність, надійність та енергоефективність системи.

Розглянемо найпоширеніші типи температурних датчиків для вимірювання температури рідини, які підтримуються платформою Arduino. Особливу увагу приділимо їхній точності, інтерфейсам, захисту від води, складності використання та вартості.

У якості претендентів розглянемо наступні елементи: термістори, цифрові датчики (DS18B20), аналогові ІС-датчики (LM35, TMP36), термопари та промислові варіанти з інтерфейсом 4–20 мА або І2С.

Термістори (NTC/PTC) – найчастіше вони використовуються в системах з грубим контролем температури – поїлках, обігрівачах, акваріумах, теплицях. Термістори – це терморезистори, опір яких змінюється зі зміною температури [10] (рисунок 2.1). Найчастіше використовуються NTC (Negative Temperature Coefficient) термістори, опір яких зменшується зі зростанням температури. Arduino не «бачить» температуру напряму, а вимірює зміну напруги через ділільник напруги, у який включено термістор.



Рисунок 2.1 – Термістори (NTC/PTC)

Переваги термісторів:

- дуже низька вартість (від \$0.1 до \$1);
- простота інтегрування через аналоговий вхід Arduino;
- доступні у водонепроникному виконанні (герметизовані у металевій гільзі або епоксидній смолі).

Недоліки:

- нелінійна характеристика, тобто він потребує калібрування або використання формули Стейнхарта-Гарта;
- низька точність без попереднього калібрування;
- залежність від якості подільника напруги та джерела живлення.

Наступним розглянемо цифровий датчик температури – DS18B20 [11]. DS18B20 – цифровий датчик від Dallas Semiconductor (тепер Maxim Integrated), який працює через інтерфейс 1-Wire. Він забезпечує пряму видачу температури в цифровому вигляді з точністю до 0,0625 °C. DS18B20 – найпопулярніший датчик для проектів, пов'язаних з рідиною. Використовується у поїлках, котлах, бойлерах, акваріумах, кавоварках, пивоварних установках тощо. Його зовнішній вигляд і призначення виводів показані на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Цифровий датчик температури DS18B20

Переваги DS18B20:

- висока точність ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  у межах  $10\dots 85^{\circ}\text{C}$ );
- можливість підключення декількох датчиків до одного піну Arduino;
- наявність готових бібліотек (DallasTemperature, OneWire);
- широкий робочий температурний діапазон (від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ );
- випускається варіант виконання у водонепроникному корпусі з металевою гільзою.

Але ці датчики також мають і певні недоліки:

- потребують трохи більше пам'яті та ресурсів проєкту, ніж аналогові датчики;
- він чутливий до довжини з'єднувального дроту (необхідна ретельна організація шини 1-Wire).

Наступний претендент аналогові ІС-датчики LM35/TMP36. Це прецизійні інтегральні датчики, які видають напругу, пропорційну температурі [12]. Наприклад, LM35 видає 10 мВ на кожен градус Цельсія. TMP36 має аналогічну функцію, але з нульовим зміщенням для зчитування нижчих температур. Зовнішній вигляд датчиків такого типу показано на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – ІС-датчики LM35/TMP36

Вкажемо переваги датчиків LM35/TMP36:

- просте підключення до аналогового входу;
- хороша лінійність;
- доступна ціна (\$1–3);
- є Arduino-бібліотеки.

Недоліки:

- вони не водонепроникні (непридатні для прямого занурення в рідину);
- чутливі до шумів та нестабільності живлення;
- не підходять для великих відстаней між датчиком і Arduino.

Зазвичай вони застосовуються там, де датчик знаходиться поруч з рідиною, але не занурений у неї: вимірювання температури труби, теплоізовованого резервуару, баків, тощо. Але його можна розмістити у латунній гільзі для контакту з поверхнею або занурення у рідину.

Наступні у нашому огляді – термопари (типу К, J, Т) та модулі MAX6675/31855 до них [13]. Зазвичай вони використовуються у системах з високотемпературним середовищем: парогенератори, харчове виробництво, лабораторії. Для поїлок і низькотемпературних рідин вони є надмірними.

Термопара генерує напругу (в мікрвольтах) на основі різниці температур між гарячим і холодним спаєм металів. Для підключення до Arduino використовують спеціальні модулі (наприклад, MAX6675, MAX31855), які зчитують ці слабкі сигнали і видають цифрове значення (рисунок 2.4).

Переваги комплекту такого типу:

- дуже широкий діапазон температур (до +1000°C);
- висока точність і швидкість;
- промислове виконання, можна використовувати з агресивними рідинами.

Недоліки:

- висока вартість комплекту (термопара + модуль може коштувати

\$10–25);

- більша складність підключення;
- потребує стабільного живлення та захисту від шумів.



Рисунок 2.4 – Модуль MAX6675 і термопара К-типу

Вибір датчика температури є ключовим технічним рішенням при розробці системи керування, особливо в умовах обмеженого бюджету, обмежених технічних знань обслуговуючого персоналу та необхідності надійної роботи в реальних умовах зовнішнього середовища. У цьому контексті застосування цифрового датчика DS18B20 виявляється надзвичайно вдалим як з точки зору ефективності роботи системи, так і з погляду загальної доцільності впровадження у польових умовах.

DS18B20 забезпечує оптимальний баланс між точністю, вартістю, простотою підключення та надійністю. Його точність  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  у широкому робочому діапазоні від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  є цілком достатньою для більшості задач регулювання температури рідини, включаючи поїлки для бджіл, ємності з теплою водою, мікросистеми опалення, фермерські об'єкти, теплиці, тощо. Оскільки цей датчик працює за цифровим інтерфейсом, він не

залежить від якості та стабільності джерела живлення, як це має місце з аналоговими датчиками, що критично важливо для роботи в умовах змінного навантаження на лінії живлення або живлення від сонячних панелей.

Ще однією значною перевагою DS18B20 є наявність водонепроникного виконання – у герметичному сталевому корпусі, що дозволяє безпосереднє занурення в рідину без додаткових захисних конструкцій. Завдяки цьому датчик можна розмістити саме в тій точці системи, де потрібно мати достовірну температуру, наприклад у зоні забору води бджолами або поруч з нагрівальним елементом. Це дає змогу забезпечити більш точне й ефективне регулювання, уникаючи як перегріву, так і недостатнього підігріву води, що особливо важливо для комфорту та виживання бджолиних сімей у прохолодний період.

DS18B20 має ще одну критично важливу для практики особливість – можливість підключення декількох датчиків до одного виводу мікроконтролера. Це дозволяє легко масштабувати систему – наприклад, встановити окремий датчик у кожному поїлку, резервуар або ділянку трубопроводу, й отримувати централізований контроль і керування всією мережею з одного Arduino-контролера. Таким чином, забезпечується модульність і адаптивність системи, що важливо при розширенні пасіки або модернізації господарства.

З погляду обслуговування, DS18B20 практично не вимагає профілактики. Він стійкий до вологи, корозії, механічного впливу. Підключення – трьома дротами (або навіть двома у паразитному режимі), з чіткою кольоровою маркуванням, тому монтаж не викликає труднощів навіть у користувача без спеціалізованих знань. Для Arduino-платформи існує велика кількість бібліотек та прикладів, що дозволяє швидко інтегрувати його у програму без необхідності писати код «з нуля».

Економічна доцільність застосування цього датчика також поза конкуренцією. За ціною \$2–4 за водонепроникну версію з кабелем, DS18B20 є доступним навіть для невеликих пасік або приватних господарств. А

зважаючи на його довговічність і мінімальну потребу у заміні, вартість володіння системою значно зменшується.

Таким чином, датчик DS18B20 не лише задовольняє усім вимогам створеної системи, а й забезпечує високу надійність, гнучкість, простоту інтеграції, енергоефективність і низьку вартість, що робить його найдоцільнішим вибором.

### 2.3 Вибір нагрівального елемента системи

При виборі нагрівального елемента для поїлки необхідно враховувати безпеку для бджіл і людини, споживання енергії, захищеність від вологи, простоту монтажу, можливість регулювання та сумісність із мікроконтролерними системами (зокрема Arduino). Нижче наведено аналіз основних варіантів нагрівачів, що можуть бути використані для системи, що проектується.

Дротові нагрівальні елементи. Одним із найдоступніших варіантів для нагріву води в поїлках є резистивні дроти, зокрема з ніхрому чи канталу. Такі елементи використовуються як джерело тепла за рахунок перетворення електричної енергії у теплову через опір провідника. Перевагою є низька вартість і можливість формувати нагрівачі довільної конфігурації. Проте в реальних умовах пасіки відкритий провід є вразливим до вологи, механічного впливу та потребує якісної електроізоляції. Його використання доцільне лише в умовах, де забезпечено надійний захист від прямого контакту з рідиною та атмосферними опадами. Такий варіант підходить переважно для експериментальних установок або в якості прихованого внутрішнього нагрівача в ізольованих корпусах.

Гріючі кабелі та стрічки [14]. Більш досконалим рішенням для зовнішніх умов є використання гріючих кабелів. Вони виробляються як із постійним опором, так і у саморегулювальному виконанні, де інтенсивність нагріву знижується із зростанням температури. Це значно підвищує

безпеку системи, зменшує витрати енергії та дозволяє уникнути перегрівів без складного керування. Кабелі зазвичай мають герметичну оболонку, стійку до вологи й ультрафіолету, що дозволяє використовувати їх у відкритих поїлках або навколо ємностей. Монтаж потребує уваги, особливо щоб уникати перехрещення, але загалом цей варіант добре себе зарекомендував в польових умовах. Ефективність кабельного нагріву особливо проявляється при використанні в парі з термоізоляцією. Зовнішній вигляд нагрівача такого типу показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Гріючий кабель

Керамічні нагрівачі з позитивним температурним коефіцієнтом (РТС) [15]. Цей тип нагрівачів поєднує в собі енергоефективність і вбудований захист. Завдяки властивостям матеріалу їх електричний опір збільшується із зростанням температури, внаслідок чого автоматично зменшується споживання струму. Це дозволяє відмовитися від складних регуляторів або зовнішніх термодатчиків у простих системах. Керамічні елементи є

компактними, довговічними, мають широку лінійку варіантів по потужності та можуть живитися як від мережі 220 В, так і від низьковольтних джерел (рисунок 2.6). Основною умовою їх ефективного застосування є забезпечення якісного теплового контакту з поїлкою. У закритих поїлках їх можна прикріплювати до дна або стінок, використовуючи теплопровідний клей чи притискні елементи.

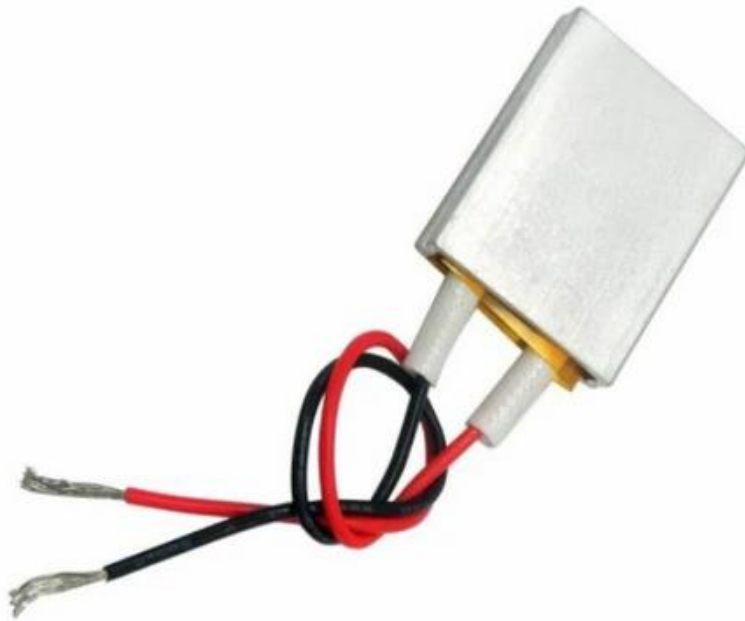


Рисунок 2.6 – Керамічний нагрівач

Акваріумні нагрівачі (рисунок 2.7). У випадках, коли потрібне повне занурення нагрівального елемента у воду, часто використовуються готові акваріумні нагрівачі. Вони зазвичай оснащені вбудованим терморегулятором, герметичні й прості в монтажі. Для пасічних задач це може здаватися зручним рішенням, однак такі нагрівачі переважно розраховані на експлуатацію у приміщенні й можуть бути недостатньо стійкими до морозу чи механічного впливу. Скляна оболонка є вразливою, а температура спрацьовування термостата не завжди підходить для умов пасіки. У відкритому середовищі доцільніше застосовувати інші типи нагрівачів, хоча в умовах утеплених павільйонів або теплиць акваріумні нагрівачі цілком можуть використовуватися з хорошими результатами.



Рисунок 2.7 – Акваріумний нагрівач

Гнучкі силіконові нагрівальні панелі (рисунок 2.8). Серед більш сучасних рішень помітне місце займають гнучкі нагрівачі на основі силікону. Вони мають вигляд еластичних пластин, які можна монтувати безпосередньо до ємності з водою, забезпечуючи ефективну теплопередачу та стійкість до вологи. Багато моделей підтримують напругу 12–24В, що робить їх придатними для живлення від сонячних панелей або акумуляторів. Вони легко інтегруються у системи на базі Arduino завдяки стабільному струму і простоті керування. Серед переваг варто відзначити можливість формування індивідуального контуру підігріву навіть для поїлок нестандартної форми, однак відносно висока ціна та потреба в обережному монтажі можуть обмежити застосування у системах з малим бюджетом.

Ну і наостанок – класичні трубчасті електронагрівачі (ТЕНи) [16]. Для систем із великим об'ємом води або централізованого підігріву підійдуть класичні ТЕНи – металеві трубки з внутрішнім резистивним елементом (рисунок 2.9). Вони забезпечують велику потужність і надійність, проте їх використання вимагає жорсткого контролю температури, оскільки надмірне

нагрівання може пошкодити обладнання або створити небезпеку. ТЕНи не призначені для безпосереднього підключення до Arduino, тому для реалізації автоматизації потрібне використання твердотільних реле, додаткового захисту та відповідного програмного забезпечення. Їх доцільно застосовувати в капітальних стаціонарних системах, зокрема у великих резервуарах, але не у компактних поїлках.



Рисунок 2.8 – Гнучкий силіконовий нагрівальний елемент



Рисунок 2.9 – Трубчасті електронагрівачі (ТЕН)

Отже використання гріючого кабелю як джерела тепла для підігріву води в пасічній поїлці є технічно і практично найбільш обґрунтованим рішенням, що поєднує простоту монтажу, енергоефективність і високу надійність в умовах відкритого середовища. Основною перевагою цього типу нагрівача є можливість гнучкої інсталяції – кабель легко обмотується навколо ємності або прокладається під її дном, забезпечуючи рівномірний розподіл тепла без необхідності безпосереднього контакту з водою. Це мінімізує ризики замикання та ураження електричним струмом, що критично важливо в умовах підвищеної вологості на пасіці та низької кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Особливо ефективним є використання саморегулювального гріючого кабелю, який автоматично змінює потужність нагріву залежно від температури навколишнього середовища. Така властивість дозволяє зменшити споживання електроенергії у теплі дні, уникнути перегріву води і, відповідно, зберегти здоров'я бджіл, які негативно реагують на надмірно гарячу воду. Крім того, саморегулювальний кабель легко інтегрувати в інтелектуальну систему підігріву на базі Arduino, що підвищує функціональність і дозволяє реалізувати розумне керування з урахуванням добових тарифів на електроенергію. Гріючі кабелі розраховані на роботу в складних умовах: вони мають волого- й термостійку ізоляцію, можуть експлуатуватись при мінусових температурах, стійкі до механічних впливів. Їхній термін служби складає 5–10 років при правильному монтажі, що значно перевищує ресурси більшості інших недорогих нагрівачів. Усе це робить гріючий кабель найбільш збалансованим вибором для створення простої, безпечної та довговічної системи обігріву поїлок на пасіках будь-якого масштабу.

## 2.4 Огляд і вибір елементів платформи Arduino

Arduino є провідною платформою для розробки мікропроцесорних систем автоматизації невеликої складності завдяки відкритій архітектурі, великій кількості модулів розширення та винятковій простоті програмування. При побудові системи керування температурою поїлки для бджіл постає питання вибору конкретної моделі Arduino, яка найкраще відповідатиме вимогам до енергоефективності, кількості входів/виходів, розмірів, типів інтерфейсів та стабільності живлення в польових умовах.

Розглянемо деякі варіанти, що підходять для нас – Arduino Uno, Nano, Pro Mini, Mega 2560 та Arduino Leonardo.

Arduino Uno: базовий і універсальний вибір – це найпоширеніша та найстабільніша модель серед Arduino-контролерів (рисунок 2.10). Вона побудована на мікроконтролері ATmega328P, має 14 цифрових входів/виходів, із яких 6 можуть використовуватись як PWM-виходи, а також 6 аналогових входів. Uno має вбудований стабілізатор живлення 5 В, може живитись від USB або з зовнішнього джерела 7–12 В через роз'єм живлення.



Рисунок 2.10 – Плата Arduino Uno

Для задачі контролю температури поїлки Arduino Uno цілком підходить: кількість входів дозволяє підключити цифровий термодатчик DS18B20, модуль реального часу (RTC), комутаційний елемент (реле або MOSFET), додаткові кнопки чи дисплей. Uno має стандартне розташування пінів, сумісне з безліччю готових шилдів (плат розширення), зокрема дисплейних, релейних і живлення.

Основні її переваги – простота відлагодження, повна сумісність з усіма бібліотеками, підтримка стандартного USB (через кабель типу B), міцна плата. З недоліків – великі габарити (не завжди зручно монтувати в компактний корпус) і порівняно високе енергоспоживання при живленні від батарей. Arduino Uno – це надійний вибір для стаціонарних систем із живленням від мережі або сонячного контролера [17].

Arduino Nano – це мініатюрна версія Uno, яка базується на тому ж самому мікроконтролері ATmega328P, але має менші розміри і монтується у вигляді модуля на плату або breadboard (рисунок 2.11 а). Вона має таку ж кількість цифрових і аналогових входів/виходів, але використовує microUSB для програмування та живлення. Nano особливо корисна в тих випадках, коли вся система має бути розміщена в герметичному, обмеженому корпусі. Завдяки невеликим розмірам Nano легко монтується на друковану плату або в пластиковий корпус, а підключення периферії реалізується через шлейфи або пайку.

З погляду функціональності Nano повністю покриває вимоги до системи: підтримка термодатчика, RTC, одного-двох виконавчих елементів, додаткових сенсорів. Для живлення можна використати microUSB або VIN (7–12В). Важливо враховувати, що оригінальні Nano з FTDI є стабільнішими, ніж дешеві копії з CH340G, які можуть потребувати додаткових драйверів. Arduino Nano — ідеальний варіант для компактних, економічних систем із розміщенням в полі або на обмеженій площі [18].

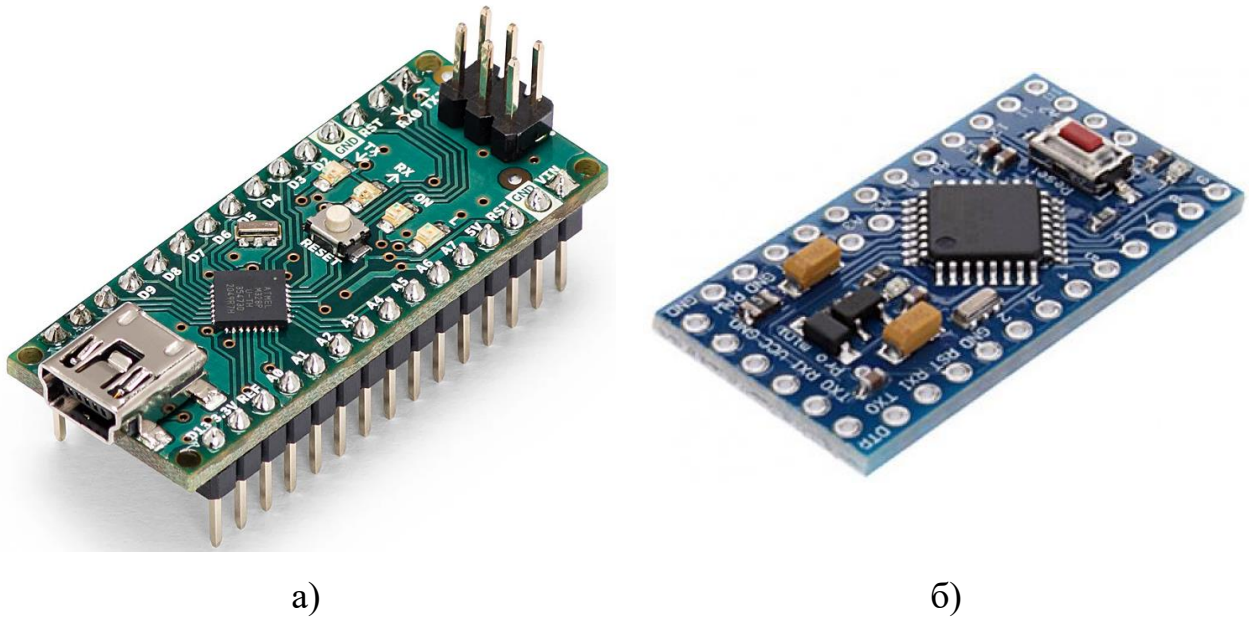


Рисунок 2.11 – Плата Arduino: а) Nano; б) Pro Mini

Наступний претендент – Arduino Pro Mini. Це ще більш компактна плата, ніж Nano, ідеальна для автономних або малопотужних систем (рисунок 2.11 б). Вона не має USB-інтерфейсу на борту, тому програмується через зовнішній USB-UART адаптер (FTDI або CH340). Проте її основна перевага – дуже низьке споживання струму, що важливо при живленні від акумулятора або сонячної батареї. Pro Mini доступна у версіях 3.3 В та 5 В, що дозволяє легко адаптувати її до різних сенсорів. При потребі автономної роботи (без дисплеїв, лише сенсор і реле) це одна з найбільш ефективних моделей, здатна працювати тижнями від акумулятора ємністю 2000–3000 мА·год. Однак необхідність використання окремого програматора, менше місця для монтажу, відсутність стандартних роз'ємів робить її менш зручною на етапі розробки, вона доцільна скоріше для енергоефективних автономних систем з мінімумом периферії.

Arduino Mega 2560 для розширених систем [19]. Якщо передбачається створення розширеної системи з кількома поїлками, великою кількістю сенсорів, дисплеєм, логуванням даних або інтерфейсом керування, то доцільно розглянути Arduino Mega 2560 (рисунок 2.12). Ця модель базується на мікроконтролері ATmega2560 і має велику кількість пінів: 54 цифрових (із

них 15 PWM) і 16 аналогових. Mega дозволяє одночасно підключити кілька DS18B20, кілька SSR або MOSFET, дисплеї, SD-карту, GSM-модем або модулі зв'язку. Проте вона є великою за розміром, споживає більше енергії і потребує достатньо простору в корпусі. Для простої поїлки це надлишкова функціональність, тому Mega 2560 не слід розглядати як кандидата.



Рисунок 2.12 – Плата Arduino Mega 2560

Ну і останній претендент – Arduino Leonardo із вбудованим USB-HID. Arduino Leonardo побудована на мікроконтролері ATmega32u4 і має особливість – вбудований USB-контролер (рисунок 2.13). Це дозволяє емулювати клавіатуру, мишу або інші USB-HID пристрої. Хоча така функціональність не є обов'язковою для системи керування температурою, Leonardo має нестандартну нумерацію пінів, що може бути незручно при використанні типових бібліотек. Крім того, Leonardo іноді складніше відлагоджувати через нестандартний bootloader. Тому хоч вона і підтримує ту

ж кількість I/O, що й Uno, для простих автоматизованих систем із реле та датчиками краще надавати перевагу більш класичним контролерам. Arduino Leonardo – це рішення скоріше для спеціалізованих застосувань із підключенням до ПК. Його не можна рекомендувати для простої системи поїлки.



Рисунок 2.13 – Плата Arduino Leonardo

Отже з моєї точки зору, саме Arduino Uno є оптимальним вибором для реалізації системи керування температурою поїлки через свою надійність, універсальність і простоту використання. Цей контролер має достатню кількість входів/виходів для підключення датчика температури, реле, модуля реального часу та додаткових компонентів, а також має забезпечити стабільну роботу навіть у складних умовах пасіки. Uno підтримує стандартне USB-програмування, легко інтегрується з популярними модулями (DS18B20, DS3231, SSR) і має найкращу підтримку бібліотек та документації серед усіх Arduino.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

### 3.1 Підключення основних модулів

Підключення датчика температури DS18B20 до плати Arduino Uno супроводжується не лише фізичним з'єднанням (рисунок 3.1), а й налаштуванням відповідного програмного забезпечення у середовищі розробки Arduino IDE. Таким чином, підключення DS18B20 до Arduino Uno потребує лише одного цифрового входу та простого налаштування бібліотек, що забезпечує зручне й точне вимірювання температури у системі, що розробляється.

Для роботи з DS18B20 необхідно скористатися двома основними бібліотеками: OneWire та DallasTemperature. Бібліотека OneWire реалізує низькорівневий обмін даними по однопровідному протоколу (1-Wire), яким користується DS18B20. Бібліотека DallasTemperature, у свою чергу, спрощує роботу з температурними сенсорами, які підтримують цей протокол.

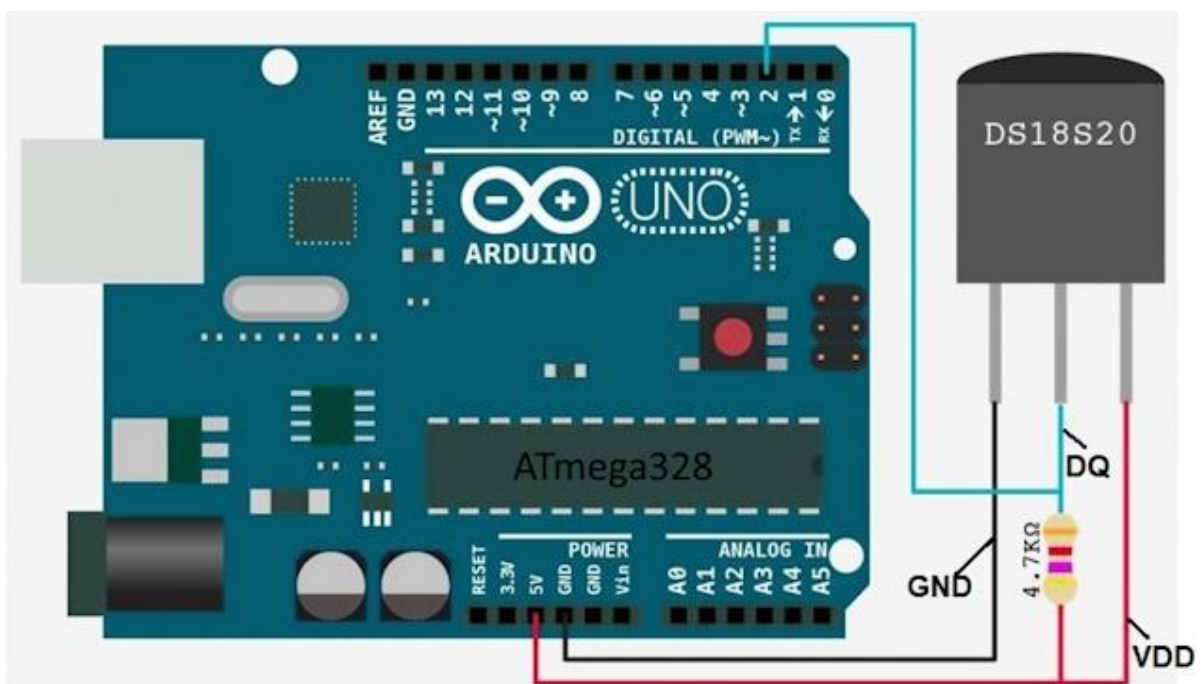


Рисунок 3.1 – Підключення DS18B20 до Arduino Uno

Щоб налаштувати систему, спочатку потрібно відкрити Arduino IDE та додати ці бібліотеки. Це можна зробити через меню Скетч → Підключити бібліотеку → Керувати бібліотеками. У вікні пошуку необхідно ввести «OneWire» і встановити бібліотеку, автором якої є Paul Stoffregen. Після цього в тому ж меню знайти та встановити бібліотеку «DallasTemperature».

Приклад скетча для Arduino Uno, що реалізує зчитування температури з датчика DS18B20, підключеного до піну D2. Цей код відображає температуру в серійному моніторі (Serial Monitor), показано у лістингу 3.1.

### Лістинг 3.1 – Робота з датчиком температури

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Визначаємо пін для лінії даних 1-Wire
#define ONE_WIRE_BUS 2
// Створення об'єктів для роботи з шиною 1-Wire та датчиком
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  // Запускаємо серійний порт для виводу даних у монітор порту
  Serial.begin(9600);
  delay(1000); // Невелика затримка для стабілізації
  // Ініціалізація бібліотеки температурних сенсорів
  sensors.begin();

  Serial.println("DS18B20 температурний датчик готовий до
роботи");
}

void loop() {
  // Запит на оновлення даних температури
  sensors.requestTemperatures();

  // Зчитування температури з першого (і єдиного) датчика
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Виведення температури в серійну консоль
  Serial.print("Температура води: ");
  Serial.print(temperatureC);
  Serial.println(" °C");

  // Затримка між вимірюваннями
  delay(2000); // 2 секунди
}
```

Для реалізації добового циклу роботи системи обігріву поїлки для бджіл доцільно використовувати RTC-модуль DS3231, який забезпечує точне відстеження часу навіть при знеструмленні контролера. Такий підхід дозволяє автоматично вмикати нагрів лише в задані години, наприклад у ранковий і вечірній період, коли температура повітря найнижча, або відповідно до тарифів на електроенергію.

Модуль DS3231 підключається до Arduino Uno через I2C-інтерфейс у відповідності до рисунку 3.2.

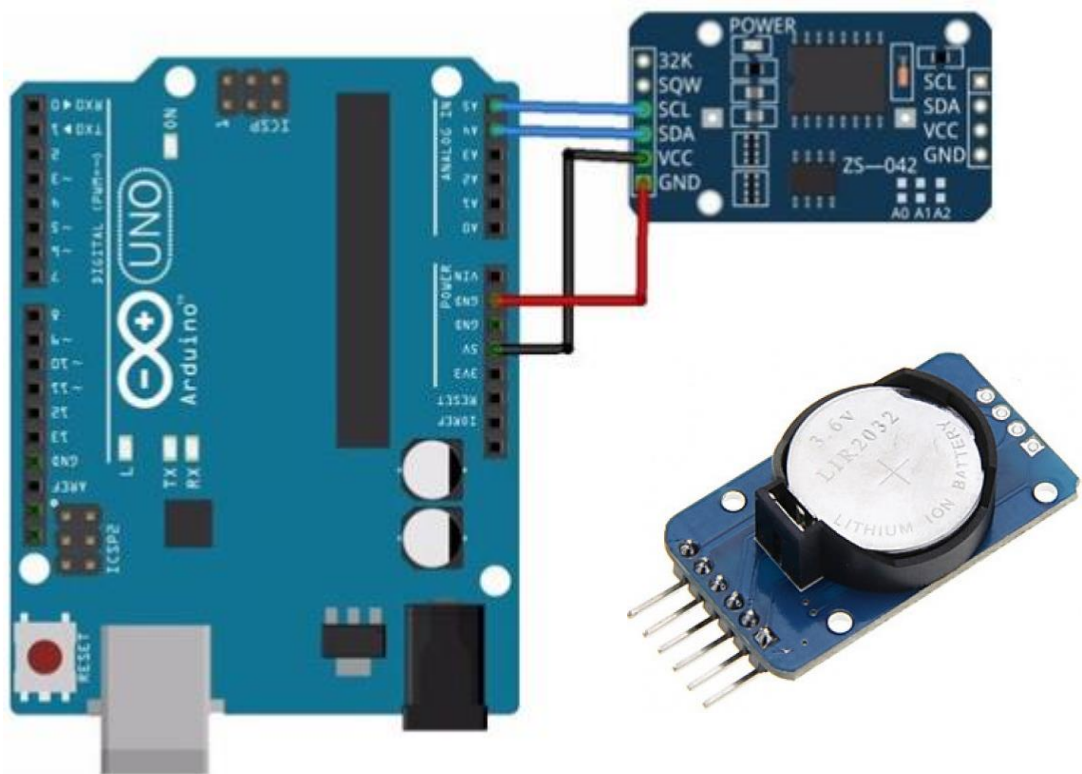


Рисунок 3.2 – Підключення модуля RTC DS3231 до Arduino Uno

Для роботи з RTC у середовищі Arduino IDE використовується бібліотека `RTClib`, яку необхідно встановити через менеджер бібліотек. Після встановлення необхідно підключити її в скетчі разом з бібліотекою `Wire`.

Таким чином, обігрів буде працювати лише у визначені години доби, що дозволяє зекономити електроенергію, продовжити ресурс нагрівача та узгодити роботу з біологічною активністю бджіл або з графіком відповідних

тарифів на електроенергію. Модуль DS3231 працює з батарейкою CR2032 і зберігає значення часу навіть після відключення живлення Arduino, тому система є незалежною і не потребує повторного налаштування після кожного перезапуску.

Приклад скетча для вмикання обігрівача о 5 годині ранку, а вимикання у сьомій годині вечора наведено у лістингу 3.2.

### Лістинг 3.2 – Активація-деактивація виходу за розкладом

```
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>

RTC_DS3231 rtc;

// Вихід для керування нагрівачем (реле, MOSFET тощо)
const int relePin = 8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(relePin, OUTPUT);
  digitalWrite(relePin, LOW); // Початково вимкнено

  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Не знайдено RTC DS3231");
    while (1); // Зупинити програму
  }

  // За потреби (тільки 1 раз!) встановити час компіляції:
  // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  Serial.println("Система керування за годинником запущена");
}

void loop() {
  DateTime now = rtc.now();

  int currentHour = now.hour();
  int currentMinute = now.minute();

  // Вмикати з 5:00 до 19:00 (включно до 18:59)
  if (currentHour >= 5 && currentHour < 19) {
    digitalWrite(relePin, HIGH); // Увімкнути вихід
    Serial.println("Нагрівач: УВІМКНЕНО");
  } else {
    digitalWrite(relePin, LOW); // Вимкнути вихід
    Serial.println("Нагрівач: ВИМКНЕНО");
  }
}
```

```
// Виведення поточного часу для перевірки
Serial.print("Час: ");
Serial.print(now.hour());
Serial.print(":");
if (now.minute() < 10) Serial.print("0");
Serial.println(now.minute());

delay(30000); // Оновлення кожні 30 секунд
```

Наведений скетч працює наступним чином:

- о 5:00 годині вранці (тобто `now.hour() >= 5`) – вихід активується;
- о 19:00 годині (тобто `now.hour() >= 19`) – вихід деактивується;
- весь інший час – нагрівач вимкнений;
- у Serial Monitor виводиться діагностика – час та стан нагрівача.

Для реалізації безпечного вмикання і вимикання навантаження – гріючого кабелю, який працює від мережі 220 В, у системі на базі Arduino Uno необхідно використовувати релейний модуль. Такий модуль слугує проміжною ланкою між слабкострумовими логічними сигналами мікроконтролера та силовим навантаженням змінного струму, забезпечуючи електричну розв'язку та захист як самої плати Arduino, так і користувача.

Гріючий кабель є пристроєм підвищеної електронезбезпеки, адже при несправності або неправильному підключенні може створити реальну загрозу ураження електричним струмом або спричинити пожежу. Плата Arduino самостійно не здатна комутувати напругу 220 В – її виходи видають логічний рівень 0 або 5 В із струмом до 40 мА, чого недостатньо для керування силовими навантаженнями. Релейний модуль, у свою чергу, дозволяє ізолювано замикати та розмикати ланцюг змінного струму, спрацьовуючи на вхідний сигнал із контролера.

Одноканальний релейний модуль (рисунок 3.3) містить на платі електромеханічне реле, оптопару для гальванічної розв'язки, транзистор для підсилення сигналу та індикатор стану (LED). Arduino подає на відповідний пін сигнал HIGH або LOW, вмикаючи або вимикаючи реле, яке, у свою чергу, замикає чи розмикає силовий ланцюг 220 В для живлення гріючого кабелю. Сам гріючий кабель підключається до клем модуля в розрив фазного

проводу, а нульовий провід йде безпосередньо до навантаження.

Таким чином, використання релейного модуля є необхідним технічним рішенням, що забезпечує безпечне керування змінною напругою та електричну ізоляцію мікроконтролера від силових кіл 220В. Без реле або подібного комутаційного елемента (наприклад, твердотільного реле або симістора з оптосимістором) жодна система на Arduino не може керувати мережевими навантаженнями напряму. Тому релейний модуль є важливим елементом у системі, що розробляється.

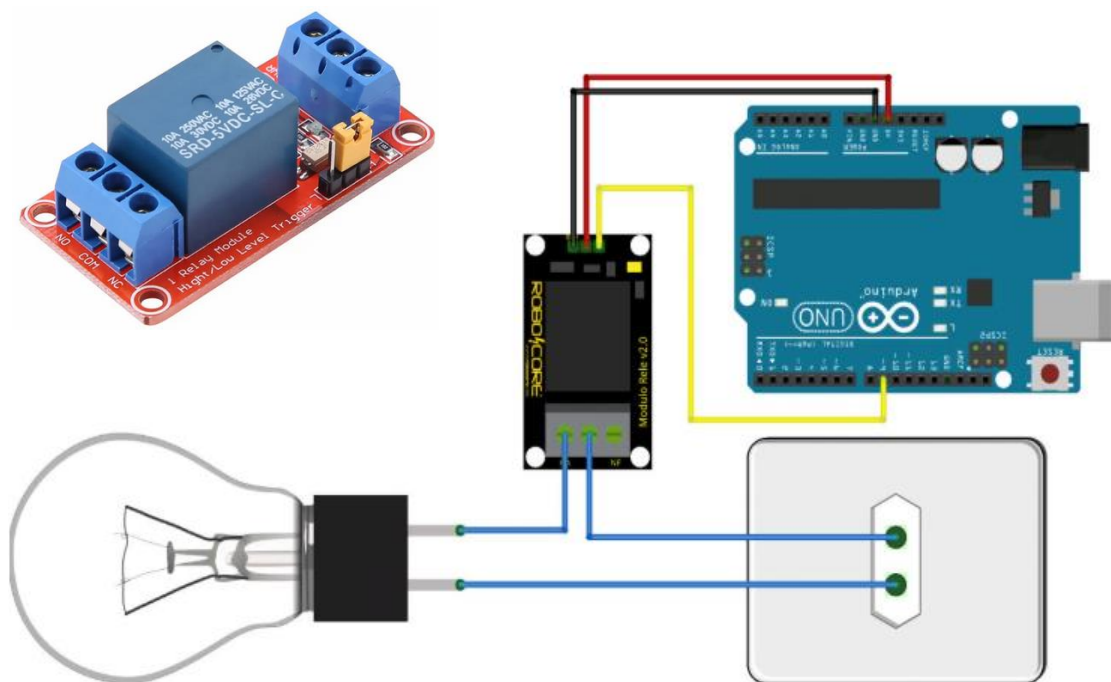


Рисунок 3.3 – Підключення умовного навантаження до Arduino Uno за допомогою одноканального релейного блоку

### 3.2 Реалізація системи та написання коду програми

Щоб коректно побудувати інтелектуальну систему обігріву для поїлки бджіл, важливо правильно з'єднати та налаштувати три основні модулі: датчик температури DS18B20, годинник реального часу DS3231 і релейний модуль для вмикання гріючого кабелю. Ці елементи об'єднуються в єдину логічну систему під керуванням плати Arduino Uno. Саме вона є «мозком»

конструкції – аналізує вхідні дані з температурного датчика і годинника реального часу, порівнює їх із заданими умовами, і на основі логіки роботи приймає рішення про вмикання або вимикання обігріву.

Структуру запропонованої системи показано на рисунку 3.4.

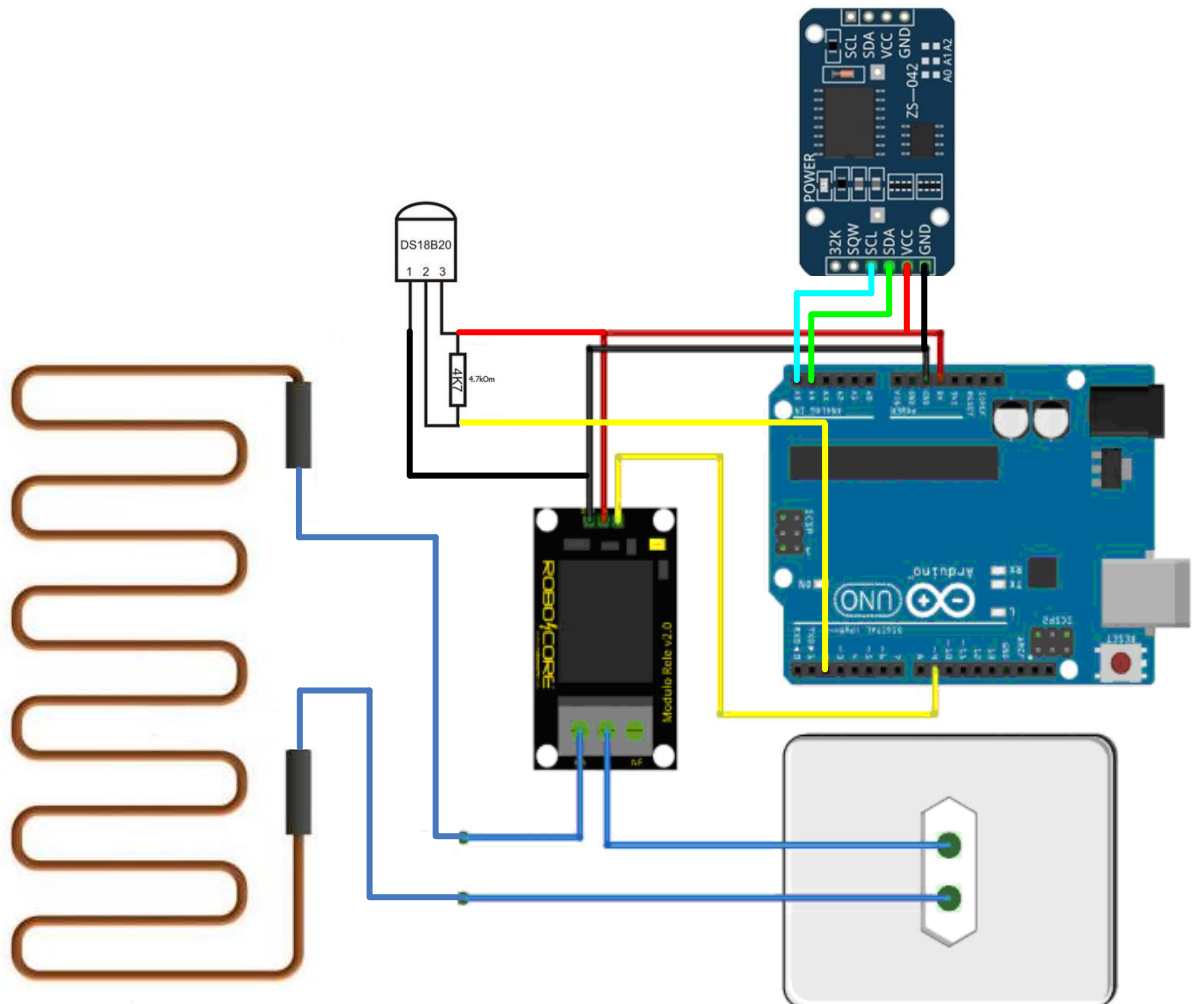


Рисунок 3.4 – Структура інтелектуальної системи підтримання температурного режиму поїлки для бджіл

Датчик температури дає можливість точно визначити, наскільки тепла вода у поїлці. Його підключають до цифрового контакту на Arduino. Годинник реального часу зберігає точну годину й дату навіть тоді, коли живлення вимикається. Він потрібен, щоб Arduino знала, коли день, а коли ніч, і могла вмикати нагрів лише в певний час, наприклад, вранці й увечері. Працює він через спеціальний інтерфейс – до відповідних контактів Arduino

підключають дві лінії для передачі даних.

Релейний модуль – це головний силовий елемент у цій системі. Він дозволяє Arduino вмикати гріючий кабель, який працює від 220 вольт. Arduino сама по собі не може безпечно керувати таким струмом, тому реле виконує роль перемикача: коли треба – замикає коло, коли не треба – розмикає. Цей модуль також приєднується до одного з цифрових виходів плати Arduino і отримує команду, коли вмикатися.

Усі ці пристрої потрібно підготувати програмно. У середовищі Arduino IDE для роботи з температурним датчиком і годинником встановлюються готові бібліотеки. Це інструменти, які дозволяють легко й просто взаємодіяти з модулями, не вникаючи в складні технічні подробиці. Наприклад, можна просто написати «дай температуру» або «який зараз час», і плата все зрозуміє. Коли бібліотеки встановлені й підключені в коді, потрібно розписати, що саме повинна робити система. Наприклад, кожні кілька секунд вона має перевіряти температуру води й час доби. Якщо на дворі ще занадто рано або вже пізній вечір, а вода холодна – тоді потрібно вимкнути реле, щоб не гріти воду, коли бджоли не літають. Якщо ж температура води занадто низька і вже починає світати – реле вмикається, і на гріючий кабель подається живлення 220В.

Перед тим як запускати все це на реальній пасіці, варто перевірити систему на макетній платі. Треба впевнитися, що датчик показує адекватні значення, що годинник дає правильний час і що реле реагує на команди від Arduino. Коли все працює правильно, можна переходити до монтажу на місці й забезпечити поїлку для бджіл стабільним, розумним обігрівом без участі людини. Така система спрощує догляд, економить електроенергію й гарантує комфортні умови для бджіл навіть у дуже холодні дні.

Перед тим як переходити до написання загального скетча для системи, варто звернути увагу на кілька важливих особливостей та технічних моментів, які допоможуть уникнути помилок і зробити систему надійною та безпечною.

Перш за все, потрібно точно визначити температурний поріг, нижче якого вода в поїлці вважається надто холодною. У нашому випадку це 25°C якщо температура впала нижче, Arduino має увімкнути нагрів. При досягненні 35°C нагрів має вимкнутись. Важливо не робити поріг (гістерезис) занадто вузьким, щоб уникнути частого вмикання й вимикання реле, яке зношується від надмірної кількості перемикань.

Другою особливістю є режим роботи за часом доби, який задається за допомогою модуля реального часу DS3231. Потрібно чітко прописати годинник, з якого і до якого відбувається обігрів, У нашому випадку обігрів дозволений лише з 5:00 до 19:00 – все інше ігнорується, навіть якщо вода холодна. Таким чином базовий нагрів холодної води у поїлці відбувається у період з 5 до 7 ранку коли електроенергія удвічі дешевша. Весь інший час до 19 години задана температура води у поїлці лише підтримується. Це збільшує енергоефективність системи уцілому.

Також важливо знати, що DS18B20 та DS3231 працюють по різних протоколах: перший через 1-Wire (на одному піні, наприклад D2), а другий - через I2C (на пін A4 і A5). Тому вони не заважають одне одному і можуть одночасно працювати в системі. Але ці піни не можна використовувати для інших цілей.

Особливу увагу слід приділити керуванню реле. Деякі модулі активуються, коли на вхід подається низький рівень (LOW), інші коли високий (HIGH). Перед написанням коду потрібно точно перевірити, яка логіка у конкретного реле. Це легко з'ясувати шляхом ручного подавання сигналу з Arduino, спостерігаючи за клацанням реле чи світлодіодом на модулі.

Не варто забувати і про захист від помилок. Наприклад, якщо датчик температури не підключено, `sensors.getTempCByIndex(0)` може повернути значення «-127», що треба обов'язково перевіряти в кодї, щоб не вмикати обігрів помилково. Так само, якщо RTC не відповідає, система має не зависати, а переходити в безпечний режим. Крім того, важливо врахувати

затримки в циклі loop()). Занадто часте опитування сенсорів або реле може викликати нестабільну роботу, тож варто робити паузи 1–5 секунд між циклами перевірки, залежно від обставин.

Таким чином, з урахуванням вищевказаного, складено скетч для прототипу системи, що наведено у лістингу 3.3.

### Лістинг 3.3 – Скетч системи керування поїлкою

```
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// ===== Налаштування пінів =====
#define ONE_WIRE_BUS 2          // DS18B20 – пін DATA
#define RELAY_PIN 8            // Пін реле

// ===== Об'єкти для модулів =====
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
RTC_DS3231 rtc;

// ===== Параметри системи =====
const float tempThreshold = 10.0; // Поріг температури (°C)
const int hourOn = 5;             // Час увімкнення (5:00
ранку)
const int hourOff = 19;           // Час вимкнення (19:00)

// ===== Початкова ініціалізація =====
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(500);

  sensors.begin();
  rtc.begin();

  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Вимкнути обігрів на старті

  if (rtc.lostPower()) {
    Serial.println("RTC не має живлення, встановлюється час
компіляції");
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); //
Встановити час при компіляції
  }

  Serial.println("Система обігріву поїлки запущена.");
}
```

```

// ===== ОСНОВНИЙ ЦИКЛ =====
void loop() {
    DateTime now = rtc.now(); // Отримання поточного часу
    int currentHour = now.hour();

    sensors.requestTemperatures(); // Запит температури
    float temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

    // Перевірка на помилку датчика
    if (temperature == -127.0) {
        Serial.println("ПОМИЛКА: датчик температури не
підключено!");
        digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Безпечно вимкнення
    } else {
        Serial.print("Час: ");
        if (now.hour() < 10) Serial.print("0");
        Serial.print(now.hour());
        Serial.print(":");
        if (now.minute() < 10) Serial.print("0");
        Serial.print(now.minute());
        Serial.print(" – Температура: ");
        Serial.print(temperature);
        Serial.println(" °C");

        // Умови для увімкнення обігріву
        if ((currentHour >= hourOn && currentHour < hourOff) &&
temperature < tempThreshold) {
            digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Увімкнути реле
            Serial.println("Обігрів: УВІМКНЕНО");
        } else {
            digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Вимкнути реле
            Serial.println("Обігрів: ВИМКНЕНО");
        }
    }

    delay(5000); // Затримка між циклами (5 секунд)
}

```

## ВИСНОВКИ

Отже у процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз предметної області, а саме – огляд відомих типів САР температури рідини. Зроблено огляд та вибір технічних засобів реалізації системи контролю температури: розроблено концепцію побудови системи, оглянуто та обрано датчик температури, вибрано нагрівальний елемент системи, проведено огляд і вибір елементів платформи Arduino. Виконано розробку системи контролю: проведено підключення основних модулів та власне реалізовано систему та написано код програми.

Розроблена система автоматичного керування температурою поїлки для бджіл на базі Arduino Uno поєднує простоту конструкції з функціональністю та енергоефективністю. Завдяки використанню датчика температури DS18B20 і годинника реального часу DS3231, система здатна точно реагувати як на зміну температури води, так і на добовий графік, вмикаючи нагрів лише в необхідні години. Це забезпечує комфортні умови для бджіл у холодну погоду, при цьому зменшуючи зайве енергоспоживання.

Сама конструкція проста в налаштуванні та не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Використані підходи роблять систему надійною, доступною для самостійного виготовлення і перспективною для використання на пасіках у реальних умовах.

За результатами досліджень кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді на п'ятнадцятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» 24-25 квітня 2025 року [20].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Khamid K., Petrenko S. Moskaluk I. Дослідження методів та способів напування бджолиних сімей як еколого-технологічний прийом підвищення їх продуктивності // Аграрний вісник Причорномор'я. 2020. №95. С. 116–125. DOI:<https://doi.org/10.37000/abbsl.2019.95.19>.
2. Регулятори температури. URL:<https://onninen.ua/tovary/Opaljuvalbne-obladnannja/Rehuljuvachi-ta-kontrolery/Rehuljatory-temperature/Ruchni-rehuljatory> (дата звернення: 20.05.2025)
3. Автоматичні регулятори температури DANFOSS. URL: [https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/avtomaticheskie-reguljatori-temperature?srsltid=AfmBOopBsUB08S8b0H8nW4GumtCgNpRT9Hy0YyH19H2FoxOJ\\_SPdIdyL](https://ianv.com.ua/uk/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/avtomaticheskie-reguljatori-temperature?srsltid=AfmBOopBsUB08S8b0H8nW4GumtCgNpRT9Hy0YyH19H2FoxOJ_SPdIdyL) (дата звернення: 19.05.2025)
4. Терморегулятори капілярні для бойлерів. URL: <https://tenhouse.com.ua/ua/g46255704-termoregulyatory-kapillyarnye> (дата звернення: 21.05.2025)
5. Термостат біметалевий з регулюванням. URL: <https://zapchasty.com.ua/Thermostat/00000005208/> (дата звернення: 21.05.2025)
6. Терморегулятор на DIN-рейку «RUBEZH». URL:<https://onninen.ua/tovary/Opaljuvalbne-obladnannja/Rehuljuvachi-ta-kontrolery/Rehuljatory-temperature/Ruchni-rehuljatory> (дата звернення: 20.05.2025)
7. ПІД-регулятор: особливості, налаштування. URL: <https://chastotnik.ua/a-pid-regulyator--osobennosti--nastroyka?srsltid=AfmBOopl278fY3mktJg5Lv2my2S4lSoiOpQ8ktdKrIX0AwG3UwQNW-r> (дата звернення: 19.05.2025)
8. ПІД-регулятори (терморегулятори). URL: <https://www.svaltera.ua/catalog/pid-regulyator/> (дата звернення: 19.05.2025)

9. Ковалюк, Д. О. і Ковалюк, О. О. Порівняння систем керування з різними типами регуляторів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2015. №1. С. 1–7.

10. Різниця між терморезистором NTC і терморезистором PTC URL: <http://ua.fuse-tianrui.com/info/the-different-between-ntc-thermistor-and-ptc-t-94524751.html> (дата звернення: 21.05.2025)

11. Цифровий датчик температури DS18B20 URL: <https://ardushop.in.ua/radio-components/digital-integrated-temperature-sensor-ds18b20> (дата звернення: 21.05.2025)

12. Давач температури LM35 Arduino (11741) URL: <https://beegreen.com.ua/davach-temperaturi-lm35-arduino-11741> (дата звернення: 21.05.2025)

13. Модуль MAX6675 + термопара К-типу URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/modul-termopara> (дата звернення: 21.05.2025)

14. Саморегулюючий гріючий кабель і аксесуари для його монтажу URL: <https://emaster.com.ua/product-category/systemy-elektrychnogo-obigrivu/samoregulyuyuchyj-griyuchyj-kabel/samreg-samoregulyuyuchyj-nagrivalnyj-kabel/> (дата звернення: 21.05.2025)

15. Керамічний PTC нагрівальний елемент 12 В URL: <https://ua.thermo-heater.com/ptc-heating-element/12v-ceramic-ptc-heating-element.html> (дата звернення: 21.05.2025)

16. Переваги та недоліки ТЕНів. Сухий ТЕН або мокрий? URL: <https://ariston-market.com.ua/ua/preimuschestva-i-nedostatki-tenov-sukhoj-ten-ili-mokrij/> (дата звернення: 21.05.2025)

17. Arduino Uno Rev3 (оригінал, Італія) URL: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066>

18. Arduino Nano URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (дата звернення: 21.05.2025)

19. Arduino Mega 2560 URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560> (дата звернення: 21.05.2025)

20. Станенко М. С., Бовчалоук С. Я. Інтелектуальна система підтримання температурного режиму поїлки // СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ. Тези доповідей п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції 24 – 25 квітня 2025 року. Том 2: Секція 2. 2025. С. 17. DOI: <https://doi.org/10.32620/ICT.25.t2>.